

ежемесячный научно-информационный журнал

SCIENTIFIC  
AMERICAN

# В мире науки

№06 2009

## СУЩЕСТВУЕТ ЛИ ТЕМНАЯ ЭНЕРГИЯ?

Или у Земли  
особое место  
во Вселенной?

### НОВЫЕ НЕЙРОНЫ

Как сохранить молодость мозга

### ВИРУС ПОД ПРИСМОТРОМ

Пути предотвращения пандемий

### ЦВЕТОВОЕ ЗРЕНИЕ

Наш глаз отражает эволюцию приматов

ISSN 0208-0621



09006



9 770208 062001

[www.sciam.ru](http://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

ИЮНЬ 2009



## ГЛАВНЫЕ ТЕМЫ НОМЕРА:

- КОСМОЛОГИЯ**
- 18 ДЕЙСТВИТЕЛЬНО ЛИ СУЩЕСТВУЕТ ТЕМНАЯ ЭНЕРГИЯ?**  
Тимоти Клифтон и Педро Ферейра  
*Возможно, в нашей Вселенной нет темной энергии, а наша Галактика лежит в центре гигантской космической пустоты*
- НЕЙРОНАУКА**
- 34 ЭВОЛЮЦИЯ ЦВЕТОВОГО ЗРЕНИЯ У ПРИМАТОВ**  
Джеральд Джейкобс и Джереми Натанс  
*Исследование зрительных пигментов приматов показало, что наше цветовое зрение развивалось необычным путем, и что мозг приматов способен адаптироваться гораздо лучше, чем принято полагать*
- 42 СПАСИТЕ НОВЫЕ НЕЙРОНЫ**  
Трейси Шорз  
*Каждый день во взрослом мозге возникают новые нервные клетки. Последние исследования показывают, что в этом им помогают сложные задачи, решаемые человеком*
- МЕДИЦИНА**
- 50 НАНОТЕХНОЛОГИИ И РАК**  
Джеймс Хит, Марк Дэвис и Лерой Худ  
*Телу человека как сложной сети межмолекулярных взаимодействий необходим «тонкий ремонт»*
- 56 НОВАЯ ТАКТИКА БОРЬБЫ С ТУБЕРКУЛЕЗОМ**  
Клифтон Барри и Майя Чеун  
*Повсеместный рост числа больных и появление штаммов, резистентных к существующим препаратам, заставляют биологов использовать новейшие стратегии поиска более эффективных лекарственных средств*
- ЗДРАВООХРАНЕНИЕ**
- 62 КАК ПРЕДОТВРАТИТЬ ПАНДЕМИЮ**  
Натан Вулф  
*Глобальный мониторинг передачи вирусов от животных человеку поможет контролировать распространение инфекционных заболеваний*
- МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**
- 66 МИНИАТЮРНЫЕ ЗЕЛЕННЫЕ ЛАЗЕРЫ**  
Сюдзи Накамура и Майкл Райордэн  
*Полупроводниковые лазеры способны излучать свет всех цветов кроме одного. Однако с помощью новых методов выращивания кристаллов для лазерных диодов яркие полноцветные дисплеи могут стать реальностью*
- АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА**
- 66 СИЛА В ВОЗОБНОВЛЕНИИ**  
Мэтью Уолд  
*Борьба с глобальным изменением климата и обеспечение энергетической безопасности вынуждают разрабатывать альтернативы ископаемым видам топлива*





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

Выпускающий редактор: М.А. Янушкевич

Корреспонденты: Е.В. Кокурина, Д.А. Мисюров

Над номером работали:  
А.В. Ващенко, А.Н. Воинов, А.А. Гендин, О.П. Жирнов,  
Т.Н. Лапшина, Т.Н. Крупа, Т.А. Митина, Б.И. Перлина,  
О.С. Сажина, И.Е. Сацевич, В.И. Сидорова, И.П. Фролова,  
Д.С. Хованский, П.Ю. Худoley, Н.Н. Шафрановская

Научные консультанты:  
руководитель лаборатории молекулярных механизмов  
вирусного патогенеза НИИ вирусологии  
им. Д.И. Иванова РАН, академик РАЕН, профессор,  
доктор биологических наук О.П. Жирнов; заместитель  
директора Института мировой литературы им. А.М. Горького  
РАН, доктор филологических наук А.И. Чагин

Арт-директор: Л.П. Рочева

Корректурщик: Я.Т. Лебедева

Секретарь: И.И. Сорина

Генеральный директор  
ЗАО «В мире науки»: О.А. Василенко

PR-менеджер: П.П. Мостинский

Главный бухгалтер: Н.М. Воронина

Бухгалтер: Ю.Е. Полякова

Отдел распространения, подписка: Л.Р. Исмагилова  
Л.В. Леонтьева

Адрес редакции и издателя:  
105005, Москва, ул. Радио, д. 22, к. 409  
Телефон: (495) 727-35-30, тел./факс: (495) 925-03-72  
e-mail: info@sciam.ru; www.sciam.ru

Иллюстрации предоставлены Scientific American, Inc.  
В верстке использованы шрифты Helios и BookmanC

Отпечатано:  
ООО ИД «Медиа-Пресса», 127147, Москва, ул. Правды, д. 24.  
Заказ № 90979

© 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: 11 600 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

Editor in Chief: John Rennie

Editors: Mark Alpert, Steven Ashley, Peter Brown,  
Graham P. Collins, Mark Fichetti, Steve Mirsky,  
George Musser, Christine Soares

Chief news Editor: Phillip M. Yam

Contributing editors: Marguerite Holloway,  
Michelle Press, Michael Shermer,  
Sarah Simpson, W. Wayt Gibbs

Chairman: Brian Napack

President: Steven Yee

Vice President and managing director,  
international: Kevin Hause

Vice President: Frances Newburg

Chairman emeritus: John J. Hanley

Art director: Edward Bell

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 НИЧЕГО ОСОБЕННОГО**

3

4

**50, 100, 150 ЛЕТ ТОМУ НАЗАД**

6

**СОБЫТИЯ, ФАКТЫ, КОММЕНТАРИИ**

- Графен: мучения ради получения
- Есть ли жизнь на Марсе: продолжение интриги
- Морские станции
- Приползли и помилованы
- Время, вперед?
- Кометы стерли с лица Земли млекопитающих

## ПРОФИЛЬ

16

**ХАОС И УЛОВ ДНЯ**

Пол Реберн

*В море стало меньше рыбы. Математик Джордж Сугихара считает, что теория сложности способна помочь в восстановлении рыбного промысла*

## МНЕНИЕ

16

**СТАНЕТ ЛИ «СВИНОЙ ГРИПП» БОЛЕЕ ОПАСНЫМ ДЛЯ ЛЮДЕЙ?**

По материалам беседы с Олегом Жирновым  
 Появления агрессивного «свиного» вируса H1N1 и начала второй волны эпидемии гриппа следует ожидать осенью 2009 г.

16

**РУССКАЯ ЛИТЕРАТУРА: ВРЕМЯ ПРЕОДОЛЕНИЯ**

По материалам беседы с Алексеем Чагиным  
 Сегодня назрела необходимость подготовки новой истории русской литературы минувшего столетия

82

**ЗНАНИЕ — СИЛА  
 СЕНСОРНЫЕ ЭКРАНЫ ИЗМЕНЯЮТ РЫНОК**

Марк Фишетти

*Главная приманка для покупателей смартфонов — сенсорный экран*

90

## ЛАБОРАТОРИЯ ВКУСА

**ИССЛЕДУЯ ХАМОН. НАУЧНЫЙ ПОДХОД К ЗАСТОЛЮ**

Анатолий Гендин

*Знаменитый сыровяленый свиной окорок, без которого невозможно представить себе испанскую кухню, — это продукт, культура приготовления и употребления которого органично сочетает вековые традиции и передовые научные методы*

## ОБЗОРЫ:

84

**КНИЖНОЕ ОБОЗРЕНИЕ**

86

**ФОРУМЫ, ПРЕМИИ, ВЫСТАВКИ**

94

**СПРОСИТЕ ЭКСПЕРТОВ**



# НИЧЕГО ОСОБЕННОГО

Мы — рядовой биологический вид на обычной планете.  
Или нет?

«Вы не особенные», — предупреждает своих последователей Тайлер Дерден, персонаж романа Чака Паланика «Бойцовский клуб» и одноименного фильма Дэвида Финчера. — Вы не красивая или уникальная снежинка. Вы — обычная разлагающаяся органическая материя, как все остальное». Эта жесткая, но верная оценка Дердена служит основой последующих бурных событий, происходящих в романе и фильме.



Та же мысль под названием «принцип Коперника» стала основой науки четырех последних столетий. (Первое правило принципа Коперника гласит: «Не говорите о принципе Коперника».)

В 1543 г. Коперник поразил современников, заявив, что наилучшим объяснением наблюдаемого движения звезд и планет ему представляется положение, что центр мироздания — не Земля, а Солнце. У него «хватило благоразумия» вскоре умереть. А через несколько десятилетий католическая церковь покарала двух астрономов, активно поддерживавших эту точку зрения: Джордано Бруно сожгли на костре, а Галилея вынудили отречься от теории Коперника, хотя и существует легенда, что при этом он пробормотал: «И все-таки она вертится». Тем не менее факты были на стороне ученых. Сегодня специалисты развивают свои теории, памятуя, что Земля вероятнее всего занимает в космосе рядовое, ничем не выделяющееся место и не обладает никакими привилегиями.

Так, 11 лет назад, когда астрономы внезапно поняли, что Вселенная не просто расширяется, а расширяется с ускорением, большинство из них пришли к выводу о том, что расталкивала галактики какая-то антигравитационная сила, «темная энергия», ничем другим себя не обнаруживающая. Однако наблюдаемые факты можно объяснить и иначе — как причуду космологической геометрии. Это позволяет обойтись без привлечения специального понятия темной энергии, но ценой отка-

за от принципа Коперника: грубо говоря, нужно поместить Землю или, по крайней мере, нашу Галактику, обратно в центр наблюдаемой Вселенной. Тимоти Клифтон (Timothy Clifton) и Педро Ферейра (Pedro G. Ferreira) рассмотрели эту идею в статье «Действительно ли существует темная энергия?»

Если даже применимость принципа Коперника к космологии может быть подвергнута поправкам, релевантность его для других областей науки,

особенно биологии, подтверждается весьма надежно. (Второе правило принципа Коперника гласит: «Никогда не говорите о принципе Коперника».) Тем не менее он может оскорбить самомнение людей: здесь коренится упорное неприятие креационистами положения о том, что человек — всего лишь один из видов животных.

Однако биологическое подтверждение нашего родства с другими тварями земными можно видеть везде, куда бы мы ни обратили свой взор. Джералд Джейкобс (Gerald H. Jacobs) и Джереми Натанс (Jeremy Nathans) указывают на истинность этого утверждения в статье «Эволюция цветового зрения у приматов». Люди и обезьяны видят цвета в таком диапазоне, который неведом другим млекопитающим. Что еще нагляднее, генетические и биомолекулярные подробности структуры цветового зрения людей и обезьян Старого Света, наших ближайших родственников, отличаются от соответствующих деталей у их сородичей из Нового Света.

Наше родство с другими животными чревато и некоторой уязвимостью. Когда развивающееся вирусное заболевание перешагивает межвидовой барьер, оно может стать очень опасной инфекцией. Вирусолог Натан Вулф (Nathan Wolfe) в статье «Как предотвратить пандемию» предлагает органам здравоохранения отслеживать заболевания животных, грозящие перекинуться на человека. Этот бой мы бы не хотели проиграть. ■

Джон Ренни



## ■ ЗВЕЗДНОЕ МЕНЮ ■ ЛЕТАЮЩАЯ СИГАРА ■ БЕЗОПАСНОЕ СУДНО ■

## ИЮНЬ 1959

**САМОВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ.** «Идею создания машины, способной воспроизводить саму себя, можно считать невозможной, относящейся к разряду проектов вечного двигателя. Мы с Роджером Пенроузом (Roger Penrose) подошли к вопросу радикально, не собираясь обременять себя сложными деталями, такими как колеса или фотоэлементы. Нашим замыслом было разработать и, если это возможно, сделать простые составные части, некие кубики, с такими свойствами, чтобы самовоспроизводящаяся машина могла быть создана из них». — Л.С. Пенроуз (L.S. Penrose).

**КОСМИЧЕСКАЯ ЕДА.** Проблема потребления еды и питья в условиях невесомости, столь долгое время бывшая предметом спекуляций фантастов, теперь стала темой научных исследований. Предварительные результаты показывают, что космические путешественники будут пить из пластиковых бутылок, а коки на межпланетных кораблях будут совершенствоваться в приготовлении полужидкой пищи, по консистенции похожей на детское питание. Согласно отчету в *Journal of Aviation Medicine*, добровольцы, участвовавшие в исследованиях, нашли, что пить из открытой тары в невесомости — весьма неприятная и грязная заняти: при малейшем сотрясении из стакана выскакивал амбобоподобный сгусток жидкости, норовя угодить прямо в лицо. Не больше удовольствия принесло питье через соломинку: пузырьки воздуха так и оставались в жидкости во взвешенном виде, так что участники испытаний проглатывали больше воздуха, чем воды.

## ИЮНЬ 1909

**МЫ ИЩЕМ ТАЛАНТЫ.** Кинофильмы демонстрируются уже почти в 10 тыс. театров и залов США. Быстрое распространение этого нового развлечения обусловило и примечательную перемену вкусов публики. Если раньше зрителей вполне устраивали рабочие, идущие на завод или с завода, прибытие или отбытие поезда и другие тому подобные кинозарисовки, то теперь они хотели бы просматривать более или менее связную историю. Поэтому создатели кинокартин вынуждены писать сценарии (или хотя бы придумывать сюжеты) и снимать их постановку.

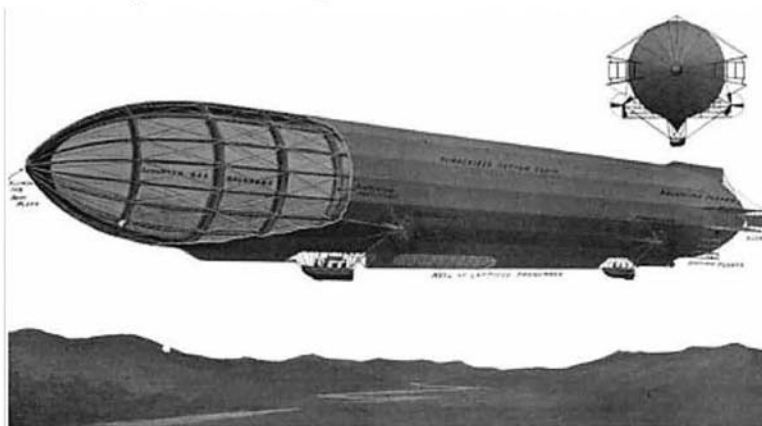
**НЕБЕСНЫЙ ПУТЬ.** На иллюстрации вниманию читателей предлагается отличная схема общей конструкции последнего детища компании «Цеппелин» — дирижабля «Цеппелин II» (также обозначаемого как LZ 5), который в недавнем полете преодолел рекордное расстоя-

ние 900 миль (1440 км). Воздушное судно состоит из алюминиевого каркаса сигарообразной формы, содержащего 17 газовых баллонов, наполненных водородом, силовой установки и двух гондол. Подъемная сила летательного аппарата — около 16 тонн. Строятся планы установления регулярного воздушного сообщения между некоторыми крупными городами Германии.

**ЗАКОН ОБ УЛИТКАХ.** Министр сельского хозяйства Франции после тщательного изучения вопроса установил «правовой статус улитки», определив этого моллюска как животное, наносящее вред растительности, а потому на законных основаниях подлежащее отлову и уничтожению во все времена года. Это решение посеяло панику среди большого числа людей, зарабатывающих на свое пропитание, продавая улиток. Вредные моллюски в большой чести у французских гурманов и в огромных количествах поедаемы в Париже. За зиму 1900 г. в столице Франции было потреблено приблизительно 800 тонн улиток.

## ИЮНЬ 1859

**УРОК НЕ ПОШЕЛ ВПРОК.** Преимущества, которые дает конструкция судна с водонепроницаемыми отсеками, были исчерпывающе продемонстрированы в случае с пароходом «Эдинбург», курсирующим между Нью-Йорком и Глазго. 6 июня, находясь в 186 милях восточнее города Сент-Джонс, Ньюфаундленд (в 350 милях севернее того места, где 53 годами позже затонул «Титаник»), он налетел на айсберг в условиях плотного тумана, и его обшивка была проломлена спереди вследствие столкновения. Два отсека сразу наполнились водой, но остальные держали судно на плаву в течение 30 часов, за которые «Эдинбург» смог добраться до Сент-Джонса. Не будь у судна водонепроницаемых отсеков, оно оказалось бы на дне через полтора часа после крушения. ■



ЛЕГЧЕ ВОЗДУХА: «Цеппелин II», 1909 г.



ЭЛЕКТРОНИКА  
КОМПОНЕНТЫ • ОБОРУДОВАНИЕ • ТЕХНОЛОГИИ

# ChipEXPO -2009

ОКТАБРЬ 21-23  
7-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА  
РОССИЯ • МОСКВА • ЭКСПОЦЕНТР

**ВЕДУЩАЯ РОССИЙСКАЯ  
ВЫСТАВКА ПРИГЛАШАЕТ!**

**КОНФЕРЕНЦИИ:**

- Контрактное производство электроники
- Технологии печатных плат и монтажа компонентов (совместно с IPC)
- Дистрибуция электронных компонентов в России

**ТЕМАТИЧЕСКАЯ ЭКСПОЗИЦИЯ:**

- Производство электроники в России

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:



Министерство промышленности  
и торговли Российской Федерации  
Департамент науки и промышленной  
политики города Москвы  
Московская торгово-промышленная палата  
Российская Инженерная Академия

ИНФОРМАЦИОННАЯ  
ПОДДЕРЖКА



eFind.ru

КОМПОНЕНТЫ  
И ТЕХНОЛОГИИ

ЭЛЕКТРОНИКА

ПРОИЗВОДСТВО  
ЭЛЕКТРОНИКИ

ЭК

[www.chipexpo.ru](http://www.chipexpo.ru)



# графен: мучения ради получения

Массовое производство наноллистов углерода стало на шаг ближе

Кремний преобразил цифровой мир, но ученые все еще жаждут найти вещество, которое позволит сделать интегральные схемы еще более миниатюрными, более быстродействующими и более дешевыми. Высокую позицию в списке кандидатов на эту роль занимает графен — плоские листы углеродных колец толщиной всего в один атом. Этому наноматериалу присущ ряд интересных свойств, включая исключительную прочность, прозрачность (обусловленную очень малой толщи-

ной) и фантастически высокую электронную проводимость. Все это делает его перспективным в качестве материала для изготовления гибких дисплеев и сверхвысокоскоростной электроники. Полученный всего четыре года назад, он уже используется в опытных образцах транзисторов, запоминающих устройств и других приборов.

Но для того чтобы переместить этот материал с лабораторных столов на прилавки магазинов, инженерам нужно разработать методы получения больших однородных листов чистого однослойного графена в промышленных масштабах. Исследователи рассматривают несколько возможных технологических процессов, но какой из них окажется успешным, еще не ясно. «Мы знаем об утверждениях ряда групп, будто они могут покрывать целые кремниевые пластины монослоем графита при небольших затратах, но пока ни одна из них не продемонстрировала этого публично», — сказал Джеймс Тур (James M. Tour), химик из Университета Райса.

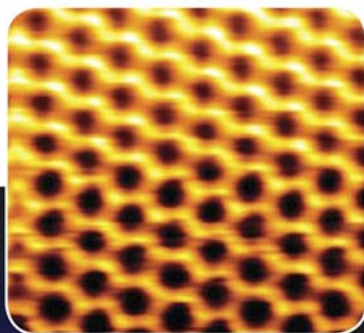
Получить малые количества графена удивительно легко, как утверждает первооткрыватель этого материала Андре Гейм (Andre K. Geim) из Манчестерского университета в Англии. Действительно, «вы создаете немного графена каждый раз, когда проводите карандашом по бумаге», — отмечает он, поскольку грифель карандаша — это, по существу, стопка слоев графена. Первые методы получения этого материала работали подобно письму карандашом: ученые стирали некоторые количества графита и отыскивали подходящие кусочки под микроскопом или отделяли одиночные чешуйки клейкой лентой.

Хотя большинство ученых считают такой метод механического от-

слоения пригодным только для получения очень малых количеств графена, Гейм полагает, что это может быть и не так. «Недавно масштаб процедуры был так увеличен, что позволяет получать сколько угодно графена», — говорит он. Для расщепления графита на отдельные слои, диспергируемые в жидкости, Гейм применил ультразвук. Полученную суспензию можно высушить на некоей поверхности, что приведет к образованию листов пленки, состоящей из перекрывающихся кристаллов графена. Однако смогут ли эти листки из множества кристаллов работать достаточно хорошо для многих приложений, пока непонятно, поскольку края отдельных чешуек будут, вероятно, препятствовать быстрым потокам электронов.

Более крупные образцы, возможно, удастся получить методом химического расщепления. В мае 2008 г. Джеймс Хамилтон (James P. Hamilton) из Висконсинского университета в Платвилле и Джонатан Коулмен (Jonathan N. Coleman) из Тринити-Колледжа в Дублине (Ирландия) показали, что графен растворяется в некоторых органических растворителях. «Помещаем графит в стакан, наливаем туда органическую жидкость, и графит растворяется в ней», — объясняет Хэмилтон. — Затем сливаем растворитель и получаем серое вещество, которое представляет собой чистый графен». Созданная им недавно компания *Graphene Solutions* надеется суметь превращать этот графен в однородные монокристаллические листы и в итоге довести этот процесс до промышленного масштаба.

Возможны и другие методы химического отслоения. Род Руофф (Rod Ruoff), работающий сегодня в Техасском университете в Остине, и его бывшие коллеги по Северо-Западному университету показали, что добавление кислоты к графиту в воде может приводить к образованию оксида графита, который можно раз-



ВРЕМЯ ГИБКОСТИ: прозрачный электрод из слоя углеродных колец, нанесенного на полимер



делять на отдельные чешуйки. Из взвеси в воде эти чешуйки осаждаются на подложку, образуя пленку. Добавление других химикатов или нагрев позволяют удалить кислородные группы, в результате чего получается графен.

Специалисты из Университета Рутгерса выяснили, что одним из таких обескислороживающих агентов может быть ракетное топливо, а именно — пары гидразина, очень агрессивного и токсичного соединения. В прошлом году Ян Ян (Yang Yang) и Ричард Кейнер (Richard B. Kaner) из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе упростили этот метод, применив жидкий гидразин. «Мы осаждали чешуйки на кремниевые пластинки или другие, более гибкие подложки», — говорит Ян. В результате получались монослойные пленки, состоящие из множества чешуек. Сегодня исследователи пытаются повысить качество получаемых листов и найти более безопасную замену гидразину.

Ученые из Массачусетского технологического института (МТИ) и других организаций пытаются получать графен методом химического осаждения из паров (ХОП) — хорошо

отработанного процесса, который легко встроить в технологическую цепочку производства микросхем. При использовании метода ХОП летучие химические соединения вступают в реакцию и осаждаются на подложку в виде тонкого слоя. Процесс, разрабатываемый в МТИ, предусматривает использование простой трубчатой печи, в которой размещаются подложки из никеля, говорит инженер-электрик Цзин Кон (Jing Kong). С одного конца подается газообразный углеводород, который разлагается при нагреве. При этом атомы углерода падают на никелевую подложку, играющую роль катализатора, который способствует формированию пленки графена. Однако качество полученного материала зависит от характера подложки: состоит ли она из множества кристаллов никеля или представляет собой единый кристалл. К сожалению, наиболее желательный монокристаллический никель дорог.

Графен, получаемый методом ХОП, привел к одному из крупнейших сегодня достижений. Группа Бьунг Хи Хонга (Byung Hae Hong) из Университета Сунгкьонкван в Южной Корее изготовила высоко-

качественные пленки, которые исследователи нанесли на прозрачный гибкий полимер, получив прозрачный электрод. Его усовершенствованные варианты смогут заменить применяемые сегодня в дисплеях более дорогие прозрачные электроды, изготавливаемые обычно из оксидов индия и титана.

В соревновании за получение графена может оказаться больше одного победителя. Коулмен из Тринити-Колледжа говорит, что методы, основанные на отслоении в растворе, позволяющие сегодня получать пластинки графена шириной до 10 мкм, возможно, лучше всего подходят для «средних промышленных объемов, тогда как ученых во всем мире, вероятно, больше заинтересует выращивание больших пленок графена методом ХОП», которым уже сегодня были получены образцы размерами до нескольких квадратных сантиметров. Но лучше всего, пожалуй, то, что ни один из подходов, похоже, не встречает непреодолимых препятствий. Тур из Университета Райса готов держать пари, что проблема будет решена в течение года или двух.

Стивен Эшли

## ЕСТЬ ЛИ ЖИЗНЬ НА МАРСЕ: продолжение интриги

Метан на Марсе был впервые обнаружен несколько лет назад. Это открытие пробудило любопытство исследователей, пытавшихся понять, стало ли наличие метана результатом геологической активности или, что более интригующе, результатом жизнедеятельности организмов, подобно тому, как это было при процессах, в изобилии происходивших на Земле. Несмотря на то что пока нет оснований настаивать на каком-то окончательном решении, обнаружение метана по крайней мере указывает направление будущих исследований.

С помощью наземных телескопов Майкл Мумма (Michael J. Mumma) из Годдардовского центра космических полетов NASA и его коллеги в течение трех марсианских лет (что соответствует семи земным годам) осуществили обзор 90% поверхности Красной планеты. Летом 2003 г. специалисты обнаружили обильные выбросы метана и определили площади его выделения.

Мумма осторожен в своих суждениях, чтобы не переоценить значимость проведенных исследований, результаты которых были опубли-

кованы 15 января 2009 г. в *Science*. Дело в том, что, хотя метан и может образовываться за счет активности микроорганизмов, живущих под слоями вечной мерзлоты, существует не менее вероятное объяснение его наличия на Марсе: образование метана может происходить в ходе реакций минералов и воды, зажатой в слоях скальной породы.

Метан может быть и остатком каких-то процессов в прошлом, так или иначе изолированных и произошедших позже. Все же, зная, что метан на Красной планете расположен компактными областями, ученые могут искать его новые источники и фиксировать районы для планирования будущих марсианских миссий спускаемых космических аппаратов.

Джон Мэтсон



# МОРСКИЕ Станции

## Стационарные подводные обсерватории: от мечты к реальности

Изучая океаны, исследователи обычно используют данные, полученные при помощи сети спутников, а также со специальных судов. Оба метода несовершенны: инструменты, находящиеся на борту космических аппаратов, не позволяют достичь хорошей видимости сквозь темную поверхность океана, аренда же кораблей стоит дорого, а данных удастся получить немного. Эти ограничения, а также все возрастающая необходимость разобраться в сути происходящих глобальных изменений заставили специалистов взяться за океанические обсерватории и разработать проект *Ocean Observatories Initiative (OOI)* стоимостью \$330 млн, который предвещает переход на новый уровень океанографических исследований.

Основные сооружения станции рассчитаны на непрерывную работу в течение 25–30 лет. Углубленное изучение мировых вод и путей их взаимодействия с климатом должно проводиться на основе десятилетних наблюдений, говорит Уве Сенд (Uwe Send), океанограф-физик из Института океанографии им. Скриппса

в Ла-Хое, штат Калифорния. Ввиду того, что многие важные явления, такие как штормы, «красные приливы» (бурный рост планктона) или землетрясения происходят внезапно, чувствительные датчики должны быть постоянно в боевой готовности.

Предполагается, что наблюдения будут проводиться при помощи как стационарной аппаратуры, так и передвижных сенсорных устройств. Система модифицируемого оборудования будет крепиться ко дну на мертвом якорю и перемещаться по вертикали вдоль туго натянутого троса, при этом измеряя различные параметры от поверхности до самого дна. Автоматические подводные приборы будут плавно двигаться в сторону от установки по запрограммированным путем, собирая конкретные данные о физическом, химическом, биологическом состоянии обширных пространств вокруг всей установки.

Исследователи планируют разместить три системы в приполярных районах, где климатические изменения могут существенно повлиять на образование ледников и течения Мирового океана. Аналогичная обсерватория близ полуострова Кейп-Код будет проводить мониторинг экосистем, имеющих основополагающее значение для местного рыбного промысла. Затем через пять лет ее будут использовать для изучения и контроля других прибрежных экосистем, в том числе в Мексиканском заливе.

Возможно, самым выдающимся в проекте станет планируемое исследование северо-западной части Тихого океана. Вдоль тектонической плиты Хуан-де-Фука будут установлены сенсорные датчики для мониторинга ее движения, последующей вулканической деятельности и землетрясений. Волоконно-оптические кабели, проложенные по дну океана, позволят ученым, не выходя из лабораторий, мгновенно проводить

измерения развертывающихся на плите процессов.

Первое время исследователи смогут наблюдать стихийные явления планеты в реальном времени, как отмечает океанограф-физик Джон Делани (John Delaney) из Вашингтонского университета. Он добавляет, что при помощи роботов, сенсорных датчиков и камер высокого разрешения ученые смогут ощутить беспрецедентный эффект присутствия в глубинах океана в самых опасных условиях.

Кроме того, данные, полученные из обширной сети наблюдений, будут непосредственно загружаться через интерфейс, подобный *iTunes*, благодаря чему виртуальные лаборатории смогут выйти в Интернет, как считает геофизик из Института Скриппса Джон Оркат (John Orcutt). Такой открытый доступ к данным воспринимается с трудом, как отмечает Холли Гивен (Holly Given), директор *OOI* Вашингтонского консорциума по управлению океаном, округ Колумбия. Тем не менее есть надежда, что возможность свободно оперировать данными позволит разработать новые алгоритмы для моделирования изменений океана. Организаторы также надеются, что показания приборов, которые можно будет использовать для создания интерактивных игр, помогут донести знания об океане людям.

Если США и далее хотят занимать передовые позиции в исследовании океана, то они должны уделить пристальное внимание проекту *OOI*. «В течение десяти лет почти все развитые страны, имеющие выход в океан, делали или готовы были сделать это», — заявляет Делани. Действительно, канадские ученые уже выдвинули планы по размещению сенсорных устройств на северной трети плиты Хуан-де-Фука, а недавно в соревнование вступил и Китай, представив смелые проекты по сооружению обсерваторий в своих прибрежных водах.

Располагая стационарными подводными обсерваториями, ученые в скором времени смогут буквально кончиками пальцев прикоснуться к тайнам океана.

Барбара Джункоза



СКВОЗЬ ТОЛЩУ ОКЕАНА: так представляет художник установленные на дне океана лаборатории по изучению гидротермальных вертикальных потоков на литосферной плите Хуан-де-Фука в Тихом океане. Согласно *OOI*, подобные сооружения, размещенные по всей плите, позволят проводить исследования в реальном времени



# ПРИПОЛЗЛИ И ПОМИЛОВАНЫ

## Нашествие земляных червей опустошило леса Великих озер

Эколог из Миннесотского университета Синди Хейл (Cindy Hale) получает по электронной почте массу запросов от обеспокоенных жителей окрестностей Великих озер. Она говорит, что, кажется, в их сады внедрили определенного рода дождевые черви, и теперь там ничего не растет.

Долгое время дождевые черви считались друзьями садов: они могут разрыхлять и насыщать кислородом почву. Однако на Великих озерах произошла совсем другая история. Хейл рассказывает, что во время последнего ледникового периода, 10 тыс. лет назад, земляные черви были стерты здесь с лица Земли, и с тех пор леса Северо-Востока развивались без них. Но сегодня земляные черви вернулись: их занесли рыбаки, разбросавшие наживку в лесу, люди, использующие мульчу, их притащили на шинах лесовозы и вездеходы — и все это из разных районов.

Пришельцы больше всего навредили лиственным лесам, где произрастают клен, липа американская, дуб американский, тополь и различные виды берез. (Леса с преобладанием хвойных пород, кажется, пострадали меньше.) По словам Питера Гроффмана (Peter Groffman), микробиолога и эколога из Института экосистемных исследований в Милбруке, штат Нью-Йорк, для северных лиственных лесов важна толстая подстилка из опавших листьев, создающая среду для развития корневой системы. Гроффман сообщает, что дождевые черви приходят «в район с толстой органической лесной подстилкой, но через два-пять лет этот слой исчезает».

В результате некоторые северные лиственные леса, имевшие когда-то пышный подлесок, остались лишь с одним местным видом травянистых растений и практически без под-

роста. Очевидно, дождевые черви изменили лесные почвы, в них вместо грибов стали преобладать бактерии, которые ускорили превращение листового опада в минеральные вещества и таким образом лишили растения органического питания.

Но не все черви-пришельцы оказались разрушителями. Из 5 тыс. видов, обитающих в мире, только около 16 из Европы и Азии приносят настоящий ущерб. Один из них, *Lumbricus terrestris*, пользуется популярностью рыбаков в качестве наживки и достигает 30 см в длину. Другой — алабамский прыгун *Amyntas agrestis*, прозванный змеиным или бешеным, — агрессивный азиатский червь, который, находясь в крайней тесноте, может, по словам рыбаков, буквально выпрыгнуть из земли или из банки. Обладая большой прожорливостью, он представляет собой самую большую угрозу почве.

Земляные черви оказывают пагубное влияние не только на растения. Джон Маерс (John Maerz), эколог, занимающийся дикой природой, из Университета Джорджии рассказывает, что взрослые саламандры, питающиеся этими червями, отличаются высокой репродуктивностью, но для молодых особей эти черви слишком велики, в итоге общая численность саламандр падает. Маерс замечает, что земноводные представляют собой хорошую добычу для змей, мелких млекопитающих, индек и множества лесных обитателей.

Хейл считает, что раз дождевые черви появились в нашей жизни, их нельзя отсюда убрать. Обеспокоенное влиянием червей, Министерство сельского хозяйства США недавно предоставило Хейл и ее аспирантам-биологам трехгодичный грант на \$397,5 тыс. для изучения экологии дождевых червей и их вторжения в лиственные леса умеренно хо-



Лиственные леса близ Великих озер погибают под натиском интродуцированных земляных червей, таких как *Lumbricus terrestris* (вставка). Черви съедают листовую опад, необходимый для развития корневой системы

лодной зоны. Ученые также надеются ответить на вопрос о круговороте питательных веществ и углерода, в частности, помогает ли жизнедеятельность дождевых червей удержанию углерода в почве или, наоборот, возвращению его в атмосферу. «Этот вопрос пока еще спорный», — поясняет Хейл.

Исследователи пришли к мнению, что лучше всего дать волю червям, которые расширяют свое жизненное пространство только на 5–10 м в год. Это может означать введение новых правил управления вездеходами, содержания наживки рыбаками или ухода за оборудованием и ведении лесозаготовок. Хейл также хотела бы контролировать хранение мульчи в кучах и ее применение: «Помню, когда я впервые услышала о кучах, то мне показалось, что это хорошая идея. Но только подумайте: вы собираете листья, сорную траву с семенами и земляных червей отовсюду, все смешиваете и затем разбрасываете. Ведь это ужасная идея!»

Майкл Теннесен



# ВРЕМЯ, ВПЕРЕД?

Верно ли то, что переход на летнее время дает экономию энергии?

В марте примерно четверть населения Земли потеряла час сна и приобрела лишний час жизни при дневном свете, т.к. часы были переведены на один час вперед ради экономии электроэнергии. Люди могут думать, что этот переход на летнее время позволяет экономить энергию, затрачиваемую на освещение. Однако недавние исследования посеяли сомнения в том, что это так. Некоторые их результаты свидетельствуют даже об увеличении общего потребления энергии.

Считается, что предложение об улучшении использования дневного света ради экономии свечей выдвинул в 1784 г. Бенджамин Франклин, но США не утверждали его до Первой мировой войны, когда оно было принято как способ экономии ресурсов ради военных нужд. Первый подробный анализ влияния эффективности перехода на летнее время был осуществлен в 1970-х гг. Министерством транспорта США в период нефтяного кризиса. Оно нашло, что такой переход уменьшил потребление энергии примерно на 1%.



**ПЕРЕВОД ЧАСОВ:** переход на летнее время, который в этом году был произведен в США 8 марта, может и не дать экономии электроэнергии

С тех пор подобных исследований проводилось мало, а за эти годы в связи с широким внедрением кондиционирования воздуха и бытовой электроники изменилась картина распределения затрат энергии, отмечает экономист Мэтью Кочен (Matthew Kotchen) из Калифорний-

ского университета в Санта-Барбаре. Однако поздние изменения политики в отношении лучшего использования дневных часов на уровне штатов и федеральном уровне дали экономистам шанс. Штат Индиана впервые ввел всеобщий переход на летнее время в 2006 г. (до этого он бессистемно практиковался только в немногих графствах этого штата). Исследуя потребление энергии и анализируя счета за ее использование, Кочен и его коллега Лора Грант (Laura Grant) к своему удивлению обнаружили, что переход на летнее время привел к увеличению общего расхода электроэнергии в жилом секторе на 1%, что обошлось штату в \$9 млн. Несмотря на то что этот переход уменьшает расходы на освещение в домах, исследователи полагают, что он увеличил спрос на электроэнергию для охлаждения в летние вечера и отопление по утрам ранней весной и поздней осенью. Исследователи рассчитывают опубликовать свои выводы в этом году в журнале *Quarterly Journal of Economics*.

Еще одну возможность исследователи получили в 2007 г., когда переход на летнее время во всей стране был проведен на три недели раньше, чем в предыдущем году, во второе воскресенье марта, а возврат к зимнему времени осенью — на неделю позже. Экономист по ресур-



**НЕЗДОРОВЬЕ СЕРДЦА:** потеря часа сна приводит к всплеску сердечных заболеваний

## ПЕРЕХОД НА ЛЕТНЕЕ ВРЕМЯ ВРЕДЕН ДЛЯ СЕРДЦА

Перевод часов вперед может как губить, так и спасать человеческие жизни. Исследователи из Каролинского института в Стокгольме и их коллеги, наблюдающие заболеваемость инфарктом миокарда в Швеции с 1987 г., обнаружили, что в течение первой недели после перехода на летнее время число сердечных приступов возрастает примерно на 5%. В *New England Journal of Medicine* от 30 октября 2008 г. они выдвинули предположение, что причиной этого может нарушение ритма сна и биологических ритмов.

С другой стороны, перевод часов может помочь уменьшить число аварий на дорогах, т.к. позволяет большему числу людей ехать с работы домой при дневном свете. Проанализировав статистику ДТП в США за 28 лет, экономисты из «РЭНД Корпорейшн» и их коллеги предложили в 1986 г. внести в Федеральный закон о переходе на летнее время изменение: перенести дату перехода с последнего воскресенья апреля на первое. Это привело к уменьшению числа ДТП с участием пешеходов на 8–11%, а с участием только автомобилистов на 6–10%. Свои выводы они опубликовали в 2007 г. в *B.E. Journal of Economic Analysis & Policy*.



сам из Энергетической комиссии штата Калифорния Адриенна Кэндел (Adrienne Kandel) с коллегами установили, что удлинение периода действия летнего времени не оказало заметного влияния на потребление электроэнергии в штате. Его уменьшение было оценено в 0,2% при статистической ошибке в 1,5%.

Однако о том, что переход на летнее время не дает экономии энергии, свидетельствуют не все исследования последних лет. Старший аналитик Министерства энергетики США Джефф Дауд (Jeff Dowd) и его коллеги не ограничились изучением влияния перехода на летнее время в каком-либо одном штате и проанализировали, какой эффект мог иметь этот переход в общенациональном масштабе, рассмотрев данные 67 энергетических компаний в разных частях страны.

В своем отчете Конгрессу США в октябре 2008 г. аналитики сообщили, что продление периода лет-

него времени на четыре недели давало экономию около 0,5% суточного потребления электроэнергии, или 1,3 млрд кВт•ч. Этой экономии недостаточно для годового обеспечения энергией 100 тыс. домашних хозяйств. При этом, как отметил Дауд, исследование охватывало потребление энергии не только в жилом секторе, но и в торгово-промышленном.

Различие между результатами исследований в штатах и в общенациональном масштабе может отражать разницу климатических условий в разных штатах. «Во Флориде, где кондиционирование воздуха применяется очень интенсивно, эффект может быть еще меньше», — предполагает Кочен.

Если перевод часов вызывает увеличение потребления энергии, приведет ли это к отказу от него? Такая мера, несомненно, обрадует фермеров, которые давно противятся переходу на летнее время, так как он нарушает их графики работ, но шансы

на перемены ничтожны. «Я сомневаюсь, что мы сможем отказаться от перевода часов на общенациональном уровне, потому что мы привыкли к нему», — говорит Кочен. — Возможно, мы захотим рассмотреть другие потери и выгоды, которые он может принести». Работники розничной торговли, особенно связанной со спортом и рекреациями, всегда энергично ратовали за увеличение периода действия летнего времени. В частности, представители сферы гольфа в 1986 г. сообщили Конгрессу США, что дополнительный месяц летнего времени ежегодно приносит им до \$400 млн за счет увеличения продаж и доходов от услуг.

Так что вместо того, чтобы тревожиться из-за увеличения затрат на кондиционирование в доме, подумайте лучше, чем еще вы сможете заняться вне своего жилища, пока светит солнце. Может быть, софтболом?  
Чарлз Чой

## КОМЕТЫ СТЕРЛИ С ЛИЦА ЗЕМЛИ МЛЕКОПИТАЮЩИХ

Приблизительно 12,9 тыс. лет назад аномальное похолодание на нашей планете внесло свою лепту в исчезновение 35 видов млекопитающих, в том числе мамонта. Предполагается, что в отдельных районах температура понизилась в среднем на 15°C. Аргументом в пользу выдвинутой в прошлом году теории о том, что всеобщее похолодание произошло в результате столкновения с кометой или какого-то аналогичного мощного взрыва, стали алмазы диаметром в несколько нанометров.

Наноалмазы находят лишь в отложениях, подвергшихся действию таких высоких температур и давлений, которые могли возникнуть только при столкновении с кометой. Они были обнаружены учеными в шести местах Северной Америки: Марри-Спрингс, штат

Аризона, Бул-Крик, штат Оклахома, Гейни, штат Мичиган, Топпер, штат Южная Каролина, Лейк-Хайнд, провинция Манитоба, Чобот, провин-

ция Альберта. Предварительные изыскания в Европе, Азии и Южной Америке привели к аналогичным находкам в отложениях того же возраста, что говорит о глобальном размахе данного явления. Но можно сказать определенно, что оно не было столь масштабным, как событие, ставшее причиной гибели динозавров 65 млн лет назад.

Давид Биелло





# ХАОС И УЛОВ ДНЯ

Пол Реберн

В море стало меньше рыбы.

Математик Джордж Сугихара (George Sugihara) считает, что теория сложности способна помочь в восстановлении рыбного промысла

Когда Джордж Сугихара читает о кредитном кризисе и правительственных программах, его мысли все чаще возвращаются к сардинам. К калифорнийским сардинам, если быть точным. Спустя несколько десятилетий после Великой депрессии промысел сардин в Калифорнии страдал из-за подобного рода упадка. Средний улов, достигавший в 1930-х гг. 500 тыс. тонн, в 1950–1960 гг. снизился до 5 тыс. тонн. Уменьшение численности сардин поставило в тупик многих экспертов. Причину этого кризиса одни видели в чрезмерном промысле, другие ссылались на экологические аспекты, такие как непостоянные ветры или холодные течения. Тем не менее ни один из этих вариантов не удалось доказать. Для того чтобы предотвратить подобное снижение численности сардин, в Калифорнии была введена система мониторинга, регистрировавшая различные характеристики популяции сардин в течение последних 50 лет.

Сугихара, математик и эколог-теоретик из Института океанографии им. Скриппса при Калифорнийском университете, проанализировал эти данные и пришел к интересному выводу: оба предположения касательно снижения численности популяции сардин были ошибочны.

Основная идея его статьи, опубликованной в журнале *Nature* в 2006 г., заключалась в том, что при ловле рыбы обычно оставляют крупных особей, в то время как маленьких отпускают. Сугихара доказал, что с математической точки зрения подобная популяция неустойчива, и это, в частности, может привести к катастрофическому снижению ее численности.

Автор приводит следующий пример. Представьте себе двухсоткилограммовую рыбу в аквариуме. Если ее откармливать, она будет становиться толще, и наоборот: если не давать ей еды, вес ее будет уменьшаться. В определенном смысле популяция, состоящая из одной рыбы, устойчива. Если же теперь рассмотреть тыся-

чу маленьких рыбок, вес которых не превышает нескольких сотен граммов, то нехватка пищи может привести к смерти нескольких сотен из них. Такой эффект вызван тем, что маленькие рыбки в большей степени зависят от количества корма, нежели крупные особи. Обилие корма, в свою очередь, не означает гарантированного увеличения веса каждой отдельной особи. С большей вероятностью это приведет к увеличению популяции, что опять повлечет новый кризис. Данная система неустойчива. Таково, по мнению автора, устройство многих естественных систем. Последние данные о популяции сардин подтверждают теорию Сугихары. Тем не менее подобная нестабильность не учитывается людьми, непосредственно занимающимися промыслом: они действуют по закону максимальной прибыли. При этом до сих пор используется теория, согласно которой популяция рыбы развивается устойчивым образом, а промысел не нарушает этого равновесия. Сугихара, напротив, рассматривает процесс рыбной ловли как хаотическую систему, аналогичную финансовым процессам. Они идентичны настолько, что *Deutsche Bank*, один из крупнейших в мире финансовых гигантов, отвлек исследователя от его академической деятельности на период с 1996 по 2001 г., и ему с успехом удалось применить разработанную им методику с целью краткосрочных предсказаний изменений рынка.

Несмотря на то что водная экосистема, равно как и финансовый рынок, могут выглядеть абсолютно непредсказуемыми, случайными системами, Сугихара доказыва-

## ДЖОРДЖ СУГИХАРА

■ **ПИЩА ДЛЯ РАЗМЫШЛЕНИЙ:** используя теорию сложности, исследователь смог показать, что принятые рыболовные методы дестабилизируют популяцию, а это может привести к кризису в случае недостаточной кормовой базы.

■ **ЗАБЛУЖДЕНИЕ:** распространенное мнение о том, что нужно отпустить лишь самых маленьких рыбок, неверно.

■ **В ХАОСЕ:** управление рыбной ловлей основано на ошибочном мнении об устойчивости данной системы, тогда как стабильная структура — это часы или транзистор, но не экосистема.





ет обратное. Другими словами, как и в случае с погодой, краткосрочные предсказания возможны. Роберт Мэй (Robert M. May), известный эколог из Оксфордского университета, называет подобную предсказуемость хаотическим подбрасыванием монеты. Во время своего пребывания в Принстонском университете в качестве приглашенного профессора Мэй ознакомился с докторской диссертацией Сугихары. В настоящее время Мэй стал постоянным сотрудником этого университета. По его словам, Сугихара был одним из первых, кто смог формализовать процесс предсказания в таких сложных системах.

Исследования Сугихары пришлись на время активного функционирования огромных предприятий, занимающихся рыбным промыслом, и непосредственно касаются их будущего. Тем не менее наиболее угрожающие отчеты о состоянии этой отрасли поступили только в 2006 г., когда Борис Уорм (Boris Worm), эколог из Университета Дальхаузи, опубликовал в журнале *Science* данные о том, что для 29% промысловых рыбных районов добыча снизилась до 10% от исторического максимума. Если тенденция вылова останется прежней, то запасы промысловой рыбы истощатся к 2048 г.

Согласно другим данным, будущее представляется не столь мрачным. По мнению Рэя Хилборна (Ray Hilborn), профессора по управлению рыбной ловлей Вашингтонского университета, все зависит от конкретного региона. США, Канада и некоторые другие развитые страны ограничили масштабы рыбной ловли, что позволяет говорить о более радужных перспективах. Тем не менее недостаток в организации рыболовного промысла испытывают не только Азия и Африка: многие европейские страны до сих пор не утвердили соответствующие нормы и правила, что, по мнению Хилборна, может привести к тяжелым последствиям.

Практические выводы из работы Сугихары просты. Текущие ограничения рыбной ловли обычно формулируются в терминах минимальных допустимых размеров промысловой

рыбы. Сохранять следует не молодых особей, а наоборот, наиболее старых и крупных. Они стабилизируют популяцию и способствуют лучшему развитию потомства. Лабораторные эксперименты подтвердили теорию Сугихары. Примером могут служить исследования, проведенные Дэвидом Коновером (David Conover) из Нью-Йоркского университета в Стони-Брук, который наблюдал за популяцией атеринов.

Сугихаре также удалось обосновать связь между различными видами рыб. Популяции, например, сардины, лосося или меч-рыбы в изоляции развиваются по схожим законам. Тем не менее если использовать сравнение рыбной ловли с фондовой биржей, то банкротство страховых фондов или ипотечного банка может спровоцировать разрушение всей системы.

Сугихара также применил свои разработки в области экологии и финансов для разработки принципиально новых схем управления рыбным промыслом. Одна из его идей основана на так называемых кредитах и предназначена для различных животных, таких, например, как черепахи или акулы, которые случайным образом оказываются пойманными рыболовными судами. Согласно предложенной системе, каждому судну предоставляется определенное количество кредитов, расходующихся при ловле вышеуказанных животных. В том случае, если судно исчерпает свои кредиты, оно должно либо прекратить рыбную ловлю, либо купить кредиты за деньги. Таким образом, регулируя цену на кредиты, можно в той или иной степени влиять на нецелевой промысел.

Несмотря на то что модель, разработанная Сугихарой, была подтверждена несколькими экспериментами, многие ученые ставят под сомнение сам метод. Роджер Хьюит (Roger Hewitt), заместитель директора Национального океанического и атмосферного управления при Северо-Западном рыбоохранном научном центре в Ла-Хоя, придерживается классической модели, согласно которой динамика развития попу-



Промысел сардин переживал и хорошие, и плохие времена. Отпуская больших рыб, можно стабилизировать эту сложную систему

ляции зависит от нескольких ключевых факторов, таких как скорость роста, скорость размножения, период созревания, количество потомства и пр. Хьюит отмечает, что подход Сугихары не рассматривает подобные факторы. Он основан лишь на статистических данных, собранных за достаточно большой промежуток времени. Барри Голд (Barry Gold), возглавляющий общество по охране моря в Фонде Гордона и Бетти Мур в Сан-Франциско, обозначил исследования Сугихары как «важные для управления рыбным промыслом». Однако он отмечает, что на данный момент эта модель представляет собой лишь удачный эксперимент в условиях, близких к лабораторным. По его мнению, неизвестно, как именно эта модель будет функционировать в реальном мире.

Отвечая своим коллегам, Сугихара подчеркивает, что сейчас для проверки его модели не хватает более сложных экспериментов в условиях, приближенных к реальным. Несмотря на то что исследователя волнует возможность краткосрочного предсказания будущего в таких сложных моделях, он отмечает, что первый шаг должен быть совершен именно в направлении действительности. Но это будет лишь начало развития его перспективной модели.

Перевод: Д.С. Хованский





В апреле 2009 г. мир облетела новость о вспышке гриппозной инфекции у людей. Выяснилось, что она вызвана необычным «свиным» вирусом субтипа H1N1, который получил название A/California/2009. 23 апреля 2009 г. Национальное агентство США по контролю и предотвращению болезней (US CDC) официально подтвердило существование новой разновидности вируса субтипа H1N1, несущей эпидемическую опасность для людей. О потенциале этой опасности рассказывает руководитель лаборатории молекулярных механизмов вирусного патогенеза НИИ вирусологии им. Д.И. Ивановского РАМН, академик РАН, профессор, доктор биологических наук **Олег Петрович Жирнов**

# СТАНЕТ ЛИ «СВИНОЙ ГРИПП» более опасным для людей?



**Н**еобычность данного вируса состояла в том, что в его составе присутствовали гены вирусов гриппа человека (один ген), птиц (два гена) и свиней (пять генов). Такая тройная вирусная химера уникальна: подобные сочетания генов вирусов гриппа возникали ранее в природе довольно редко. Один из главных вопросов, касающихся нового вируса, состоит в том, каков его эпидемический потенциал для популяции людей.

Для ответа на данный вопрос мы проанализировали свойства пятого вирусного гена, кодирующего один из главных белков, который упаковывает вирусную РНК — носитель генетической информации — в так называемой вирусной сердцевине. Хорошо известно, что этот сердцевинный белок (*Nucleocapsid Protein, NP*) играет важную роль в регуляции круга хозяев вируса, т.е. вида животного или человека, подверженного заражению данным вирусом. Все без исключения эпидемические вирусы гриппа человека имеют в своем составе белок *NP* с каспазным участком *ETD↓G*, чувствительным к клеточным каспазам. Все вирусы гриппа птиц и свиней имеют последовательность *ETGG*, которая устойчива к каспазам клетки-хозяина. Это строгое правило, в котором не обнаружено ни одного исключения для эпидемических вирусов гриппа человека субтипов *H1N1*, *H2N2*, *H3N2*. Более того, эксперименты по обратной генетике, выполненные с геном белка *NP* у вирусов гриппа птиц и человека, показывают, что приобретение каспазного сайта *ETD↓G*, может быть важным для адаптации вирусов птиц и свиней к организму человека. Таким образом, сформулированная ранее концепция получила свое подтверждение в том, что наличие такого специфического домена в белке *NP* может служить указателем на эпидемический потенциал вируса для людей.

В период апреля-мая 2009 г. значительное количество вирусных штаммов *H1N1* уже изолировано от больных «свиным гриппом» в Америке и Европе и полностью расшифрована последовательность нуклеотидов

их генов (*PubMed: NLM/NCBI H1N1 Flu Resources*). Оказалось, что все изоляты имели «птичью» последовательность *ETGG* в протеолитическом домене *NP*. Это означает, что современный «свиной» вирус *H1N1* пока не адекватен организму человека в полной мере, т.е. он находится в «предчеловеческой» фазе. Однако, в случае мутации *ETGG*→*ETDG* данный вирус «свиного» типа усилит свой потенциал для человека, что с большой вероятностью приведет к ускорению эпидемического процесса и усилению болезнетворности (агрессивности) вируса у людей. Такой сценарий хорошо напоминает двухволновое развитие «испанки» 1918–1920 гг. Первая волна «испанки» случилась в марте-апреле 1918 г. в основном в Северной Америке, когда наблюдались первые случаи так называемого «мягкого гриппа». Затем уже во вторую, осеннюю, волну в сентябре-ноябре 1918 г. разыгрался эпидемический процесс с большим количеством смертей, быстро охвативший весь мир. Мы обратили внимание на тот факт, что вирус гриппа *A/Brevig Mission/1918 (H1N1)*, изолированный от больного, погибшего во вторую волну «испанки» и сохранившегося в замерзшей земле Северной Америки, имел типичный маркер *ETDG* человеческого вируса. Важно заметить, что циркулировавшие параллельно у свиней вирусы гриппа *H1N1* (потомком такого вируса считают штамм *A/swine/Iowa/30*) имели типичный «птичий/свиной» маркер *ETGG*. Таким образом, на этом основании можно полагать, что «свиной» или химерный «птичьесвиной» вирус 1918 г. перешел на человека и вызвал первые мягкие случаи гриппа, а затем подстроился к человеку, в частности, приобретает *ETDG*-участок в *NP*, после чего этот вирус стал агрессивным и вызвал эпидемию «испанки».

Современная ситуация со «свиным» вирусом *A/California/2009 (H1N1)* вполне может разрешиться по сценарию «испанки». Калифорнийский вирус может легко получить ген *NP/ETDG* «человеческого» типа в результате природной рекомбинации с типичным вирусом гриппа челове-

## СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

**ETD↓G, ETGG** — участки белка, содержащие в своем составе остатки глутаминовой кислоты (**E**), треонина (**T**), глицина (**G**) и аспарагиновой кислоты (**D**). Стрелка показывает место разрезания каспазой.

**Каспазы** — клеточные протеолитические ферменты, принимающие участие в разрезании белков при апоптозной гибели клеток, инфицированных вирусом гриппа.

**NP** — главный белок сердцевинного вириона, в которой находится вирусная РНК.

**Каспазный сайт** — участок белка, который расщепляется клеточной каспазой.

ка. Осенью, когда значительная популяция людей начнет болеть обычным «человеческим» гриппом, вызванным классическими вирусами гриппа с *NP*-маркером *ETDG*, возникнут оптимальные условия для такого обмена генами. На этом основании можно сделать прогноз, согласно которому появления уже агрессивного «свиного» вируса *H1N1* и начала второй волны эпидемии гриппа следует ожидать осенью 2009 г. ■

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Zhirnov O.P., Konakova T.E., Garten W., Klenk H. Caspase-dependent N-terminal Cleavage of Influenza Virus Nucleocapsid Protein in Infected Cells. *J. Virol.* 1999 Dec.; 73 (12):10158-63. PubMed PMID: 10559331; PubMed Central PMCID: PMC113068.
- Zhirnov O.P. The Host Origin of Influenza A Viruses Can be Assessed by the Intracellular Cleavage of the Viral Nucleocapsid Protein. Brief report. *Arch. Virol.* 1988; 99 (3-4): 277-84. PubMed PMID: 3369946.
- Zhirnov O.P., Sytrzev V.V. Influenza Virus Pathogenicity is Determined by Caspase Cleavage Motifs Located in the Viral Proteins. *J. Mol. Gen. Med.* 2009, V. 3 (1): 124-132.
- Taubenberger J.K., Reid A.H., Janczewski T.A., Fanning T.G. Integrating Historical, Clinical and Molecular Genetic Data in Order to Explain the Origin and Virulence of the 1918 Spanish Influenza Virus. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* 2001 Dec. 29; 356 (1416): 1829-39. Review. PubMed PMID: 11779381; PubMed Central PMCID: PMC1088558.





# русская литература: ВРЕМЯ ПРЕОДОЛЕНИЯ

О некоторых проблемах изучения русской литературы XX в. рассказывает доктор филологических наук, заместитель директора Института мировой литературы им. А.М. Горького РАН **Алексей Иванович Чагин**

**З**а последние 20–25 лет наши представления о русской литературе XX в. во многом усложнились. Обозначившиеся в середине 1980-х гг. повороты в истории страны принесли в литературную жизнь немало нового. Началось возвращение имен и произведений, ранее замалчиваемых — прежде всего писателей русской эмиграции; писателей, которые в прежние времена были репрессированы, а произведения их не издавались; таких

поэтов и писателей, как А.А. Ахматова, Б.Л. Пастернак, М.А. Булгаков, А.П. Платонов, далеко не все произведения которых были доступны широкому читателю. Стали публиковаться и книги писателей андеграунда. Изменились, таким образом, представления и о границах самого понятия «русская литература XX века», и о том, что есть русская классика этого периода, какие художественные направления, течения составляли богатство и мно-

гообразие литературного развития в то время. Назрела необходимость подготовки новой истории русской литературы минувшего столетия.

## **Два потока литературного развития**

Задумываясь над тем, какие новые проблемы возникают сегодня перед исследователями русской литературы XX в., необходимо прежде всего обратиться к самому серьезному испытанию, выпавшему нашей ли-



тературе в ушедшем столетии, — к факту искусственного разделения, рассечения русской литературы после 1917 г. на два потока развития: в России и в зарубежье. Вдумаемся в смысл и масштабы того, что тогда произошло: такой массовой эмиграции история прежде не знала. Достаточно вспомнить, что к началу 1930-х гг. только в Париже было около 400 тыс. русских эмигрантов, а в Шанхае — около 1 млн. Изгнанники «первой волны» создавали себе на чужбине условия для нормальной жизни. В 1920–1930-е гг. в Европе, на американском континенте, в Китае и в других странах возникали русские газеты, журналы, издательства, театры, гимназии, институты. Массовый характер русской эмиграции объективно создавал и ту почву, на которой могла развиваться литература в изгнании: она имела здесь своего, эмигрантского, широкого читателя. Разделение литературы, за которым стояла трагедия раскола нации, нанесло ощутимый урон той литературе, что осталась на родине. Уехал почти весь цвет русской прозы: за пределами России оказались И.А. Бунин, И.С. Шмелев, А.И. Куприн, А.М. Горький, Л.Н. Андреев, Д.С. Мережковский. Из поэтов эмигрировали М.И. Цветаева, В.И. Иванов, К.Д. Бальмонт, И. Северянин, З.Н. Гиппиус, Г.В. Иванов и многие другие. При этом сам факт раскола русской литературы был воспринят многими писателями зарубежья как национальная трагедия. «Русская литература разделена надвое, — писал В.Ф. Ходасевич в статье «Литература в изгнании» в 1933 г. — Обе ее половины еще живут, подвергаясь мучительству, разнородным по форме и по причинам, но одинаковым по последствиям». Обратив внимание на сам тон высказывания: поэт говорит о литературе как о расщепленном живом едином организме. Стоит вспомнить и о том, по какому поводу была написана эта статья. С середины 1920-х гг. в эмигрантских изданиях развернулся спор о русской зарубежной литературе, о самой возможности ее существова-

ния, о ее судьбе и перспективах. Эти размышления неизбежно сопровождались сравнительными оценками состояния дел на обоих берегах разделенной литературы, и со временем оценки менялись. Если в 1920-е гг. многие писатели и критики русского зарубежья отдавали предпочтение духу обновления и творческой смелости, увиденному ими в советской литературе (об этом писали Г.В. Адамович, М.Л. Слоним и другие), то позднее, в конце 1920-х и в 1930-е гг. возобладала иная тенденция — более высокой оценки достижений литературы зарубежья.

### Свобода слова или свобода духа

На одно из главных оснований этой позиции указала З.Н. Гиппиус, говоря о проблеме свободы слова: «Когда мы просто критикуем советскую литературу, мы делаем не умное и, главное, не милосердное дело. Это все равно, как идти в концерт судить о пианисте: он играет, а сзади у него человек с наганом и громко делает указание: “Левым пальцем теперь! А теперь вот в это место ткни!” Хороши бы мы были, если б после этого стали обсуждать, талантлив музыкант или бездарен». Говоря же о литературе зарубежья, она отмечала: «Здесь наша “музыка” — слово эмиграции имеет иную значимость. За ним не только не стоит указующий с наганом, но даже не прячется вежливый “пресекающий” в кулисах, как было недавно. Русским людям впервые дано свободное слово».

Были ли вполне справедливы эти суждения и эти опасения за судьбы национальной культуры на оставленной родине? И да, и нет. Действительно, какая уж тут «духовность» — под дулом нагана. Надо сказать, не такой и фантазией была столь жестокая аналогия: ведь говорилось это среди людей, которые еще недавно сами испытали на себе складывающиеся в советской России новые, все усугубляющиеся отношения между художником и властью. И по поводу эмиграции все вроде бы верно сказала Гиппиус: ни «указующего с наганом», ни Главлита там не было.

Заблуждение, однако, заключалось в том, что, во-первых, уравнивались две несравнимые вещи: свобода слова — вещь «внешняя», т.е. то, чего можно добиться или декретом, или географическим перемещением прочь от диктатора, и свобода творчества, т.е. свобода духа, связанная, конечно, со свободой слова, зависящая от нее, но не ограниченная ее пределами, а рожденная прежде всего масштабом личности, мощью таланта. Заблуждение это было не случайным, здесь была выражена определенная позиция. Вот что говорил по этому поводу Д.С. Мережковский: «Наша трагедия — в антиномии свободы — нашего “духа”, и России — нашей “плоти”. Свобода — это чужбина, “эмиграция”, пустота, призрачность, бескровность, бесплотность. А Россия, наша кровь и плоть, — отрицание свободы, рабство. Все русские люди жертвуют или Россией — свободе, или свободой — России».

Такая позиция (и стоящая за ней трагедия) не была единственной для «всех русских людей». Была и другая правда, связанная с другим пониманием свободы, о чем говорила оставшаяся на родине А.А. Ахматова в стихотворении 1922 г.: «Но вечно жалок мне изгнанник, / Как заключенный, как больной». За такой правдой и за таким выбором стояла убежденность в том, что свобода и Россия неразделимы, что «антиномия» здесь невозможна, т.к. Россия — это не только «наши кровь и плоть», но и «наш дух». Трагедия же заключалась в том, что свободу духа приходилось отстаивать в отсутствии свободы слова и всех других свобод. Тем не менее многие писатели старшего поколения, оставшиеся в России — В.Г. Короленко, А.А. Ахматова, С.А. Есенин, О.Э. Мандельштам, Б.Л. Пастернак и другие, — свободой духа, как известно, не поступились. То же было и в следующем литературном поколении — вспомним М.А. Булгакова, М.А. Шолохова, А.П. Платонова, Н.А. Заболоцкого и еще многих. В стране, несмотря на царившую здесь обстановку диктатора, рождалась великая литература,



наследующая вопреки опасениям многих в зарубежье национальную традицию.

Кроме того, представление о литературном зарубежье как о территории творческой свободы, как об обретенном прибежище «свободного слова» (по Гиппиус) на поверку оказывается излишне идеальным. Хотя со свободой творчества в Париже было несравненно легче, чем в Москве или Ленинграде, однако «вежливый “пресекающий” в кулисах» определенно был. Отсутствовала официальная цензура, но была партийная литературная политика, в ряде случаев откровенно выполнявшая функцию цензора. В связи с этим можно вспомнить об истории публикации в «Современных записках» романа В.В. Набокова «Дар», заставившей автора написать о попытке партийного цензурирования, или о судьбе незаконченного романа И.С. Шмелева «Солдаты», работа над которым была оборвана по вине тех же лидеров «Современных записок», или же о недавно найденном, написанном в 1920-е гг. «в стол» и вышедшем лишь в наши дни в России сборнике сюрреалистических стихов русского парижанина Б.Ю. Поплавского (факт, заставивший французскую исследовательницу русского происхождения Елену Менегальдо назвать поэта «внутренним эмигрантом зарубежной России»). Перечень подобных примеров можно продолжить.

### Опыт и задачи изучения

Обращение отечественного литературоведения к опыту литературы русского зарубежья имеет свою историю, не ограниченную последними двумя десятилетиями. Вспомним, что уже с конца 1950-х гг. в нашей стране возникла и стала утверждаться тенденция бережного изучения и пропаганды всего лучшего, что было создано писателями «первой волны» эмиграции. Здесь стоит вспомнить о том, что в эти десятилетия было сделано О.Н. Михайловым по изучению творчества крупнейших писателей русского зарубежья, осуществленные им издания И.А. Бунина, И.С. Шмелева,

А.Т. Аверченко, Н.А. Тэффи, а также работы П.В. Палиевского, Л.А. Спиридоновой, А.К. Бабореко, А.А. Саакянц и др. Сегодня исследования в этом направлении вышли на новый уровень. Начнем с того, что с приходом новых времен изменились и самые основы подобной работы. Ведь прежде материалы по литературе русского зарубежья можно было найти лишь в спецхранах библиотек, и выбор их был явно скуден. Многое мы обнаруживали в зарубежных библиотеках, архивах — не только книги и периодику, но и рукописи, письма... Богатейшие архивы, сохранившие наследие нескольких поколений русской эмиграции, остались в США, Финляндии, Чехии, в других странах, где проходили пути русского изгнания. А теперь уже архивные и библиотечные коллекции материалов по литературе русского зарубежья есть и в нашей стране — назову лишь Библиотеку-фонд «Русское зарубежье» на Таганке в Москве и московский дом-музей М.И. Цветаевой. И у нас в ИМЛИ находятся, например, архивы замечательных поэтов зарубежья И.В. Чиннова и В.Ф. Перелешина. Надеюсь, это только начало.

Огромен список опубликованных в России произведений писателей русского зарубежья. Немало появилось исследований и справочных изданий, обращенных к этому «архипелагу» русской литературы XX в. В Институте мировой литературы РАН существует активно работающая группа по изучению литературы русского зарубежья, возглавляемая патриархом этого дела О.Н. Михайловым. В ИМЛИ идет подготовка целой серии работ, связанных с созданием будущей «Истории русской литературы XX века» послеоктябрьского периода. Одним из важнейших принципов этой работы стало осуществление исследования каждой страницы литературной истории по двум потокам с учетом особенностей литературного развития «здесь» и «там», в сопоставлении этого опыта, в выявлении преодоленной все испытания XX века внутренней целостности русской лите-

ратуры, и, конечно, с вниманием к судьбам крупнейших мастеров русского слова, неизменно, где бы они ни находились — в Москве, Вешенской, Париже или Праге, — осознававших ответственность перед настоящим и будущим национальной культуры.


Сегодняшний же этап литературного развития представляет для историка литературы особый интерес. Впервые после 1917 г. русская литература преодолела ситуацию раскола национальной культуры и снова вошла в свои естественные берега. Прежде открытый литературный процесс представлял лишь литературу, разрешенную государством, т.е. то, что называлось «русской советской литературой». А два других потока, литература зарубежья и андеграунд, существовали автономно, были отделены от основного русла словесности (и оставались за пределами внимания исследователей). Теперь же все три потока, взаимодействуя между собой, равноправно участвуют в едином открытом литературном процессе, обозначая пределы единой русской литературы. Встреча трех литературных потоков, разделенных между собой в течение многих десятилетий, стала фундаментальным событием в современной истории русской литературы. И это во многом будет определять дальнейшие направления литературного развития.

Беседовала Фирюза Янчилина

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Михайлов О.Н. Литература русского зарубежья. М., 1995.
- Корниенко Н.В. «Сказано русским языком...» Андрей Платонов и Михаил Шолохов. М., 2003.
- Чагин А.И. Пути и лица. О русской литературе XX века. М., 2008.
- Азаров Ю. Диалог поверх барьеров. Литературная жизнь русского зарубежья: центры эмиграции, периодические издания, взаимосвязи (1918–1940). М., 2005.
- Русский экспрессионизм: Теория. Практика. Критика. Сост. и вступ. статья В.Н. Терехиной. М., 2005.





**Всероссийский конкурс  
детских и  
юношеских  
работ**

**МАКС  
2009**

# Авиационно-космический салон будущего

**МАКС-2009**

Взгляните на небо, и вы обязательно увидите белую полосу — след от пролетевшего самолёта. Самолёты стали обычным видом транспорта, вроде рейсового автобуса. На космическую станцию уже возят туристов. А ведь всего 100 лет назад неуклюжий планер поднял в одесское небо первого русского авиатора Михаила Ефимова. Как это было недавно и вместе с тем как давно! До наступления XX века история не знала подобных темпов научно-технического прогресса.

С 18 по 23 августа 2009 года в подмосковном городе Жуковский пройдёт IX Международный авиационно-космический салон (МАКС). На нём будут представлены самые современные гражданские и военные самолёты, космические корабли, военная техника.

А каким будет авиационно-космический салон через 90 лет, в августе 2099 года? Попробуйте представить себе это, дайте волю фантазии. Пришлите рисунки, чертежи, макеты самолётов, вертолётов, звездолётов будущего. Только не забудьте пояснить назначение вашего летательного аппарата, особенности его конструкции и технические возможности. Принимаются проекты в электронном виде, в том числе выполненные с использованием 3D-графики, анимации и мультимедиа.

Работы принимаются до 1 июля 2009 года.

Присылайте письма и бандероли с пометкой «МАКС-2009» по адресу: 101990, Москва, ул. Мясницкая, д. 24/7, стр. 1, Редакция журнала «Наука и жизнь».

Вы можете разместить свои проекты с комментариями на сайте журнала в разделе «Конкурс»

[www.nkj.ru/fun/konkurs/](http://www.nkj.ru/fun/konkurs/)

Не забудьте указать имя и фамилию, возраст, класс, школу, ваш точный почтовый адрес с индексом, контактный телефон, электронный адрес и номер ICQ (если есть).

Самые лучшие работы будут выставлены на МАКСе-2009 и опубликованы в журнале «Наука и жизнь». Победителей конкурса пригласят на авиасалон на торжественную церемонию, где им вручат призы и дипломы.





Тимоти Клифтон и Педро Ферейра

# ДЕЙСТВИТЕЛЬНО ЛИ СУЩЕСТВУЕТ темная энергия?

Возможно, в нашей Вселенной нет темной энергии. Согласно наблюдениям, позволившим астрономам сделать вывод о ее существовании, можно также предположить, что наша Галактика лежит в центре гигантской космической пустоты, или «войда»

Величайшие революции в науке часто могли быть спровоцированы самыми незначительными разногласиями. Так, в XVI в. Коперник предположил, что Земля не находится в центре Вселенной. Он основывался на таинственных деталях движения небесных тел. В наше время, 11 лет назад, стала назреть иная революция, началом которой послужи-

ло открытие ускоренного расширения Вселенной. На основе наблюдений небольших колебаний яркости взрывающихся звезд астрономы заключили, что 70% нашей Вселенной — неизвестной природы: пространство-время заполнено некоей «субстанцией», по своим свойствам отличной от всех известных науке веществ: она разгоняет Вселенную вместо того, чтобы удерживать. Эта

субстанция получила название темной энергии.

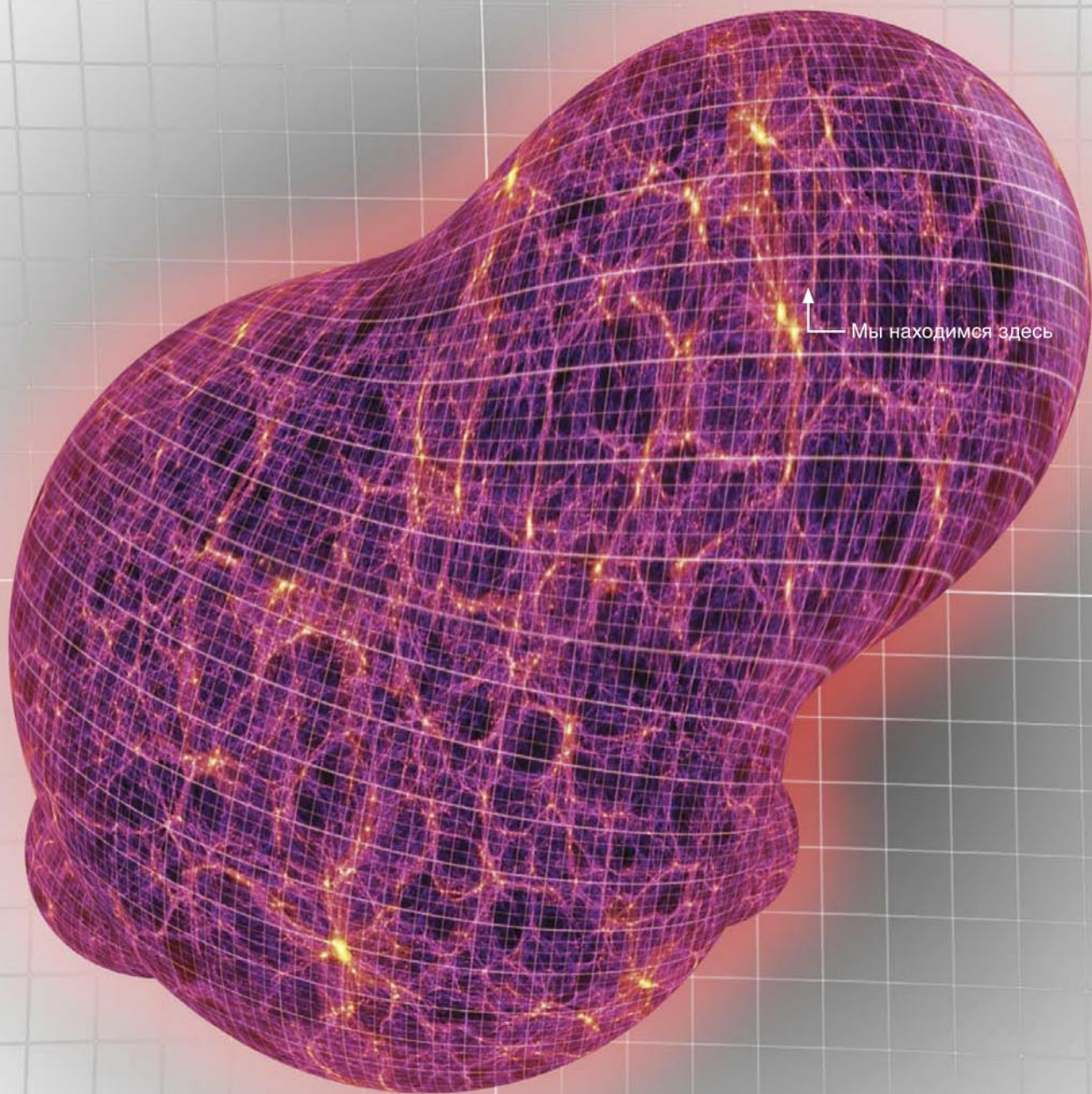
Прошло более десятка лет со времени открытия ускоренного расширения Вселенной, но до сих пор существование темной энергии остается под вопросом — некоторые космологи переосмысливают фундаментальные постулаты, исходя из которых они смогли прийти к этой гипотезе. Одна из идей родилась на основе размышлений над принципом Коперника, согласно которому Земля не имеет привилегированного положения в космическом пространстве. Если мы не примем это базовое утверждение, то придем к иному объяснению имеющихся наблюдений.

Большинство из нас хорошо знакомы с точкой зрения, что Земля — всего лишь крошечная песчинка на орбите вокруг типичной звезды где-то на краю заурядной во всех отношениях галактики. Находясь среди миллиардов галактик Вселенной, которые, разлетаясь, стремятся к нашему космическому горизонту (так называемому горизонту видимости, которым ограничена наблюдаемая нами часть Вселенной. — Прим. пер.), мы с неизбежностью заключаем, что в нашем расположении нет ничего уникального или избранного. Но какие реальные факты могут подтвердить такую скромность? А если бы мы действительно были в некоей избранной области, то как

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

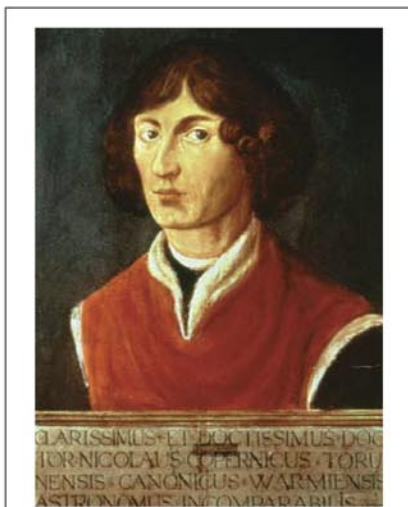
- Согласно данным наблюдений, наша Вселенная расширяется с ускорением, что предполагает существование странной новой формы энергии — темной энергии. Проблема заключается в том, что никто до сих пор точно не знает, что же она собой представляет.
- Возможно, космологи могут и не привлекать экзотические формы энергии для объяснения ускоренного расширения нашей Вселенной. Если мы живем в некоторой особой области пространства, которая более «пуста», чем все окружающие ее области, то темп космологического расширения зависит от нашего в ней положения, что можно ошибочно принять за кажущееся расширение.
- Космологам трудно смириться с гипотезой существования гигантского войда (пустоты), но и природа темной энергии вызывает много вопросов. Наблюдения, планируемые на ближайшие годы, позволят выявить, какая же из этих двух теорий действительно реализуется в природе.





НЕРАВНОМЕРНОЕ РАСШИРЕНИЕ ПРОСТРАНСТВА, вызванное вариациями плотности материи в грандиозных масштабах, может породить эффект, который астрономы приписывают темной энергии





### НАСЛЕДИЕ КОПЕРНИКА

Принцип Коперника гласит, что Земля не занимает особого места во Вселенной. Вселенная обладает однородной плотностью (свойство однородности) и выглядит одинаково во всех направлениях (свойство изотропии).

Будучи весомым утверждением, этот принцип приложим только на сверхбольших масштабах, больших, чем галактические. Следует отметить, что если Вселенная в прошлом была совершенно однородна, то сейчас она представляла бы собой своего рода жидкий супчик из атомов, а не совокупность галактик. Кроме того, принцип Коперника приложим к пространству, а не ко времени. Мы живем в интересную эпоху: довольно много времени прошло после Большого взрыва, так что жизнь уже успела зародиться, но наш мир все еще не стар, и звезды еще не погасли.

Историк Деннис Даниельсон (Dennis Danielson) из Университета Британской Колумбии утверждает: несмотря на то что европейское общество до Коперника помещало Землю в центр Вселенной, наша планета не считалась самой важной; наоборот, она воспринималась, по словам Галилея, лишь как «скопище вселенского мусора и приют бабочек-однодневок»

бы мы смогли распознать это? Астрономы обычно не задаются подобными вопросами, полагая нашу собственную «типичность» достаточно очевидной, чтобы не продолжать дискуссии на данную тему. Многие считают, что нет оснований для поддержки идеи о том, что мы находимся в особой области пространства. Тем не менее именно этой точки зрения придерживается одна группа физиков из разных стран.

Таким образом, опираясь на гипотезу нашей малозначительности во Вселенной, космологи получили свободу делать какие угодно смелые и ни к чему не обязывающие предположения. Например, мы можем экстраполировать результаты наблюдений ближайшей окрестности космоса на всю Вселенную. Больших усилий потребовало создание реалистичных моделей Вселенной, основанных на космологическом принципе, обобщающем принцип Коперника, согласно которому все положения и направления в пространстве выглядят одинаково. Космологический принцип в совокупности с нашими сегодняшними представлениями о пространстве, времени и материи гласит, что пространство расширяется, Вселенная охлаждается, а состав Вселенной определяется ее ранней горячей стадией — и все это основано на наблюдениях.

Так, астрономы открыли, что свет удаленных галактик — более красный, чем свечение расположенных ближе к нам. Эта характеристика, называемая красным смещением, может быть четко и ясно объяснена увеличением длин волн в расширяющемся пространстве. Микроволновые детекторы обнаруживают практически идеально однородный фон реликтового излучения, возникшего в ранней Вселенной. Микроволновое космическое фоновое излучение (или реликтовое излучение) — свидетельство той стадии Вселенной, когда она только что перестала представлять собой плазменный шар, и фотоны получили возможность распространяться

свободно. Приятно осознавать, что такой успех в понимании Вселенной обусловлен и нашей скромностью: чем меньше мы задумываемся о собственной значимости, тем больше можем сказать о Вселенной.

### Мрак наступает

Тогда к чему раскачивать лодку? Если космологический принцип так успешен, то с какой стати мы должны ставить его под сомнение? Проблема заключается в неоднозначности интерпретации данных астрономических наблюдений. В последнее десятилетие астрономы обнаружили, что для некоторой заданной величины красного смещения взрывы далеких сверхновых выглядят не такими яркими, как ожидалось. Красное смещение — мера расширения Вселенной. Измеряя, насколько сильно приходящее к наблюдателю излучение сверхновой смещено в красную область спектра, космологи могут заключить, насколько мала была Вселенная во время той вспышки по сравнению со своими современными размерами. Чем больше красное смещение, тем меньше была Вселенная, когда возникла сверхновая, и тем больше Вселенная успела расшириться за этот промежуток времени.

Наблюдая вспышку сверхновой, измеряют расстояние до нее, что в свою очередь дает возможность оценить, сколько времени прошло с момента вспышки. Если сверхновая для некоторой заданной величины красного смещения выглядит не такой яркой, как ожидается, то она должна быть дальше, чем полагают астрономы. Потребуется больше времени, чтобы свет такой сверхновой смог достичь наблюдателя, следовательно, Вселенной нужно больше времени, чтобы расшириться до современного состояния (илл. ниже). Таким образом, скорость расширения Вселенной в прошлом должна была быть меньше, чем предварительно ожидалось. В действительности далекие сверхновые довольно тусклы для того, чтобы расширение Вселенной обязательно происходи-



## ТРИ ПУТИ «РАСШИРИТЬ» ВСЕЛЕННУЮ

Астрономы обнаружили, что вспышки удаленных сверхновых слабее, чем прогнозировалось. Для того чтобы понять, что это означает в свете решения проблемы космологического расширения, давайте рассмотрим область пространства, содержащую сверхновую и нашу Галактику — Млечный Путь. Со временем эта область становится больше, поскольку пространство

растягивается подобно резине. Сверхновая удаляется, когда Вселенная достигает половины своего современного размера (что может происходить в разные моменты времени в зависимости от того, расширяется ли Вселенная с замедлением или с ускорением). Распространяясь от сверхновой, свет вспышки со временем достигает нашей галактической окраины

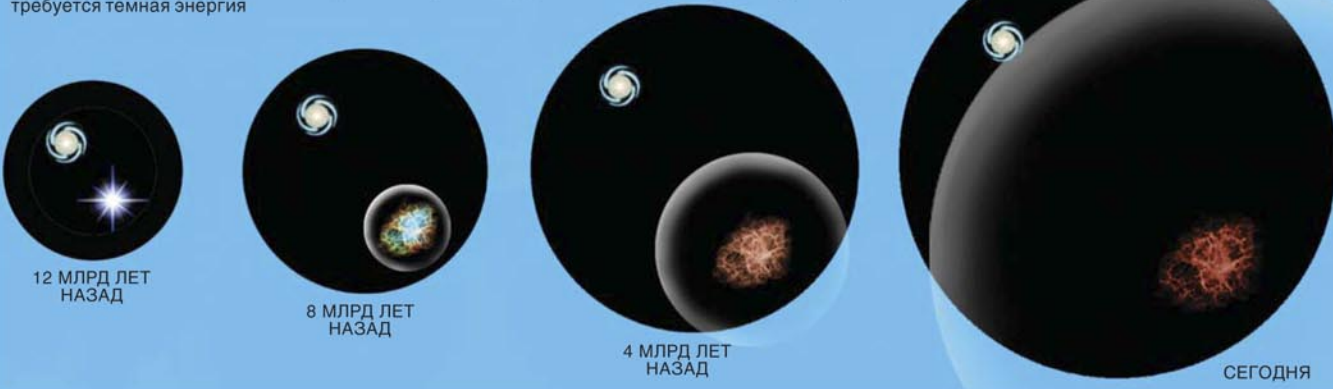
### СТАРОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ: РАСШИРЕНИЕ С ЗАМЕДЛЕНИЕМ

До 1998 г. большинство космологов полагали, что со временем темп расширения Вселенной падает, другими словами, что в каждый последующий интервал времени область пространства увеличивается на все меньшее значение. На этом предположении ученые основывали свои представления о блеске сверхновых



### ПЕРВЫЙ СЦЕНАРИЙ: РАСШИРЕНИЕ С УСКОРЕНИЕМ

В обычном истолковании наблюдений сверхновых темп космологического расширения в прошлом был ниже, чем сейчас. Соответственно, Вселенной было необходимо больше времени, чтобы вырасти до современного состояния, а свету сверхновых требовалось больше времени для распространения, и поэтому они выглядят более тусклыми. Для объяснения ускоренного расширения требуется темная энергия



### ВТОРОЙ СЦЕНАРИЙ: ВСЕЛЕННАЯ НЕОДНОРОДНА

Согласно альтернативному сценарию, расширение все-таки происходит с замедлением, но различными темпами в зависимости от области пространства. Если область пространства в нашей окрестности более «пустая», чем соседние, то она содержит меньше вещества, чтобы задержать расширение, и поэтому ее расширение замедляется не так быстро, как в окружающих областях

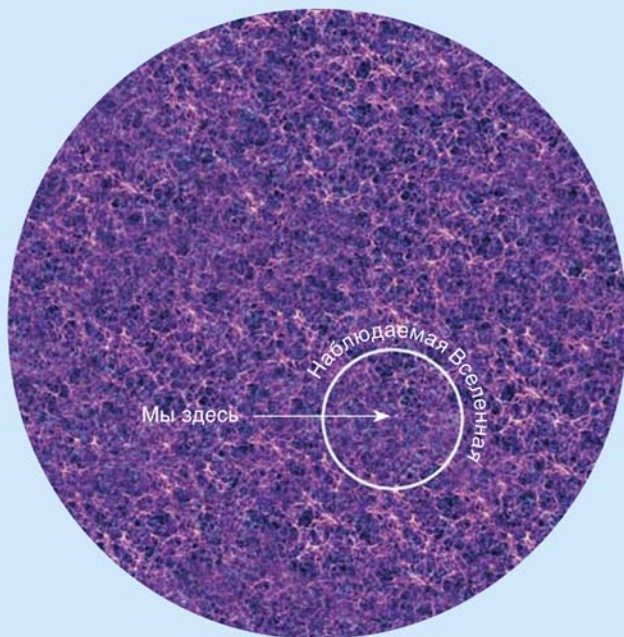




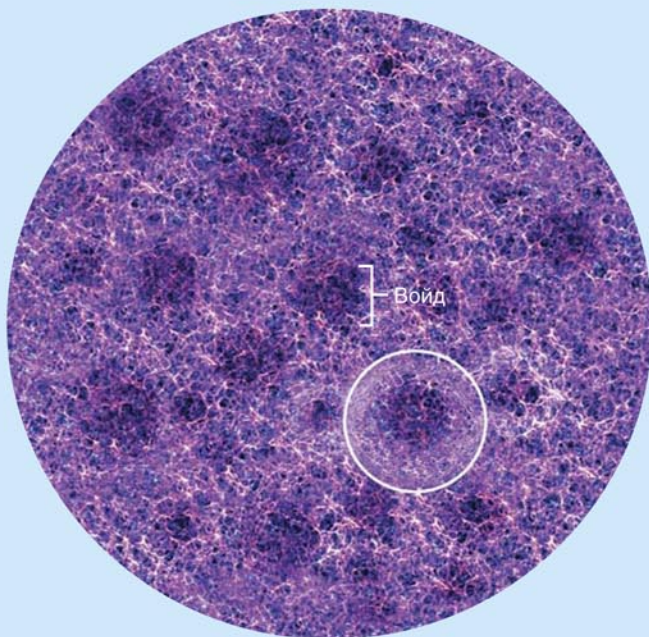
## СПЕЦИАЛЬНОЕ МЕСТО ДЛЯ НАС

В своем произведении «Руководство для путешествующих автостопом по Галактике» современный английский писатель Дуглас Адамс (Douglas Adams) буквально сводит своих читателей с ума, являя им абсолютную незначительность места человечества во Вселенной.

Одна из потенциальных жертв пришла в себя, когда оказалось, что Вселенная на самом деле вращается вокруг нее. Некоторые ученые задаются вопросом, является ли наша планета на самом деле избранной в системе общемирового устройства



**ОДНОРОДНАЯ ВСЕЛЕННАЯ: НАШЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ ТИПИЧНО**  
С общепринятой точки зрения крупномасштабное распределение галактик напоминает паутину, обладающую одинаковой структурой повсюду. Расположение Земли ничем не выделено



**НЕОДНОРОДНАЯ ВСЕЛЕННАЯ: НАШЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ ОСОБОЕ**  
Согласно альтернативной гипотезе, плотность материи могла бы меняться на сверхбольших масштабах, и Земля могла быть расположена вблизи центра относительно менее плотной области — войда

ло с ускорением, соответствующим темпам современного расширения.

Ускоренное расширение породило революцию в современной космологии. Материя во Вселенной должна натягивать ткань пространства-времени, замедляя его расширение, но данные по сверхновым указывают на обратное. Если космологи принимают космологический принцип и полагают, что ускоренное расширение происходит одновременно повсюду, то неизбежно заключение, что Вселенная должна быть пронизана особой субстанцией, экзотической энергией, темной энергией, которая порождает отталкивающий эффект.

В Стандартной модели фундаментальных частиц и взаимодействий нет понятия темной энергии. Это субстанция, характеристики которой до сих пор не удается измерить прямыми методами. Она об-

ладает свойствами, не схожими ни с чем, ранее известным, а ее плотность энергии в  $10^{120}$  раз меньше, чем можно было бы ожидать. Существуют гипотезы о том, из чего может состоять темная энергия, но они довольно спекулятивны. Короче говоря, наши представления о темной энергии темны. Огромное число претенциозных и дорогих наземных и космических миссий заняты изучением темной энергии и ее свойств. Для многих исследователей это очень важная тема, лежащая в основе всей современной космологии.

### Альтернатива

Столкнувшись со странной и кажущейся неправдоподобной идеей, некоторые ученые пересматривают приведшие к ней положения. Одно из них таково: действительно ли мы живем в достаточно репрезентатив-

ной части Вселенной? Могут ли признаки существования темной энергии быть объяснены как-то иначе, если мы откажемся от космологического принципа?

В рамках традиционного сценария мы говорим о расширении Вселенной как целого. Такая картина схожа с надуванием воздушного шарика: мы рассуждаем о том, насколько вырастет его объем, а не о том, как увеличится в размерах часть его поверхности. Все хорошо представляют себе неровно раздувающийся шарик: одна из областей растягивается быстрее, другая медленнее. Согласно альтернативному подходу, отвергающему космологический принцип, пространство тоже может расширяться неоднородно — и возникает более сложная картина Вселенной.

Рассмотрим следующий сценарий развития Вселенной, впервые



предложенный Джорджем Эллисом (George Ellis), Чарлзом Хеллаби (Charles Hellaby) и Назимом Мустафой (Nazeem Mustapha) из Кейптаунского университета (Южная Африка), а затем развитым в работах Мари-Ноэль Селерье (Marie-Noëlle Celerier) из французской Обсерватории Париж-Медон. Предположим, что скорость расширения замедляется везде; материя натягивает пространство-время и замедляет его расширение. Далее предположим, что мы живем в достойной великана Гаргантюа космической пустоте (войде). Войд — это не абсолютная пустота, а такая область, в которой средняя плотность вещества составляет половину или, быть может, треть средней плотности окружающего войд пространства. Чем более пуста область пространства, тем меньше она содержит вещества для замедления расширения; таким образом, скорость локального расширения в войде больше, чем в окружающих его областях. Темп расширения выше в центре войда и убывает к его границе, где высокая плотность внешней по отношению к войду среды способствует формированию неоднородностей. В момент времени различные части пространства будут расширяться с разными темпами, подобно неравномерно надуваемому воздушному шару.

Теперь представьте себе взрывы сверхновых, происходящие в разных частях такой неоднородной Вселенной — некоторые в центре войдов, другие на их периферии, а часть и вне войдов. Если наблюдатель находится недалеко от центра войда, а сверхновая далеко, то пространство в окрестности наблюдателя расширяется быстрее, чем там, где расположена сверхновая. Свет от сверхновой к наблюдателю распространяется через области, которые расширяются все быстрее. Каждая из областей некоторым образом увеличивает длину волны, и наблюдатель фиксирует определенное красное смещение сверхновой, становящееся результатом такого совокупного эффекта. Свет, проходящий некоторый заданный путь,

обладает меньшим красным смещением, чем если бы вся Вселенная расширилась так же, как и локально вблизи наблюдателя. Обратное, для достижения определенного значения красного смещения свет должен пройти большее расстояние, чем это было бы в однородно расширяющейся Вселенной. В последнем случае сверхновая должна быть дальше и, следовательно, казаться тусклее.

Другой способ объяснения: изменение степени расширения в зависимости от пространственной области на самом деле симулирует изменения во времени. В этом случае космологи могут объяснить неожиданное поведение сверхновых без привлечения темной энергии. Для такой альтернативы мы должны жить в войде космических масштабов. Наблюдения сверхновых происходят на масштабах миллиардов световых лет, что представляет собой существенную часть наблюдаемой Вселенной. Войд должен обладать такими же размерами и быть гигантским согласно почти всем стандартам.

## ВОЙДЕМ В ВОЙД

Несмотря на то что космический войд имитирует темную энергию, совпадение не идентично. Будущие наблюдения помогут выявить решающие различия

- Дополнительные наблюдения сверхновых точно определяют темп расширения и выявят, меняется ли он в зависимости от пространственной области, как это предсказывается в модели войда
- Галактические скопления отражают свет и в некотором смысле позволяют нам увидеть наши окрестности как отражение в зеркале. Если мы живем в войде, то таким образом мы можем его увидеть
- Галактики и скопления галактик ведут себя в пространстве соответственно темпу расширения в их местоположении и, таким образом, чувствительны к наличию войда
- Нейтрино, очевидцы процессов в ранней Вселенной, могли бы помочь обнаружить войд

СВЕРХНОВАЯ 1994D (указана стрелкой) и схожие вспышки используются как своего рода треки-указатели космологического расширения



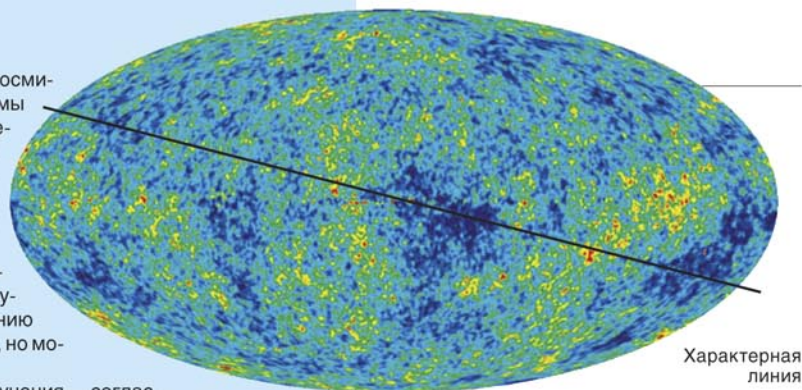


## ИДЯ НА УСТУПКИ ПУСТОТЕ

Большинство предположений о том, что мы живем в космическом войде, помещает нас в его центр. А что если мы живем далеко от его средоточия? В этом случае Вселенная выглядела бы слегка кривобокой. Согласно исследованиям Ховарда Алнеса (Howard Alnes) и Моррада Амарзгиуи (Morad Amargioui) из Университета Осло, фоновое микроволновое космическое излучение обладает чуть повышенной температурой в одном направлении и чуть пониженной в другом. Такая асимметрия, названная дипольной, была обнаружена в наблюдениях и обычно приписывается движению Солнечной системы на фоне реликтового излучения, но может быть и следствием неоднородности Вселенной.

Кроме того, небольшие флуктуации реликтового излучения — согласно исследованиям Жоао Магейжу (Joao Magueijo) и Кейт Лэнд (Kate Land) из Имперского Колледжа в Лондоне — могут обладать определенной ориентацией, так называемой осью зла (см.: Старкман Г., Шварц Д. *Хорошо ли настроена Вселенная?* // *ВМН*, 2005, № 11). Эта линия указывает на наличие предпочтительного направления на небе, которое, будучи трудно объяснимым во вселенной Коперника, может быть оправдано нашим удаленным расположением от центра войда. Избранное направление может обладать и другим эффектом: крупномасштабным согласованным движением галактик и галактических скоплений. Некоторые исследователи утверждают об обнаружении таких «темных потоков», но это остается сомнительным.

Несмотря на то что существует большое искушение объяснить указанные аномалии наличием гигантского войда, разные объяснения не состыковываются между собой. Для начала указанные эффекты дают различные направления оси. Кроме того, оценка мощности диполя показывает, что мы всего лишь в 50 млн световых лет от центра войда, что представляет собой очень небольшую его часть



Характерная линия

Ось ЗЛА, характерная линия в распределении реликтового излучения, может быть указанием на неоднородность нашей Вселенной

## Хорошо забытая возможность

Насколько же неправдоподобен такой гигантский космический войд? На первый взгляд, — довольно сильно. Не связанный с кажущимся равномерным распределением галактик, он находился бы на фоне микроволнового реликтового излучения, однородного с точностью  $10^{-5}$  (см.: Стросс М. *План Вселенной* // *ВМН*, 2004, № 5). Однако при более детальной проработке этого вопроса приведенные аргументы становятся менее убедительными.

Однородность реликтового излучения требует, чтобы Вселенная выглядела примерно одинаково во всех направлениях. Если войд строго симметричен, и если мы находимся близко к его центру, то это не противоречит наблюдениям. Также следует отметить, что реликтовое излучение обладает отдельными аномальными характеристиками, которые в принципе можно объяснить неоднородностями на сверхбольших масштабах.

Существующие обзоры распределения галактик не простираются достаточно далеко, чтобы исключить гипотезу существования войда такого размера, что он будет способен имитировать темную энергию.

Обзоры обнаруживают войды меньших размеров, филаменты вещества и другие структуры размеров в сотни миллионов световых лет, но предполагаемый войд должен быть на порядок больше. В настоящее время в астрономии ведется активное обсуждение вопроса о том, подтверждают ли галактические обзоры космологический принцип. Недавние исследования Давида Хогга (David Hogg) из Нью-Йоркского университета и его коллег показали, что самые большие структуры во Вселенной обладают протяженностью в 200 млн световых лет; на еще больших масштабах вещество распределено равномерно, согласно космологическому принципу. Однако Франческо Силос Лабини (Francesco Sylos Labini) из Центра Энрико Ферми в Риме и его коллеги подтвердили, что самые большие из данных структур, обнаруженных так далеко, ограничены только лишь возможностями галактических обзоров, при помощи которых эти структуры и обнаружили. Более протяженные структуры вполне могут распространяться и дальше, за возможности обзоров.

Предположите по аналогии, что у вас есть карта, охватывающая область в 10 км, которую из конца

в конец пересекает дорога. Будет ошибкой заключить, что возможная протяженность этой дороги соответствует 10 км. Для того чтобы узнать длину самого протяженного дорожного полотна, нам необходима карта, на которой указаны концы и начала всех дорог: только так можно определить их полную длину. Точно так же астрономам нужны галактические обзоры больше, чем самые объемные структуры во Вселенной, если они хотят доказать космологический принцип. Достаточно ли обширны существующие обзоры — вопрос дискуссионный.

Теоретикам тоже трудно смириться с существованием такого огромного войда. Все доступные признаки свидетельствуют о том, что галактики и более протяженные структуры, такие как филаменты и войды, выросли из микроскопических квантовых флуктуаций, которые космологическое расширение растянуло до астрономических масштабов. Космологи могут уверенно предсказать, какие именно размеры структур ожидаются при таком сценарии. Чем крупнее структура, тем реже она должна была бы образовываться. Вероятность формирования войда, достаточно большого для имитации темной энергии, меньше,



чем  $1/10^{100}$ . Гигантский войд может существовать где-то во Вселенной, но шанс обнаружить хотя бы один войд именно в наблюдаемой ее части чрезвычайно мал.

Однако здесь есть лазейка. В начале 1990-х гг. один из авторов Стандартной космологической модели ранней Вселенной Андрей Линде совместно с сотрудниками Стэнфордского университета показал, что хотя гигантские войды чрезвычайно редки, они быстро расширяются на ранних стадиях и доминируют во Вселенной. Соответственно, вероятность того, что наблюдатели окажутся именно в такой структуре, не так уж мала. Данный результат показывает, что космологический принцип (гласящий, что мы не живем в каком-то избранном месте во Вселенной) — не всегда то же самое, что принцип «заурядности» (предполагающий, что мы типичные наблюдатели). Оказывается, можно быть типичным наблюдателем и при этом жить в некоей избранной области Вселенной.

### Изучая гипотезу войда

Какие наблюдения смогли бы дать однозначный ответ на вопрос, управляет ли расширением Вселенной темная энергия, или же мы живем в особой области — центре гигантского войда? В последнем случае космологам необходима реалистичная модель поведения пространства, времени и материи в окрестности войда. Священник Жорж Леметр (Georges Lemaitre) сформулировал в 1933 г. как раз такую концепцию, спустя год независимо выдвинутую Ричардом Толменом (Richard Tolman) и далее развиваемую после Второй мировой войны Германом Бонди (Hermann Bondi). Согласно этой модели, темп расширения Вселенной зависел не только от времени, но и от расстояния до некоторой особой точки, что и напоминает гипотезу войда.

Опираясь на модель Леметра — Толмена — Бонди, рассмотрим сверхновые, приведшие к гипотезе темной энергии. Чем больше сверхновых наблюдают астрономы, тем

более точно они могут реконструировать историю расширения Вселенной. Собственно говоря, эти наблюдения исключили бы не полностью гипотезу войда, поскольку космологи смогли бы воссоздать данные любого набора сверхновых, выбрав войд подходящей формы. Однако для того чтобы войд полностью имитировал темную энергию, он должен обладать рядом особых свойств.

Причина в том, что предполагаемое расширение Вселенной происходит вплоть до сегодняшнего момента времени. Чтобы точно имитировать такую ситуацию с помощью войда, темп расширения обязан резко падать от нас и во всех направлениях. Таким образом, плотность вещества и энергии должна резко возрастать от нас и во всех направлениях. Представленный на графике, закон изменения плотности стал похож на перевернутую шляпу Гэндальфа, верхушка которой соответствует значению плотности в месте нашего расположения в пространстве. Такой профиль противоречит нашему знанию о том, каковы должны быть структуры во Вселенной: обычно они сглаженные, а не «остроконечные». Более того, Али Вандервельд (Ali Vanderveld) и Инна Фленеген (Inna Flanagan) из Корнеллского университета показали, что «верхушка шляпы», где мы живем, может быть сингулярной, подобно сверхплотной области в центре черной дыры.

Тем не менее если войд обладает более реалистичным сглаженным распределением плотности, то отличительное наблюдательное свойство все равно присутствует. Сглаженные войды порождают наблюдательные эффекты, которые могут быть ошибочно приняты за объяс-

нение ускоренного расширения Вселенной, но тот факт, что они сглажены, означает, что они не идентичны проявлению темной энергии. В частности, кажущаяся степень ускорения сильно меняется в зависимости от красного смещения. В совместной работе с Кейт Лэнд (Kate Land) в Оксфордском университете авторы статьи показали, что нескольких сотен сверхновых в дополнение к тому, что мы имеем сегодня, оказалось бы достаточно для обоснования такой гипотезы. Программы по наблюдению сверхновых позволяют достичь желаемой цели.

Сверхновые — не единственные объекты, предоставляющие наблюдательные данные. Джереми Гудмен (Jeremy Goodman) из Принстонского университета предложил в 1995 г. другой возможный тест с помощью реликтового излучения. В то время наилучшее наблюдательное проявление темной энергии еще не было получено, и поэтому Гудмен не искал объяснений загадочных феноменов, а просто доказывал принцип Коперника. Его идея была такова: использовать удаленные скопления галактик как своего рода «зеркала», чтобы посмотреть на Вселенную с разных сторон, создав нечто подобное своеобразной «небесной примерочной». Скопления галактик отражают небольшую часть реликтового излучения, которое нагревает их. Аккуратные измерения спектра такого излучения дают космологам представление о том, как бы выглядела Вселенная, находясь наблюдатель в одном из таких скоплений. Если бы сдвиг точки наблюдения влиял на вид Вселенной, то это было бы важным свидетельством в пользу гигантского войда или аналогичной структуры.

### ОБ АВТОРАХ

**Тимоти Клифтон** (Timothy Clifton) и **Педро Ферейра** (Pedro G. Ferreira) — космологи в Оксфордском университете, изучают физику ранней Вселенной и возможные модификации Общей теории относительности Эйнштейна. Клифтон — энофил, в частности, страстный поклонник бургундского вина. Ферейра, автор популярной книги по астрономии *State of the Universe* («Структура Вселенной»), ведет лекции для художников и участвует в программах по поддержке научного образования в Африке.





### «ПЛАНК» В КОСМОСЕ

Европейский космический проект «Планк» — последняя разработка по измерению анизотропии реликтового излучения — 14 мая запущен на орбиту.

«Планк» должен осуществить полный анализ флуктуаций температуры реликтового излучения, завершив, таким образом, наблюдения, начавшиеся еще в 60-х гг. прошлого века. Эти флуктуации позволяют понять, какой была ранняя Вселенная возрастом 400 тыс. лет и как она развивалась в дальнейшем. Исследования подскажут нам, живем ли мы в гигантском войде, или нет.

«Планк» также будет измерять поляризацию реликтового излучения, что объяснит нам, идут ли сквозь Вселенную гравитационные волны — результат процессов сверхвысоких энергий в первые мгновения после Большого взрыва, а, быть может, даже и ранее

Недавно две группы космологов решили проверить это утверждение. Роберт Колдуэлл (Robert Caldwell) из Дартмутского колледжа и Альберт Стеббинс (Albert Stebbins) из Национальной Лаборатории Ферми (Батавия, штат Иллинойс) изучали точные наблюдения искажения микроволнового фонового излучения, а Хуан Гарсиа Беллидо (Juan Garcia-Bellido) из Мадридского университета и Троэлс Хогбьолл (Troels Haugbolle) из Орхусского университета (Дания) занялись поиском отдельных скоплений галактик. Ни одна из групп не обнаружила войд. Лучшее, что смогли сделать ученые —

обрисовать свойства, которыми должен был бы в принципе обладать войд. Космическая миссия «Планк», которая должна начать работу в ближайшее время, способна установить более строгие ограничения на свойства предполагаемого войда и, быть может, полностью исключить гипотезу войда.

Третий подход, сторонники которого — Брюс Бассетт (Bruce Bassett), Крис Кларксон (Chris Clarkson) и Тереза Лу (Teresa Lu) из Кейптаунского университета, — осуществить независимые наблюдения за темпом расширения в различных областях Вселенной. Астрономы обычно измеряют темпы расширения в терминах красного смещения, представляющего собой совокупную характеристику расширения всех пространственных областей между соответствующим небесным телом с известным красным смещением и наблюдателем. При рассмотрении всех областей вместе на основании данных по красному смещению невозможно отличить вариации в темпе расширения от вариаций во времени. Лучше измерять темп расширения в заданных областях пространства, отделяя эффекты, вносимые другими областями. Это трудная задача, которую все еще предстоит решить. Один из подходов к ее решению — наблюдать, как формируются структуры в разных областях пространства. Формирование и эволюция галактик и галактических скоплений зависят по большей части от локального темпа расширения. Изучая эти объекты в разных пространственных областях и принимая во внимание другие эффекты, играющие роль в их эволюции, астрономы, возможно, смогут выявить некоторые различия в темпах расширения.

### Не такое уж и особенное расположение

Возможность того, что мы живем в середине гигантского космического войда — экстремальное опровержение космологического принципа, но есть и более щадящие возможности. Вселенная могла бы все-таки

подчиняться космологическому принципу на очень больших масштабах, но войды и филаменты меньших размеров, которые обнаружили с помощью галактических обзоров, совокупно могли бы имитировать эффект темной энергии. Эту идею рассматривали Тиртхабир Бисвас (Tirthabir Biswas) и Алессιο Нотари (Alessio Notari) из Университета Макгилла, а также Валерио Марра (Valerio Marra) с коллегами из Падуанского университета и Чикагского университета. Согласно их модели Вселенная напоминает швейцарский сыр — однородная как целое, но испещренная дырами. Соответственно, темп расширения меняется, хоть и незначительно, от места к месту. Лучи, испущенные далекой сверхновой, проходят через множество войдов прежде, чем достигают приборов наблюдателя. Вариации темпа расширения приводят к вариациям в яркости и красном смещении сверхновых. Однако до настоящего времени эта идея не выглядит слишком многообещающей. Один из авторов этой статьи (Клифтон) совместно с Йозефом Зунцем (Joseph Zuntz) из Оксфордского университета недавно показал, что для воссоздания эффекта темной энергии потребовалось бы множество войдов с очень низкой плотностью, к тому же специальным образом распределенных.

Другая возможность: темная энергия есть некое побочное следствие математических приближений, которые используют космологи. Для вычисления темпа космологического расширения мы обычно подсчитываем, сколько вещества находится в заданной области пространства, потом делим на объем этой области и получаем среднюю плотность энергии. Далее мы подставляем эту среднюю плотность в гравитационные уравнения Эйнштейна и определяем средний темп расширения Вселенной. Хотя плотность меняется от места к месту, мы считаем этот разброс малыми флуктуациями на фоне среднего значения.

Проблема в том, что решение уравнений Эйнштейна для усредненно-



го распределения плотности — не то же, что и их решение для реального распределения вещества с последующим усреднением по пространству. Другими словами, мы усредняем, а затем решаем, тогда как нужно было бы сначала решить уравнения, а потом уже усреднять.

Решение полного набора уравнений для любой, даже упрощенной аппроксимации реальной Вселенной, — задача невообразимо сложная, и поэтому многие из нас следуют по более простому пути. Томас Бюшер (Thomas Buchert) из Лионского университета во Франции задается целью понять, насколько хороша та или иная используемая аппроксимация. Он ввел в космологические уравнения дополнительные члены, контролирующие ошибки, которые возникают при аппроксимации до решения. Если эти добавки в уравнения невелики, то аппроксимация признается хорошей, если значи-

тельны, то, соответственно, — плохой. Результат до сих пор не однозначный. Некоторые исследователи предположили, что этими дополнительными членами можно полностью объяснить темную энергию, в то время как другие полагают, что они пренебрежимо малы.

Наблюдательные тесты, призванные различить темную энергию и модели с войдами, должны быть реализованы в ближайшем будущем. Миссия *Supernova Legacy*, возглавляемая Пьером Астье (Pierre Astier) из Парижского университета, и миссия *Joint Dark Energy*, находящаяся в стадии разработки, смогут установить историю расширения Вселенной. Миссия «Планк» и ряд наземных и баллонных экспериментов будут исследовать реликтовое излучение более детально. Проект *SKA (Square Kilometer Array)*, гигантский радиотелескоп, планируемый к введению в эксплуатацию

в 2020 г., поддержит исследования, формируя галактические обзоры вплоть до горизонта видимости. Таким образом, революция в космологии, начавшаяся десятилетие назад, еще далека до завершения. ■

Перевод: О.С. Сажина

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Geocentrism Reexamined. Jeremy Goodman in *Physical Review D*, Vol. 52, No. 4, pages 1821–1827; March 15, 1995. <http://arxiv.org/abs/astro-ph/9506068>
- The State of the Universe: A Primer in Modern Cosmology. Pedro G. Ferreira. Phoenix, 2007
- Cosmology: Patchy Solutions. G.F.R. Ellis in *Nature*, Vol. 452, pages 158–161; March 12, 2008
- Living in a Void: Testing the Copernican Principle with Distant Supernovae. Timothy Clifton, Pedro G. Ferreira and Kate Land in *Physical Review Letters*, Vol. 101, Paper No. 131302; September 26, 2008. <http://arxiv.org/abs/0807.1443>



## 1-й МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ ENERGY FRESH 2009 ВЫСТАВКА И КОНГРЕСС

23-24 сентября 2009 года  
РОССИЯ. МОСКВА. ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»

- Солнечная энергетика
- Энергосбережение
- Ветроэнергетика
- Инвестиции в строительство объектов
- Биотопливо
- Инновационный потенциал и перспективы развития возобновляемых источников энергии
- Гидроэнергетика

Организатор:



Компания SBCD Expo  
Тел./Факс +7 495 788 88 91/92, [info@sbcdexpo.ru](mailto:info@sbcdexpo.ru)







Джеральд Джейкобс и Джереми Натанс

# ЭВОЛЮЦИЯ ЦВЕТОВОГО ЗРЕНИЯ у приматов

Глаз человека воспринимает мир во всем его многообразии и богатстве оттенков, будь то солнечно-оранжевый цветок календулы или деталь автомобиля, отливающая матовым серебром, холодно-голубое зимнее небо или травяно-зеленый кристалл изумруда. Наша зрительная система воспринимает цвета благодаря улавливанию трех типов световых волн фиксированной длины, тот или иной оттенок складывается из соотношения интенсивностей этих волн. Такая особенность зрения человека, называемая трихроматией, связана с тем, что сетчатка глаза (выстилка из нервных клеток, покрывающая его дно, которая улавливает свет и передает зрительную информацию в мозг) содержит три типа светопоглощающих пигментов, обеспечивающих цветное зрение. Вследствие этого то, что мы воспринимаем как полный спектр цветов, на экранах телевизоров и мониторов составляется из определенного числа красных, зеленых и синих точек. Несмотря на то что

**ШИМПАНЗЕ, как и люди, могут распознавать цвета, неразличимые для остальных млекопитающих. То, как зрители видят Кандинского, зависит от свойств красок, характера освещения и возможностей зрительной системы смотрящих**

**Исследование зрительных пигментов приматов показало, что наше цветное зрение развивалось необычным путем, и что мозг приматов способен адаптироваться гораздо лучше, чем принято полагать**

среди приматов трихроматия обычна, для царства животных она не универсальна. Некоторые птицы, рыбы и рептилии имеют четыре зрительных пигмента и могут видеть в ультрафиолетовой части спектра, недоступной для зрения человека. У нескольких видов млекопитающих, ведущих преимущественно ночной образ жизни, в сетчатке есть только один пигмент. Подавляющее же большинство неприматов обладают дихроматическим зрением, при котором восприятие всех цветов осуществляется с помощью только двух зрительных пигментов. На этом фоне трихроматическое зрение

приматов выглядит необычно. Как же оно возникло и развивалось? Недавние исследования в области генетики, молекулярной биологии и нейрофизиологии цветного зрения обезьян, полуобезьян и человека привели к нескольким неожиданным результатам, а также предоставили совершенно удивительные сведения о гибкости мозга приматов.

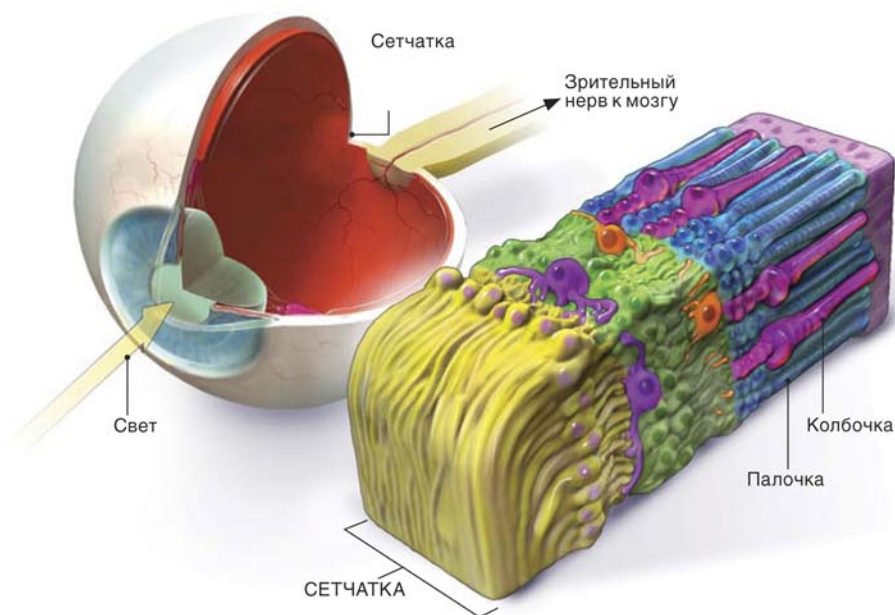
## Пигменты и их прошлое

Спектральную чувствительность трех зрительных пигментов, отвечающих за цветное зрение человека, впервые попытались определить более 50 лет назад, и сейчас она достаточно хорошо изучена. Каждый

### ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Цветное зрение человека и некоторых других приматов отличается от зрения прочих млекопитающих.
- Присущая приматам трихроматия получила свое название из-за присутствия в сетчатке трех типов светочувствительных пигментов.
- Анализ генов этих пигментов показал, каким путем могло идти развитие трихроматии у животных, ранее обладавших только двумя светочувствительными пигментами.
- Авторам удалось создать линию мышей с трихроматическим цветовым зрением, с помощью генной инженерии введя в их геном ген пигмента человека. Эксперимент выявил неожиданную пластичность мозга млекопитающих.





▲ **СЕТЧАТКА** (выстилка из нервных клеток, покрывающая глазное дно) передает визуальную информацию по зрительным нервам в мозг. Цветовое зрение обеспечивается колбочками — коническими светочувствительными клетками, которые содержат зрительные пигменты. Другие светочувствительные клетки, называемые палочками, отвечают за сумеречное зрение и обычно не связаны с восприятием цветов. Палочки и колбочки, имеющие общее название фоторецепторов, располагаются в окружении других клеток сетчатки, обеспечивающих зрение

пигмент способен поглощать свет из определенной части спектра и характеризуется длиной волны, которую поглощает наиболее эффективно. Пигмент, чувствительный к коротковолновой части спектра (S-пигмент), имеет максимум поглощения, соответствующий длине волны около 430 нм ( $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$ ), пигмент, восприимчивый к волнам средней длины (M-пигмент), наиболее эффективно улавливает свет с длиной волны около 530 нм, а пигмент, чувствительный к длинноволновой части спектра (L-пигмент), имеет максимум поглощения, равный 560 нм. (Длина волны в 470, 520 и 580 нм соответствует оттенкам, которые обычный человек воспринимает как синий, зеленый и желтый, соответственно.) Эти пигменты представляют собой комплекс белка и светопоглощающего хромофора (производного витамина А) и содержатся в мембранах светочувствительных клеток — колбочек (нервные клетки сетчатки названы так за свою коническую форму). Поглощение света молекулой пигмента запускает каскад

химических реакций, приводящих к возбуждению колбочек. Оно активирует другие нейроны сетчатки, которые в итоге передают сигнал по зрительному нерву в мозг.

Несмотря на то что спектр поглощения трех пигментов давно изучен, структура этих молекул была неизвестна до 1980-х гг., когда один из авторов (Натанс) идентифицировал гены, отвечающие за синтез зрительных пигментов человека. По строению ДНК этих генов была определена последовательность аминокислот, которые образуют каждый протеин пигмента. Анализ нуклеотидных последовательностей, составляющих гены пигментов, показал, что M- и L-пигменты почти идентичны. Дальнейшие исследования подтвердили, что различия в спектральной чувствительности между ними обеспечиваются замещением всего трех из 364 аминокислот, из которых состоит каждый из белков.

Эксперименты показали также, что гены M- и L-пигментов располагаются рядом друг с другом в X-хромосоме (одной из двух половых хромосом человека; у мужчин имеется одна X и одна Y-хромосома, тогда как представительницы прекрасного пола имеют две X-хромосомы). Такое расположение вполне ожидаемо, потому что, как известно, распространенная аномалия цветового зрения — красно-зеленая цветовая слепота — у сильного пола встречается гораздо чаще, чем у женщин, и характер наследования этого заболевания указывает на расположение отвечающих за это нарушение генов в X-хромосоме. Ген, определяющий синтез S-пигмента, в отличие от двух других, располагается в седьмой хромосоме, и анализ его структуры показывает, что S-пигмент имеет весьма отдаленное родство с M- и L-пигментами.

Проводившиеся с середины 90-х гг. прошлого века сравнительные исследования генов, отвечающих за выработку этих трех пигментов у человека и животных, дали интересные результаты, касающиеся истории их развития. Почти у всех

## ОБ АВТОРАХ

**Джеральд Джейкобс** (Gerald H. Jacobs) — профессор кафедры психологии в Институте исследований по нейронауке при Калифорнийском университете в Санта-Барбаре, автор более 200 статей, соавтор книг по цветовому зрению и зрительной системе. Джейкобс открыл генетический механизм, обуславливающий развитие трихроматического цветового зрения у приматов Нового Света. **Джереми Натанс** (Jeremy Nathans) — профессор факультетов молекулярной биологии и генетики, нейрогенетики и офтальмологии в Медицинской школе при Университете Джонса Хопкинса, осуществляет исследования в Медицинском институте Говарда Хьюза, изучает нуклеотидные последовательности генов зрительных пигментов человека и структуру связанных с ними белков.



позвоночных есть гены, по своему строению очень близкие к структуре гена S-пигмента человека, из чего можно сделать вывод, что одна из версий «коротковолнового» (т.е. чувствительного к коротковолновой части спектра) пигмента представляет собой древнейший элемент цветового зрения. Родственники двух других пигментов (M- и L-) также широко распространены среди позвоночных и кажутся столь же древними. Однако среди млекопитающих присутствие сразу и M-, и L-пигментов, встречается только у некоторых видов приматов, что указывает на относительно недавнее появление у них этого признака.

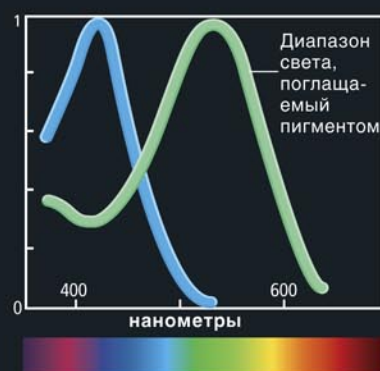
Большая часть не относящихся к приматам млекопитающих имеют только один чувствительный к длинноволновой части спектра пигмент. Он сходен с аналогичными пигментами приматов, а кодирующий его ген также расположен в X-хромосоме. Данные признаки указывают на возможность происхождения обоих генов приматов от одного родоначальника. Вероятно, все развивалось так: ген «длинноволнового» пигмента млекопитающих дублировался, после чего одна или обе копии расположенного в X-хромосоме предкового гена мутировали, дав два близких пигмента, несколько различающихся по своей спектральной чувствительности — M- и L-пигменты.

Механизм подобной дубликации генов известен. Процесс, называемый кроссинговером, происходит на стадии формирования яйцеклеток и сперматозоидов. Клетки, дающие начало гаметам, делятся, при этом гомологичные пары хромосом при расхождении часто обмениваются участками. Произошедший неравный обмен генетическим материалом вполне мог случайно привести к появлению хромосомы, содержащей дополнительные копии одного или нескольких генов. Впоследствии в этих дублированных генах возникали мутации; те, которые оказывались полезными, затем могли быть закреплены естествен-

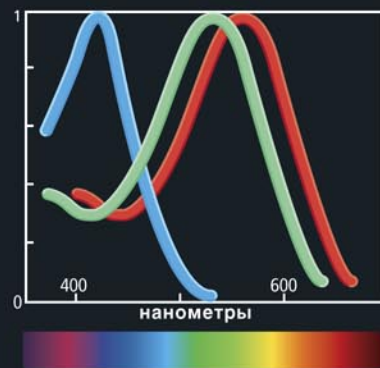
## ДВА ВИДА ЦВЕТОВОГО ЗРЕНИЯ МЛЕКОПИТАЮЩИХ

Большинство млекопитающих обладают дихроматическим цветовым зрением, их восприятие цвета базируется всего на двух типах зрительных пигментов (илл. *вверху*). Один пигмент имеет максимум поглощения в коротковолновом диапазоне (синяя линия на графике), а другой более чувствителен к длинноволновой части спектра (зеленая линия). Но у людей и некоторых обезьян зрение трихроматическое (илл. *внизу*). Они распознают большее количество цветов из-за присутствия в их сетчатке трех типов пигментов: S-пигмента с максимумом поглощения в коротковолновой части спектра (синяя линия графика) и двух пигментов с максимумом поглощения в длинноволновом диапазоне (зеленая и красная кривые).

### ДИХРОМАТИЧЕСКОЕ



### ТРИХРОМАТИЧЕСКОЕ



ным отбором. Благодаря этому они могли перейти к последующим поколениям и распространиться в популяции.

Учитывая экологическую нишу, занимаемую приматами, можно предположить, что трихроматическое цветовое зрение (основанное на сочетании «традиционного» S-пигмента с «новыми» M- и L-пигментами) давало им заметное селективное преимущество перед млекопитающими, наделенными дихроматией. Например, спелые фрукты обычно отличаются по цвету от окружающей листвы и недозревших плодов. Вероятно, животным с трихроматическим зрением легче выделять их из общей массы, поскольку они обладают более высокой чувствитель-

ностью к цветовым различиям между красной, зеленой и желтой частями видимого спектра. Возросшая способность замечать спелые плоды могла помочь в выживании тем особям, генотип которых содержал в себе мутации, обеспечивающие трихроматию, и привела к распространению этих мутантных генов в популяции.

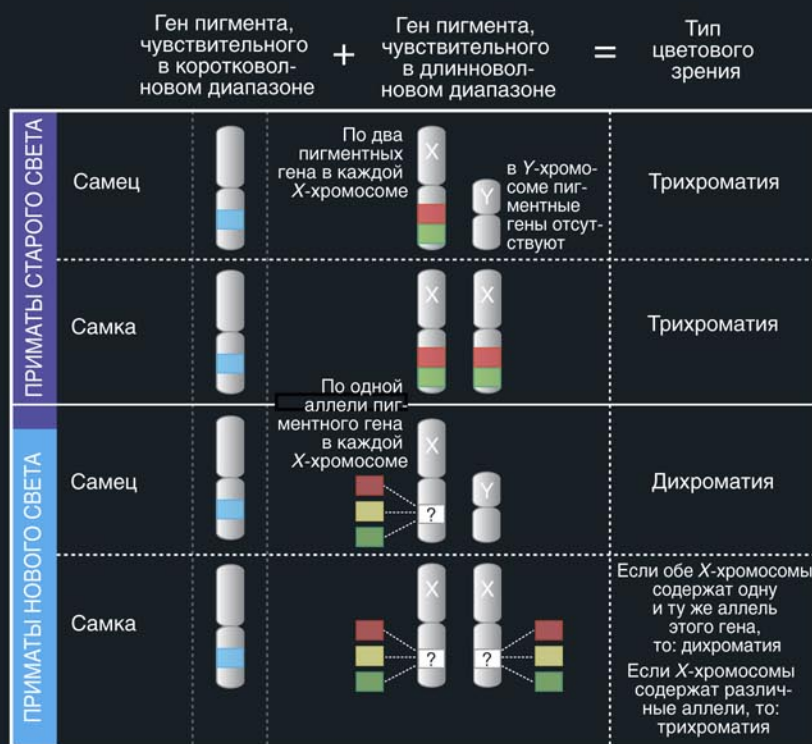
Вышеописанный механизм дубликации генов и возникновения в них мутаций (приводящих к расхождению в ДНК-последовательностях) хорошо объясняет эволюцию цветового зрения приматов и появление генов, обеспечивающих синтез M- и L-пигментов, потому что подобный ход событий уже известен для других, сход-



## ДВЕ ВЕРСИИ ЗРЕНИЯ ПРИМАТОВ

Генетические основания для развития трихроматического зрения у приматов Старого и Нового Света различны. Ген, кодирующий S-пигмент, у обеих групп животных (*синий*) располагается в аутосоме. Приматы Старого Света также имеют по два гена пигментов, чувствительных в длинноволновой части спектра, расположенных в каждой X-хромосоме (*красный и зеленый*). В результате самцы (в генотипе которых присутствует одна X-хромосома), так же как и самки (с двумя X-хромосомами), имеют три пигментных гена и обладают трихроматическим зрением.

В геноме приматов Нового Света содержатся три варианта (аллели) расположенного в X-хромосоме гена, отвечающего за синтез чувствительного в длинноволновой части спектра пигмента (*красный, желтый и зеленый*). При этом в каждой X-хромосоме присутствует только одна из трех аллелей. Соответственно, только самки могут иметь две различные аллели этого гена в двух своих X-хромосомах, что обеспечивает им трихроматию



ных генов. Например, происхождение генов, кодирующих гемоглобины (белки крови, транспортирующие кислород) иллюстрирует действие того же принципа. Ген, кодирующий фетальный гемоглобин (который начинает продуцироваться плодом со второго месяца пребывания в матке), и ген, обеспечивающий синтез «взрослого» гемоглобина А, произошли в результате удвоения одного предкового гена, который затем мутировал, дав разновидности, имеющие различное сродство к кислороду. Более того, все разнообразие иммуноглобулинов (большой группы разнообразных белков, обеспечивающих иммунный ответ организма) появилось в результате дубликации одного-единственного предкового гена.

### Два пути к трихроматии

Однако реальная картина эволюции трихроматического зрения приматов гораздо сложнее. Одним из ключевых моментов в изу-

чении происхождения трихроматии было обнаружение того факта, что два различных генетических механизма с равной вероятностью могут приводить к формированию трихроматического зрения у приматов. Один механизм реализуется у приматов Старого Света (группы, которая обитает в Африке и Азии и включает в себя в том числе гиббонов, шимпанзе, горилл и людей), а второй механизм обеспечивает развитие такого зрения у приматов Нового Света (т.е. видов, обитающих в Центральной и Южной Америке, например мармозеток, тамаиринов и саймири).

Люди, как и прочие приматы Старого Света, имеют оба длинноволновых пигментных гена в каждой своей X-хромосоме, что обеспечивает полноценное трихроматическое зрение. Но проведенное одним из нас (Джейкобсом) многолетнее исследование цветового зрения приматов Нового Света показало, что трихроматией у этих видов обладают только некоторые самки.

Все самцы и примерно треть самок широконосых обезьян продемонстрировали невысокую чувствительность к цветовым различиям в средне- или длинноволновом диапазоне, что характерно для дихроматического зрения. Таким образом, трихроматическое зрение среди приматов не универсально.

Чтобы объяснить сей любопытный факт, несколько исследователей взялись за изучение числа и расположения генов, отвечающих за выработку пигментов в колбочках обезьян Нового Света. У большей части животных были обнаружены только два таких гена: один коротковолновый, кодирующий S-пигмент (и, по-видимому, расположенный в аутосоме), и только один длинноволновый, лежащий в X-хромосоме. Другими словами, их генетический набор зрительных пигментов можно сопоставить с пигментным набором большинства млекопитающих-дихроматиков. Тогда как хоть кто-то из них может быть трихроматиком?



Ответ прост: пул генов широконосых обезьян включает в себя несколько вариантов (или аллелей) расположенного в X-хромосоме пигментного гена — различные версии с незначительными отличиями в последовательностях ДНК. Вариативность признака (существование нескольких аллелей) характерна для многих генов, но небольшие отличия в нуклеотидной последовательности этих аллелей редко приводят к различиям функциональным. Однако у приматов Нового Света разные аллели локализованного в X-хромосоме гена обеспечили разницу в спектральной чувствительности кодируемых ими пигментов. Типичные представители широконосых обезьян, такие, как, например, саймири, имеют в своем геноме три аллели сцепленного с X-хромосомой гена пигментации колбочек. Одна аллель кодирует пигмент, близкий к M-пигменту человека, вторая определяет синтез пигмента, сходного с L-пигментом, а третья аллель обеспечивает синтез пигмента, обладающего промежуточными свойствами.

Имея в своем генотипе две X-хромосомы, самки саймири (и только самки) могут получить от родителей две различные аллели (по одной в каждой X-хромосоме) длинноволнового пигмента, что приводит к трихроматии. Тем не менее треть всех самок получают от родителей две X-хромосомы с одинаковыми аллелями этого гена, поэтому у них, так же как и у самцов, развивается дихроматическое зрение. Можно предположить, что трихроматическое зрение приматов Нового Света — обедненная версия полноценной трихроматии, которой пользуются приматы Старого Света (илл. на стр. 34).

Различие в цветовом зрении широконосых и узконосых обезьян приоткрывает завесу тайны над возможными путями эволюции цветового зрения в обеих группах. Они начали обособливаться около 150 млн лет назад, в то время, когда два континента, Южная Америка и Африка, начали разделяться. Воз-

никшая в результате этого процесса генетическая изоляция усиливалась и стала полной около 40 млн лет назад. Можно предположить, что два механизма трихроматического зрения возникли независимо друг от друга, уже после того как обезьяны Старого и Нового Света перестали скрещиваться между собой. Скорее всего, для обеих групп изначально была характерна дихроматия со стандартным для всех млекопитающих набором из одного длинноволнового и одного коротковолнового пигментов. Ген, кодирующий длинноволновый пигмент, у животных Старого Света претерпел дупликацию, сопровождающуюся мутациями и расхождением получающихся пигментов в спектре, как уже обсуждалось выше. У широконосых обезьян тот же ген мог просто пройти через серию мутаций, вследствие которых возникли различные аллели длинноволнового гена, присутствующие в современной популяции.

Тем не менее сравнение аминокислотных последовательностей расположенных в X-хромосоме генов зрительных пигментов подтолкнуло к тому, чтобы предположить другой сценарий. В обеих группах обезьян M-пигмент имеет набор из трех аминокислот, которые обеспечивают максимальную спектральную чувствительность в области 530 нм, а оба L-пигмента содержат другой набор из трех аминокислот, которые дают максимальную спектральную чувствительность в области 560 нм. Благодаря изучению спектра поглощения других пигментов мы знаем, что различие в последовательности аминокислот может привести к смещению максимальной чувствительности этого семейства пигментов в сторону большей или меньшей длины волны (следовательно, наборы из трех аминокислот, обеспечивающие одинаковую спектральную чувствительность, скорее всего, одинаковы и по своему строению). Кроме того, сложно предположить, что обезьяны Старого и Нового Света после разделения эволюционировали

в одном направлении независимо друг от друга, приобретая идентичные последовательности аминокислот, изменившие чувствительность их длинноволновых пигментов.

Более вероятно, что различные аллели, встречающиеся у современных широконосых обезьян, были примитивной чертой, присущей общему предку обеих групп. И ее появление было первым шагом на их пути к трихроматии (илл. на стр. 34). Возможно, различные аллели пигментов в результате ряда последовательных удачных мутаций гена длинноволнового пигмента млекопитающих появились незадолго до разделения обезьян Старого и Нового Света. (Мы предполагаем, что пигмент с промежуточным значением спектральной чувствительности был частью этого примитивного комплекса, т.к. его аминокислотная последовательность содержит в себе набор из тех же трех участков, которые отличают M- и L-пигменты,



### ЭВОЛЮЦИОННОЕ ПРЕИМУЩЕСТВО?

Спелые плоды по цвету обычно контрастируют с листвой и менее зрелыми собратьями. Животные, обладающие трихроматическим зрением, более чувствительны к этим различиям, чем дихроматики. Возросшая способность вычлнять из общей массы спелые фрукты могла помочь трихроматикам в выживании, что привело к распространению этих генов в популяции приматов



а также потому, что его спектр поглощения — промежуточный между двумя другими.) Затем, после окончательного разделения этих двух групп приматов, произошла ошибка в рекомбинации у самок узконосых обезьян, приведшая к появлению в одной хромосоме двух различных аллелей гена длинноволнового пигмента. Это редкое событие поместило *M*-пигментную аллель параллельно с аллелью *L*-пигмента в общей *X*-хромосоме, что позволило трихроматии распространиться на самцов и охватить всех самок.

Генетическая инновация дала такое значительное селективное преимущество своим носителям, что *X*-хромосомы, которые содержали только одну аллель гена длинно-

волнового пигмента, полностью исчезли из генома узконосых обезьян. Но у географически и генетически изолированных обитателей Нового Света эта примитивная система трех длинноволновых аллелей сохранилась.

## Дело случая

Другой неожиданный результат наших исследований приматов Старого и Нового Света касается роли случая в появлении трихроматии. В данной ситуации речь идет не о случайности генетических мутаций, которые в сумме дали существующую совокупность генов, обеспечивающих трихроматию. У приматов цветное зрение появляется вследствие совокупности событий, случайным образом происходящих в каждом отдельном развивающемся организме, а точнее — в каждой отдельной клетке колбочки.

Чтобы объяснить, каким образом случайность участвует в формировании трихроматии, мы должны вначале рассмотреть, как колбочки передают информацию о цвете в мозг. Установлено, что наличие трех типов пигментов, которые необходимы для трихроматического зрения, — лишь первое условие. Следующий момент предполагает процесс передачи сигнала, генерирующегося различными фоторецепторами. Этот этап наиболее важен, т.к. отдельные клетки-колбочки не могут передавать специфическую информацию о длине волны. Возбуждение каждого фоторецептора может быть вызвано волнами различной длины, и колбочка не способна сигнализировать, волна какой именно длины (из воспринимаемого спектра) была поглощена. Клетка генерирует сигнал одного и того же вида независимо от того, поглотила ли она 100 фотонов с длиной волны, которую она воспринимает хорошо, или 1000 фотонов с той длиной волны, которую поглощает плохо. Чтобы различить цвета, зрительная система должна сравнить ответы соседних колбочек, имеющих другой тип пигмента. Получается, что для оптимальной

работы системы необходимо, чтобы каждая из них содержала только один тип пигмента, и колбочки с различными типами пигментов располагались рядом друг с другом, образуя мозаику.

Исследования на приматах подтвердили данную гипотезу, показав, что в сетчатке обезьян каждая клетка-колбочка содержит только один тип зрительного пигмента, и различные их типы располагаются относительно друг друга в некоем подобии мозаики. При этом каждая колбочка сетчатки содержит гены всех трех пигментов, и до конца не ясно, благодаря какому механизму в каждой конкретной клетке активируется только один пигментный ген.

Активация (или экспрессия) генов в клетке происходит с помощью факторов транскрипции: белки, называемые промоторами и предназначенные для связывания ДНК, прикрепляются возле регуляторной зоны и запускают цепочку превращений, приводящих к синтезу белка, кодируемого этим геном. Выяснилось, что во время внутриутробного развития факторы транскрипции активируют ген, кодирующий *S*-пигмент, что приводит к образованию коротковолновых фоторецепторов. Одновременно другой неизвестный процесс ингибирует экспрессию генов остальных пигментов в этих клетках. В длинноволновых колбочках приматов Нового Света экспрессия генов, обеспечивающих синтез нужного пигмента, регулируется с помощью механизма, основанного на действительно случайном процессе. У самок широконосых обезьян, в двух *X*-хромосомах которых имеются различные аллели пигментов, экспрессия того или иного гена в каждой отдельно взятой колбочке зависит от того, какая из имеющихся *X*-хромосом будет инактивирована. В процессе инактивации каждая женская клетка случайным образом «консервирует» одну из двух имеющихся в ней *X*-хромосом на раннем этапе онтогенеза. Инактивация *X*-хромосомы приводит к тому, что в каждой длинноволновой колбочке



**ПРИМАТЫ СТАРОГО СВЕТА** обитают в Азии и Африке в течение миллионов лет и сейчас включают в себя антропоидов (человек, шимпанзе, бонобо, горилла, орангутан), а также гиббонов, лангуров, макак и мандрилов. Группа обезьян Старого Света обособилась от группы приматов Нового Света (обитающих в Центральной и Южной Америке) около 40 млн лет назад, когда африканский и южноамериканский континенты разделились



◀ МАНДРИЛ



будет экспрессирована только одна аллель этого гена (соответственно, в клетке будет синтезироваться только один тип пигмента). Из-за того, что этот процесс случаен, половина клеток активируют ген пигмента, находящийся в одной X-хромосоме, а оставшая половина способна синтезировать пигмент, определяемый другой аллелью этого гена, находящейся во второй X-хромосоме. Благодаря этому разные длинноволновые колбочки у этих животных мозаично разбросаны по всей поверхности сетчатки, что обеспечивает полноценную трихроматию.

Инактивация X-хромосомы происходит у всех млекопитающих и принципиальна для выживания видов. Без этого в женских клетках обе X-хромосомы будут использоваться для синтеза белка, что вызовет резкое различие между полами по количеству производимых белков, следовательно, будет ухудшаться качество развития особей одного или обоих полов. Приматы Старого Света имеют обе аллели гена (ответчающие за синтез и M-, и L-пигмента) в каждой X-хромосоме, и потому инактивация X-хромосомы у них не приводит к экспрессии только одного пигментного гена в каждой клетке-колбочке. Это обеспечивается совершенно другим механизмом.

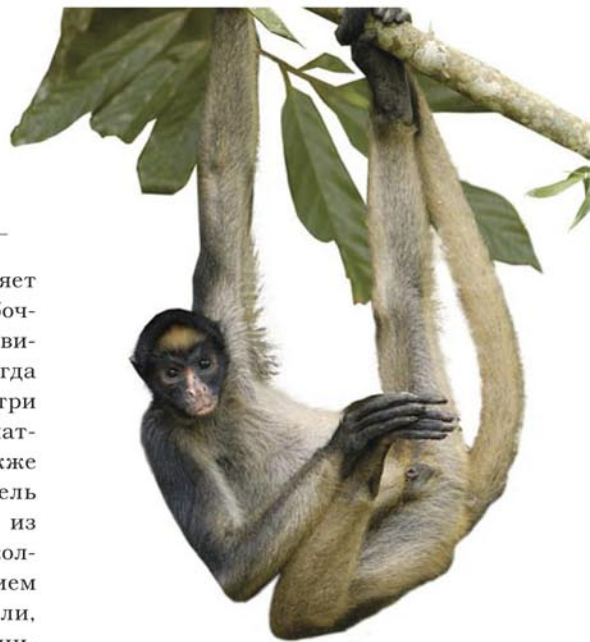
Исследования Натанса показали, что у узконосых обезьян активация каждого из двух связанных с X-хромосомой генов пигмента в колбочке определяется близко расположенной последовательностью ДНК, известной как локус-контролирующая область. Возможно, экспрессия того или иного гена происходит в период онтогенеза, когда в каждой колбочке локус-контролирующая область взаимодействует с одним и только одним из двух промоторов, обеспечивающих синтез M- и L-пигментов, тем самым активируя этот ген. Особенности этого взаимодействия в деталях пока не известны, но полученные данные свидетельствуют о том, что описанный процесс может быть случайным.

Если это взаимодействие локус-контролирующей области с про-

мотором на самом деле определяет экспрессию гена пигмента в колбочках, и если это происходит действительно случайным образом, тогда расположение M- и L-клеток внутри любого небольшого участка сетчатки приматов Старого Света также будет случайным. Исследователь Дэвид Уильямс (David Williams) из Университета Рочестера и его коллеги, занимаясь картированием расположения колбочек, выяснили, что с учетом технических ограничений данного метода эта гипотеза подтверждается.

### Приятное дополнение

Изучение основ цветового зрения приматов также показало, что определенные процессы, протекающие в сетчатке и мозге и связанные с распознаванием волн большей длины, могут быть высокопластичными. Существует ряд структур, обеспечивающих сопоставление визуальной информации от S-колбочек



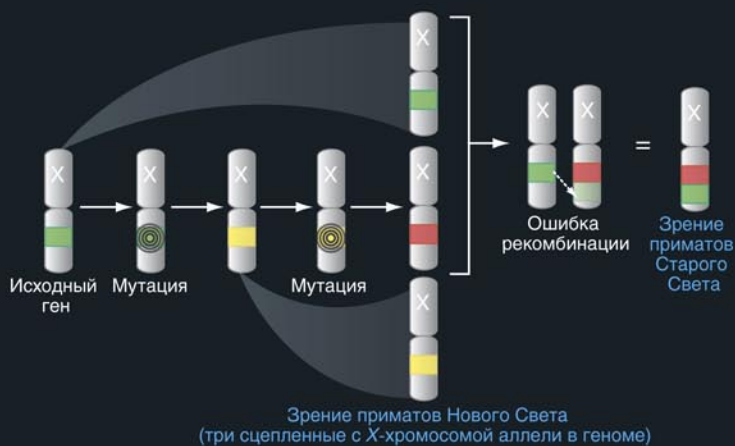
ПАУКООБРАЗНАЯ обезьяна ▲

**ПРИМАТЫ НОВОГО СВЕТА** заселили Центральную и Южную Америку. В целом они несколько мельче своих собратьев — узконосых обезьян. К приматам Нового Света относятся, например, мармозетки, тамарины, саймири, паукообразные обезьяны, ревуны и капуцины



## [КАК РАЗВИВАЛАСЬ ТРИХРОМАТИЯ ПРИМАТОВ

Сравнение генетической подоплеки формирования цветового зрения у широконосых и узконосых обезьян позволяет выделить основные этапы эволюции, которые привели к развитию трихроматического зрения у некоторых самок приматов Нового Света и у обоих полов обезьян Старого Света



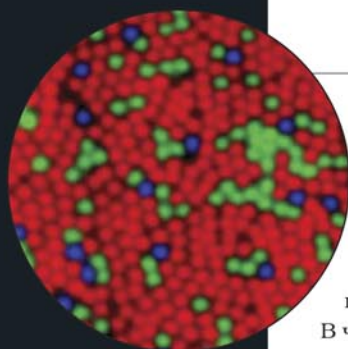
У общего предка обеих групп обезьян исходный локализованный в X-хромосоме ген длинноволнового пигмента (зеленый в самой левой части) претерпел ряд полезных мутаций, благодаря чему в геноме приматов появились три аллели гена, отвечающего за выработку пигмента с максимумом поглощения в длинноволновой части спектра (красный, желтый и зеленый). Эти изменения зафиксированы в популяции современных широ-

коносых обезьян. После того как эти группы обезьян разделились, ошибка в рекомбинации (процесс, в котором хромосомы обмениваются участками) при оогенезе привела к появлению сразу двух аллелей этого гена в одной X-хромосоме (в самой правой части). Это нововведение позволило трихроматии распространиться на всех самок и на самцов и стать нормой для современных обезьян Старого Света

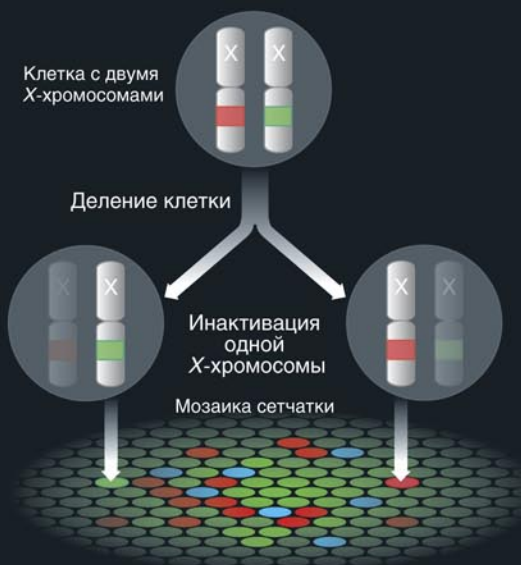


## СЛУЧАЙНЫЕ ПРОЦЕССЫ В СЕТЧАТКЕ

В каждой колбочке имеются гены всех трех зрительных пигментов, но в каждой отдельной клетке экспрессирован только один из них, два других находятся в неактивной форме. Процесс, обеспечивающий выбор того или иного длинноволнового гена, до конца не известен, но скорее всего он подчиняется случаю. Поэтому и распространение длинноволновых колбочек в сетчатке носит случайный характер (справа)

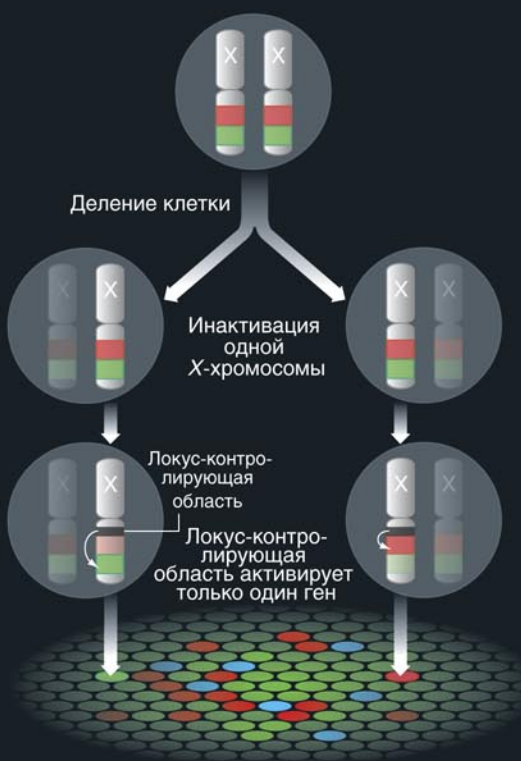


### «ОРЕЛ ИЛИ РЕШКА» ПРИМАТОВ НОВОГО СВЕТА



◀ У приматов Нового Света выбор гена, ответственного за выработку чувствительного к длинноволновой части спектра пигмента, связан с проходящей на эмбриональной стадии инактивацией X-хромосомы (процесса, при котором все женские клетки случайным образом «консервируют» одну из двух половых хромосом). Если у самки в генотипе присутствуют две аллели данного гена, инактивация одной из X-хромосом в каждой клетке происходит независимо, случайным образом, благодаря чему эти два типа колбочек равномерно распределяются по сетчатке, образуя мозаику

### СЛУЧАЙНЫЙ ВЫБОР ПРИМАТОВ СТАРОГО СВЕТА



◀ Приматы Старого Света имеют в каждой X-хромосоме по два гена, кодирующих синтез пигмента с максимумом поглощения в длинноволновой части спектра. Для нормальной работы сетчатки необходимо, чтобы в каждой колбочке был экспрессирован только один из двух генов. Инактивация X-хромосомы, происходящая у самок, не решает проблему. Поэтому у обоих полов в раннем онтогенезе происходит взаимодействие регулятора, называемого локус-контролирующей областью, с одним из этих генов. Случайный характер этого процесса приводит к образованию мозаичной структуры в сетчатке

с комбинированным сигналом от длинноволновых фоторецепторов. Однако для проведения сравнения между сигналами от L- и M-колбочек мозг и сетчатка вынуждены, образно говоря, «импровизировать».

В частности, отслеживая реакции колбочек на визуальные стимулы, зрительная система после приобретения собственного опыта, вероятно, способна «выучивать» идентичность этих клеток.

Кроме того, выяснилось, что основные нейронные пути, которые проводят импульсы от длинноволновых колбочек, не всегда принадлежат к специфическим нейронам, обеспечивающим цветное зрение. Способ получения информации об оттенках от L- и M-колбочек выглядит скорее как счастливая случайность, побочный эффект эволюции древнего нейронного аппарата пространственного зрения высокой четкости, который обеспечивает способность различать границы объектов и их удаленность от наблюдателя. Джон Моллон (John Mollon) из Кембриджского университета указывает, что у приматов при сравнении возбуждения от одной L- или M-клетки с общим возбуждением от большого числа соседствующих с ней L- или M-колбочек этот аппарат служит посредником между длинноволновыми колбочками, и при этом активируются те же нейральные процессы, которые задействуются для осуществления пространственного зрения высокой четкости.

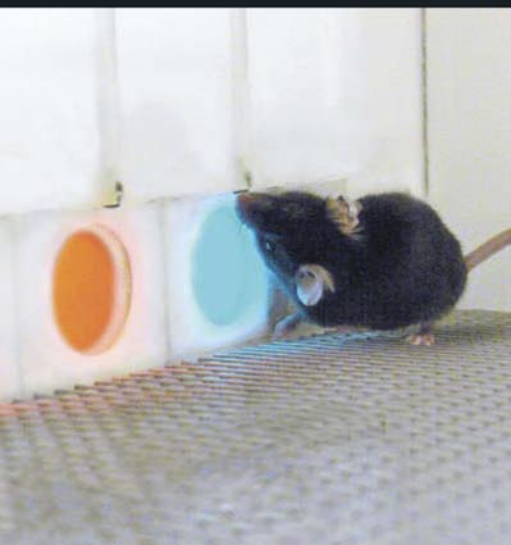
Пока не обнаружено отдельной схемы, обеспечивающей длинноволновое цветное зрение, и, возможно, она и не потребуется. С этой точки зрения трихроматическое цветное зрение можно рассматривать как дополнительную функцию уже существующей системы пространственного зрения. Гипотеза о нейрональной пластичности при осуществлении цветного зрения привела нас к интересному предположению. Мы исходили из того, что первым шагом эволюции трихроматии приматов было слу-



чайное появление у далекого предка по женской линии второй длинноволновой аллели в X-хромосоме. Возможно, мозг предкового примата оказался способен «импровизировать», чтобы использовать новый пигмент сразу, без создания дополнительных нервных структур. Тогда могло ли быть приобретение третьего типа пигмента достаточным само по себе для появления трихроматии, которая добавила новое измерение в цветовое зрение?

Мы сможем проверить эту гипотезу, если сумеем воспроизвести начальный этап эволюции от млекопитающих с дихроматическим зрением (таких как лабораторные мыши) до трихроматии, свойственной приматам. Мы начали эксперимент, с помощью генной инженерии изменив X-хромосому мыши так, чтобы она кодировала *L*-пигмент человека вместо *M*-пигмента мыши, тем самым вве-

**ГЕНЕТИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННЫЕ МЫШИ** обучились выбирать из трех панелей одну, отличающуюся от прочих по цвету, подтверждая тем самым, что они в состоянии различать голубой и оранжевый цвета, на что нормальные мыши с дихроматическим зрением не способны. Это стало для них возможно благодаря введению в их геном гена *L*-пигмента человека (в дополнение к их обычным двум зрительным пигментам). Эксперимент указал на поразительную пластичность мозга млекопитающих, позволявшую мышам свободно пользоваться дополнительным пигментом, не формируя при этом новых нейронных структур



д в популяцию новую аллель, так же как это могло произойти миллионы лет назад у древних приматов. Затем нам удалось продемонстрировать, что в полученной линии мышей ген *L*-пигмента человека в части колбочек был экспрессирован, и что световые сигналы от *L*-фоторецепторов передавались с эффективностью, сопоставимой с работой нормальных для мышей *M*-колбочек. Помимо этого мыши, активировавшие *L*-пигмент человека, обладали, как и ожидалось, высокой (по сравнению с обычными мышами) чувствительностью к более широкому спектру волн.

Но ключевым вопросом было, смогут ли самки мышей, имея две различные аллели гена (в двух X-хромосомах), использовать мозаику *M*- и *L*-колбочек сетчатки, вызванную инактивацией одной из X-хромосом, не только для восприятия цвета, но и для различения оттенков внутри этой части спектра. Ответ был коротким и ясным: могут. В лабораторных тестах мы обучали самок, в сетчатке которых присутствовали оба пигмента, дифференцировке зеленых, желтых, оранжевых и красных стимулов, которые для обычных мышей выглядят примерно одинаково. Благодаря новому *L*-пигменту эти мыши несомненно приобрели дополнительные возможности, подтверждающие, что мозг млекопитающих имеет врожденную способность использовать любую новую информацию, в том числе поступающую из качественно иных источников.

Это открытие важно для понимания эволюции сенсорных систем в целом, потому что оно предполагает, что изменения в «интерфейсе» системы — в генах для сенсорных рецепторов — может привести к появлению целой новой системы. Применительно к трихроматии приматов эксперимент на мышах показал, что самые первые приматы с двумя различными длинноволновыми пигментами смогли увидеть мир так, как ни один примат не видел раньше. ■

Перевод: Т.А. Митина

## СУПЕРЦВЕТОВОЕ ЗРЕНИЕ?



У некоторых женщин в сетчатке содержится четыре светочувствительных пигмента вместо положенных трех. Четвертый пигмент получается в результате мутации одного из двух генов, расположенных в X-хромосоме и теоретически должен влиять на спектральную чувствительность сетчатки. Дает ли этот дополнительный пигмент возможность лучше распознавать цвета, пока неизвестно, т.к. исследования в этом направлении только начались. Помимо того, что тестирование цветового зрения не может служить источником надежных данных о тетрахроматии, люди, обладающие этой способностью (если таковые существуют), могут и не знать о своей зрительной аномалии

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- The Evolution and Physiology of Human Color Vision: Insights from Molecular Genetic Studies of Visual Pigments. J. Nathans in *Neuron*, Vol. 24, No. 2, pages 299–312; October 1999.
- Genetically Engineered Mice with an Additional Class of Cone Photoreceptors: Implications for the Evolution of Color Vision. P.M. Smallwood et al. in *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, Vol. 100, No. 20, pages 11706–11711; September 30, 2003.
- Emergence of Novel Color Vision in Mice Engineered to Express a Human Cone Pigment. G.H. Jacobs, G.A. Williams, H. Cahill and J. Nathans in *Science*, Vol. 315, pages 1723–1725; March 23, 2007.
- Primate Color Vision: A Comparative Perspective. G.H. Jacobs in *Visual Neuroscience*, Vol. 25, Nos. 5–6, pages 619–633; September 2008.







Трейси Шорз

# СПАСИТЕ НОВЫЕ НЕЙРОНЫ

Возможно, вы видели по телевизору, в журналах или в Интернете рекламу разного рода программ, развивающих интеллект. Они предлагают многочисленные способы зарядки для ума, ежедневно нагружая его разными задачами, начиная с запоминания бессмысленных последовательностей слов и заканчивая подсчетом количества деревьев в парке.

Как бы подозрительно ни звучали подобные рекламные объявления, оказывается, что эффект таких программ имеет нейробиологическое обоснование. Новейшие исследования, правда, в основном на крысах, показывают, что научение повышает способность к выживанию вновь образующихся нейронов взрослого головного мозга. И что еще более удивительно, оно способно подстегнуть появление новых клеток. Причем чем большего включения и интеллектуальных усилий требует задача, тем большее количество нейронов образуется и удерживается в мозге. По-видимому, интеллектуальные нагрузки способны «накачать» мозг подобно тому, как физические упражнения помогают тренировать тело.

Результаты таких исследований важны не только для интеллектуальных ленивцев, мозг которых засиделся и нуждается в нескольких приседаниях, но и для людей с нарушениями когнитивных функций, как при

Каждый день во взрослом мозге возникают новые нервные клетки. Последние исследования показывают, что в этом им помогают сложные задачи, решаемые человеком. И чем больше нейроны нагружены, тем активнее они развиваются

болезни Альцгеймера и других формах деменции. В этом случае зарядка ума, поддерживающая активность мозга, может замедлить снижение интеллектуальных функций.

## Новый нейрон родился!

В 1990-х гг. удивительное известие потрясло научный мир: мозг взрослых млекопитающих может образовывать новые нейроны. До этого биологи считали, что нейрогенез — процесс образования новых нейронов — возможен лишь в раннем возрасте, во время интенсивного интеллектуального развития, и по мере взросления полностью прекращается. Но в начале 1990-х гг. Элизабет Гоулд (Elizabeth Gould) из Рокфеллеровского университета удалось продемонстрировать зарождение новых клеток во взрослом мозге, а именно, в области гиппокампа (у морского конька), который участвует в процессах памяти и научения. Вскоре аналогичные результаты были по-

лучены на животных различных видов: от мыши до мартышки. В 1998 г. нейробиологи США и Швеции показали, что нейрогенез осуществляется и в мозге взрослого человека.

Исследования нейрогенеза у грызунов обычно проводится с применением вещества под названием БДУ (бромдезоксисуридин), которое позволяет отличить под микроскопом только что сформированные клетки от более взрослых. Результаты показывают, что в гиппокампе крыс каждый день образуются от 5 до 10 тыс. новых нейронов. (Известно, что и в гиппокампе человека возникают нейроны, но мы все еще не знаем, в каком количестве).

Генерация новых нейронов не настолько предсказуема, как часовой механизм. На интенсивность этого процесса влияют множество средовых факторов. Например, показано, что прием алкоголя замедляет создание новых клеток, а в результате упражнений их количество значи-

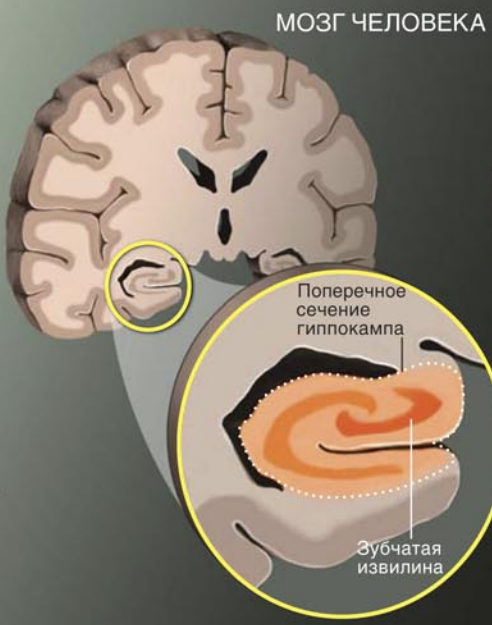
## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Каждый день во взрослом мозге появляются тысячи новых клеток, особенно в области гиппокампа — структуры, отвечающей за научение и память.
- Если перед животным не встают задачи, требующие научения, то в течение одной-двух недель большинство новорожденных нейронов умирают. Процесс научения, особенно требующий больших усилий, позволит этим клеткам выжить.
- Новые нейроны не обязательно участвуют в научении, но также могут играть роль в предсказании будущего на основании прошлого опыта. Усиление нейрогенеза может замедлить снижение когнитивных процессов при различных формах деменции, а также поддерживает здоровый мозг в хорошей форме.



ГДЕ ОБРАЗУЮТСЯ НОВЫЕ НЕЙРОНЫ

Во взрослом мозге новые нейроны появляются в гиппокампе — структуре, участвующей в обучении и памяти. Несмотря на то что нейрогенез во взрослом организме был изначально открыт у грызунов, позже новые клетки также были обнаружены в мозге человека. Точнее говоря, новые нейроны образуются в части гиппокампа, которая называется зубчатой извилиной (выделена цветом на илл. справа)



На микроснимке справа показан гиппокамп мыши, окрашенный по методике Brainbow, когда нейроны производят белки разного цвета

тельно возрастает. Крысы и мыши, которые проводят много времени в колесе активности, по количеству новых клеток вдвое опережают тех, что ведут сидячий образ жизни. Даже употребляемая в пищу черника способна подстегнуть генерацию новых клеток в гиппокампе крысы.

**Используй или потеряешь**

Упражнения и другие действия помогают стимулировать производство дополнительных нервных клеток. Но новые клетки не всегда остаются там, где возникли. Многие из них, если не большинство, исчезают в течение нескольких недель после нейрогенеза. Естественно, и другие клетки организма не живут вечно. Поэтому сам факт, что нейроны погибают, — не новость. Столь быстрая их смерть ставит в тупик: зачем моз-

Те задачи, решению которых сложнее научиться, спасают больше нейронов

гу осуществлять сложный процесс создания новых клеток, чтобы они вскорости бесследно исчезли?

Результаты наших исследований показывают, что новые клетки создаются «на всякий случай». Если перед животным встают сложные задачи, то новообетенные нейроны останутся в мозге, если нет — погибнут. В 1999 г. мы вместе с Гоулд, которая в настоящее время работает в Принстонском университете, совершили открытие, проводя серию экспериментов по изучению влияния научения на выживаемость новорожденных нейронов в гиппокампе мозга крысы.

Задача, которую мы использовали, называется отсроченным обусловли-

ванием мигательного рефлекса (врезка на стр. 50). Она во многом напоминает эксперименты И.П. Павлова, в которых у собаки начинала выделяться слюна, когда она слышала звук, связанный с доставкой обеда. В случае с обусловливанием мигательного рефлекса животное слышит звук, а затем через некоторый заданный период времени (обычно 500 миллисекунд, т.е. половину секунды) в его глаз подается воздух или производится мягкая стимуляция века другим способом, в результате чего животное моргает.

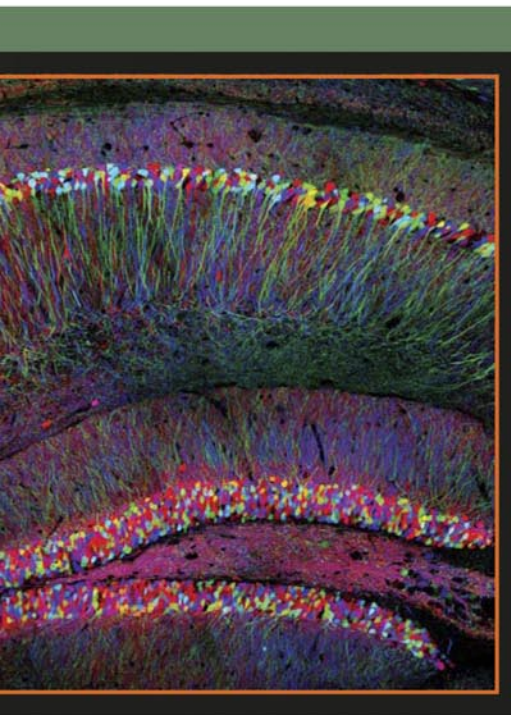
После нескольких проб, обычно около сотни, животное устанавливает связь между звуком и раздражением века: оно научается предугадывать, когда возникнет стимул, и моргать, прежде чем это происходит на самом деле. Такой «условный» ответ показывает, что животное научилось связывать во времени два события. Подобная способность крыс может показаться заурядной, но на самом деле она позволяет измерить готовность животного к «антиципации» —

ОБ АВТОРАХ

**Трейси Шорз** (Tracey J. Shors) — профессор факультета психологии и Междисциплинарного центра нейронаук в Университете Рутгерса. Вот уже много лет ее научные интересы лежат в области нейробиологии научения и памяти. Шорз сотрудничала с Элизабет Гоулд (Elizabeth Gould) из Принстонского университета. В их совместной работе была показана связь научения и выживания вновь образовавшихся нейронов гиппокампа, а также роль этих клеток в процессах научения. Десять лет спустя Шорз все еще пытается разрешить вопрос о связи нейрогенеза и научения.

RUBBERBALL PRODUCTIONS Getty Images (woman); JEN CHRISTIANSEN (illustrations)





предсказанию будущего на основании того, что происходило с ним в прошлом.

Прежде чем начать эксперименты, животным вводили БДУ, чтобы изучить связь между обучением и нейрогенезом. Через неделю половина крыс проходила через процедуру отсроченного обусловливания мигательного рефлекса, остальные же оставались в своих жилищах. После четырех-пяти дней обучения мы обнаружили, что у крыс, научившихся связывать моргание со звуком, было больше клеток, меченных БДУ, чем у тех, что оставались в домиках. Мы сделали вывод, что обучение помогло сохранить нейроны, которые иначе бы погибли. У животных, не подвергавшихся процедуре обусловливания, лишь немногие меченные БДУ клетки дожили до конца исследования. Причем чем лучше обучалось животное, тем больше новых нейронов мы фиксировали по окончании процедуры. Такие же процессы происходят, когда крысы учатся ориентироваться в лабиринте.

В самом начале наших исследований в конце 1990-х гг. мы исследовали крыс, которым обучение давалось легко: тех, кто научался моргать за

50 миллисекунд до реальной стимуляции века и делал это более чем в 60% проб. Позже мы задались вопросом: сохраняются ли новые клетки у тех животных, которые не способны к обучению или хуже учатся? Оказалось, что не сохраняются. В исследовании, результаты которого были опубликованы в 2007 г., у крыс, которые через 800 проб не смогли научиться предвидеть раздражение века, фиксировались всего несколько новых нейронов, как и у тех животных, что оставались в своих клетках.

Мы также провели эксперименты, в которых жестко ограничили возможности обусловливания. На этот раз мы дали крысам на то, чтобы научиться все делать правильно, всего один день — 200 проб. В такой ситуации некоторые животные научились антиципировать появление стимула, а другие — нет. И снова, несмотря на то что все прошли через одно и то же испытание, крысы, которые научились, сохранили больше нейронов, чем те, что не смогли. Эти результаты показывают, что новообретенные нейроны выживают в ситуации реального научения, а не просто упражнения, перемещения из одной клетки в другую или каких-либо еще рутинных действий.

### Без труда не выловишь и рыбку из пруда

Несмотря на то что новый опыт помогает продлить жизнь новообретенным клеткам гиппокампа, не все виды научения равно эффективны. Например, если животное учится плыть до платформы, которая видна в бассейне, то его тренировка не повышает выживаемости нейронов. То же самое происходит в случае с обусловливанием мигания звуковым сигналом, если два стимула подаются почти одновременно.

Мы предполагаем, что причина неэффективности таких заданий для сохранения новых клеток — то, что для их решения не нужно думать. Крыса, в принципе, всегда готова доплыть до видимой платформы. Кроме того, она банально не хочет утонуть. И если стимуляция века совпадает

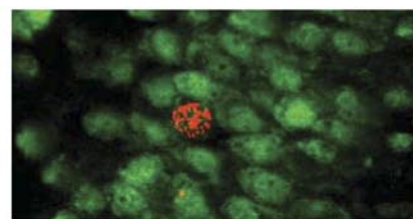
по времени со звуком, животному не нужно запоминать событие, которое произошло в прошлом, т.е. формировать след памяти, на основании которого оно будет предсказывать появление раздражителя века. Оно просто реагирует, когда слышит звук.

Нам кажется, что лучше всего помогают в сохранении новообретенных клеток те задачи, которым сложнее обучаться, для решения которых требуется больше интеллектуальных усилий. Чтобы проверить эту гипотезу, мы взяли простейшую задачу и чуть-чуть ее усложнили. Мы начали с процедуры обусловливания мигания, в которой звук предшествовал и перекрывался по времени со стимуляцией века. Как было сказано выше, такое научение не способствует сохранению новых нейронов. Затем мы усложнили задачу, продлив звучание настолько, чтобы стимул появлялся лишь в завершение продолжительного звука.

В такой ситуации сложнее понять, когда необходимо моргать. Здесь нужно, как спортсмену, не сорваться с места по команде «На старт!» — иначе это будет неверным решением. Такая задача сложнее даже процедуры с обусловливанием, отсроченным на 500 миллисекунд, т.к. животное не может использовать окончание звучания как сигнал «Внимание!». Вместо этого крысе нужно отследить точ-

### ВЫЯВЛЕНИЕ НОВООБРЕТЕННЫХ НЕЙРОНОВ

Вещество БДУ скапливается в клетках, которые появились после его введения в организм. На изображении внизу выделена новорожденная клетка: клетки с БДУ отмечены красным, а другие клетки, идентифицированные как нейроны, — зеленым. Новую клетку окружают зрелые нейроны





ный момент времени, когда начался звук, и оценить период до начала стимуляции века. Это непростая задача для всех животных, включая человека. Мы обнаружили, что такое научение помогает спасти столько же, а то и больше клеток, чем стандартная процедура отсроченного обусловливания мигательного рефлекса.

Также интересно, что больше нейронов выживало у тех животных, участвовавших в процедуре обусловливания, которые обучались чуть медленнее, т.е. нуждались в большем количестве проб, прежде чем начали реагировать правильно. Значит, можно предположить, что новые нейроны гиппокампа больше вовлекаются при научении, которое требует концентрации усилий.

## Отсчет пошел

Сегодня пока не ясно, почему столь эффективно именно научение, требующее дополнительных усилий. Существует теория, что задачи, требующие больше размышлений или больше времени для освоения, заставляют более интенсивно работать нервные сети гиппокампа, в том числе включенные в них новообращенные нейроны. Дополнительная ак-

тивация этих клеток и есть решение. Эта гипотеза нравится мне по двум причинам.

Во-первых, в ряде исследований было показано, что задачи на обучение, такие как классическое обусловливание мигательного рефлекса, увеличивают возбудимость нейронов гиппокампа, в результате чего они становятся более активными. Более того, активация гиппокампа идет рука об руку с процессами научения: животные, у которых фиксируется большее возбуждение, лучше решают экспериментальные задачи.

Во-вторых, по-видимому, существует критический период времени, в который научение может спасти новообращенные клетки. У грызунов он составляет около одной-двух недель с момента появления нейрона. Например, в одном из последних исследований было показано, что научение способно спасти клетки в возрасте семи-десяти дней. Позже обучение уже неэффективно — нейроны все равно погибают. Более раннее обучение также не дает результата. Это временное окно готовности к научению совпа-

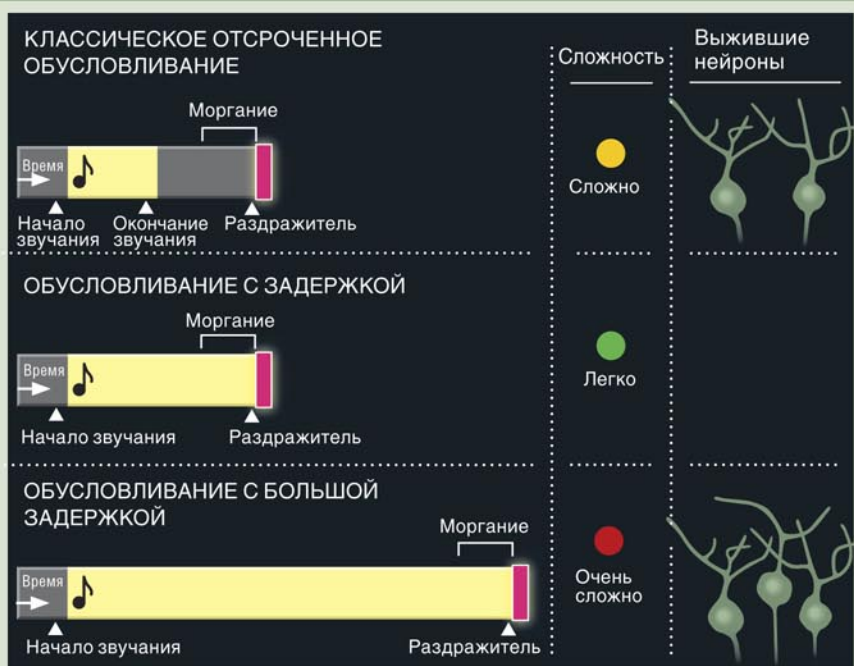
дает с периодом дифференциации неспециализированных новорожденных клеток и превращения их в нейроны. В это время клетки отращивают дендриты — отростки, принимающие сигналы, по которым они получают импульсы из других отделов мозга, — и аксоны, несущие послания к соседним областям гиппокампа, например к полю СА3. Приблизительно в это же время нейроны начинают отвечать на определенные нейротрансмиттеры — вещества, которые участвуют в передаче информации от клетки к клетке.

На основании этих наблюдений можно выдвинуть предположение: чтобы нейроны могли принимать участие в научении, они должны в некоторой степени созреть и включиться в нейронные сети. Если обучение проходит трудно, то нейроны



## ЧТО ПОКАЗЫВАЮТ ИССЛЕДОВАНИЯ НА КРЫСАХ

Автор статьи и ее коллеги решили воспользоваться процедурой отсроченного обусловливания мигательного рефлекса, чтобы показать влияние сложных заданий на выживаемость нейронов. Эксперименты начались с классического сценария (схема вверху), в котором животное слышит звук и через полсекунды происходит раздражение века, которое вызывает моргание. После примерно сотни проб животные научаются моргать до реального раздражения века. Поскольку звуковой сигнал и воздействие, вызывающее моргание, разнесены во времени, животному сложно определить, когда нужно моргать. Такая задача позволяет сохранить больше новорожденных клеток. Крысы легко справляются с более простой задачей — когда раздражение перекрывается по времени с подачей звука (схема в середине). Решение этой задачи не повышает выживаемости новообращенных нейронов. В последней серии задание было усложнено до предела. Крыса дольше ожидала раздражения (схема внизу), и в результате спасала от смерти гораздо больше своих клеток, чем при любой другой форме обучения

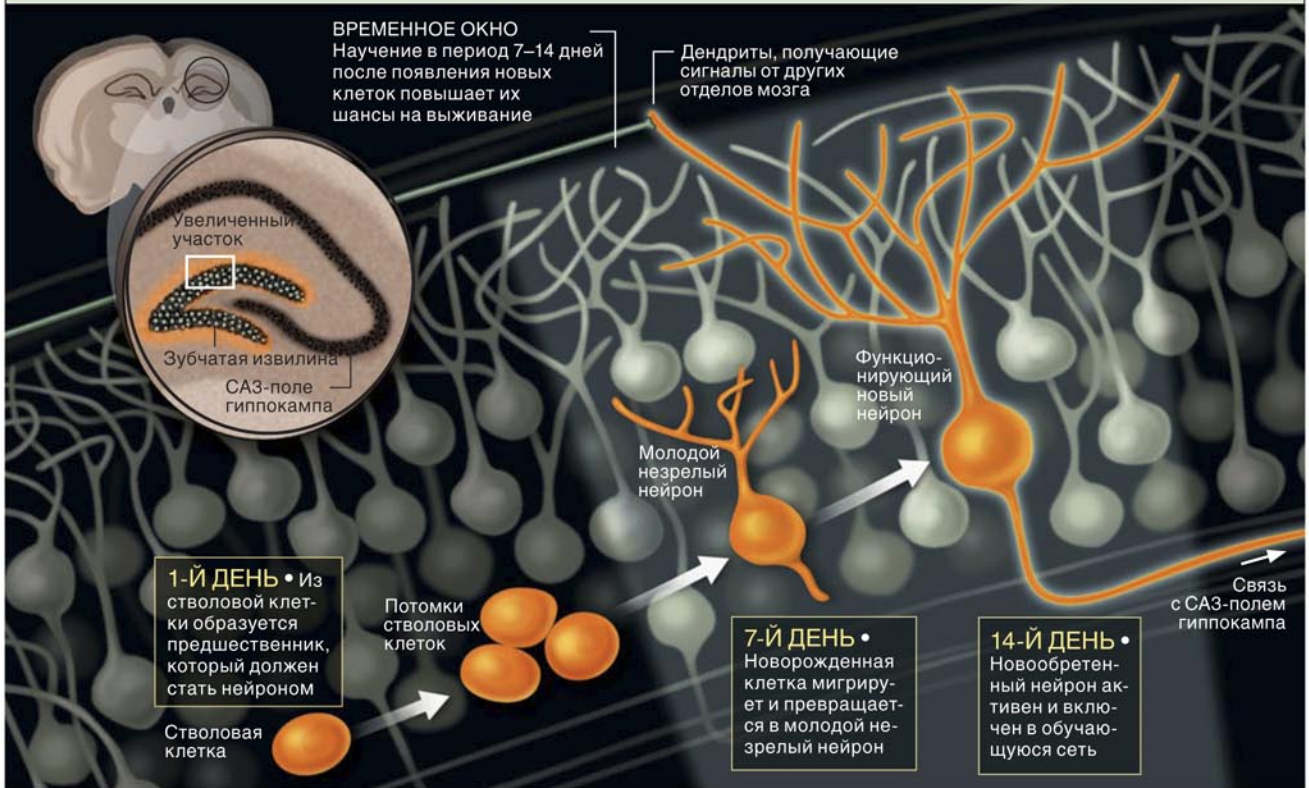




**ПОЧЕМУ НАУЧЕНИЕ СПАСАЕТ НОВЫЕ НЕЙРОНЫ?**

В течение первой недели своего существования новорожденные нейроны гиппокампа мигрируют от края зубчатой извилины в более глубокие области, где они созревают и образуют связи с другими нейронами. Научение помогает клеткам выжить, если происходит в первые недели их жизни.

Возможно, оно стимулирует существующие нейроны, которые начинают посылать сигналы новым, способствуя таким образом их созреванию. Если во время созревания научения не происходит, большинство новообращенных клеток гиппокампа погибнут.



гиппокампа, в том числе новообращенные, полностью включены в работу. Но если перед животным не стоит никаких важных задач, новообращенные нейроны получают недостаточно стимулов, которых не хватает, чтобы выжить. В результате они просто отмирают.

**Чем занимаются новые клетки?**

Итак, в гиппокампе каждый день рождаются тысячи новых клеток. И если перед животным стоит задача научиться чему-то, то эти клетки выживают и остаются на месте. Но каковы их функции? Естественно, они не могут сразу включиться в процесс научения, т.к. в большинстве случаев он происходит практически мгновенно (в течение секунд, если не меньше). Сталкиваясь с новой задачей, мозг просто не может подождать

неделю-другую, пока новые нейроны народятся, созреют и включатся в рабочие сети, и лишь потом начать учиться. Мы с коллегами предположили, что запас новых клеток должен каким-то образом влиять на параметры научения в будущем.

Чтобы проверить наше предположение, мы решили удалить у крысы несколько новообращенных клеток, предположив, что если они играют важную роль в научении, то животные, у которых их меньше, будут не столь успешны в нем. Поскольку удалить отдельные клетки живого мозга невозможно, мы не давали им родиться. Для этого несколько недель животным вводили вещество под названием МАМ, которое препятствует делению клеток. Затем животных отправляли на обучение.

Животные, получавшие МАМ, оказались плохими учениками при

классической процедуре обусловливания мигательного рефлекса с отсрочкой в 500 миллисекунд. Им было очень сложно научиться предсказывать раздражение. В то же время они хорошо справлялись со многими другими задачами, опирающимися на работу гиппокампа, например с водным лабиринтом Морриса. В этом задании крыс погружали в бассейн с непрозрачной жидкостью. Они должны были доплыть до погруженной в воду платформы. На стены бассейна были нанесены пространственные ориентиры, которые помогали крысам найти дорогу. Крысы, лишенные новых нейронов, справились с этой задачей так же быстро, как их собратья, не подвергавшиеся действию МАМ.

Грызуны после введения МАМ по-прежнему могли запоминать место, в котором с ними происходили эмо-



## ЧТО ПОЛЕЗНО, ЧТО ВРЕДНО

Научение способствует выживанию новых нейронов, но не влияет на их производство. Было показано, что на генерацию нейронов у грызунов влияют другие факторы

### Стимулируют

Физические упражнения

Антидепрессанты

Черника

### Блокируют

Алкоголь

Никотин



## ЧТО ДАЛЬШЕ?

Мы еще много не знаем о том, как именно научение влияет на выживание новых нейронов в гиппокампе. Прежде всего интересны молекулярные механизмы, лежащие в основе выбора задач, которые помогают сохранять новые клетки. Какие нейротрансмиттеры принимают участие в этих процессах? Какие белки-рецепторы? И в какой именно момент срабатывают эти механизмы? Помогает ли новым клеткам научение включиться в нейронные сети или лишь поддерживает те, которым уже удалось образовать связи? И, наконец, каким образом производимые зрелым мозгом нейроны участвуют в процессе получения знаний?

Подобные исследования проводятся на животных, но также хотелось бы больше узнать о нейрогенезе в человеческом мозге — как у здоровых индивидов, так и у людей с такими заболеваниями, как болезнь Альцгеймера.

Чтобы провести подобные исследования, необходимы способы неинвазивной фиксации рождения и смерти новых нейронов в мозге человека. Вооружившись такими методами, мы могли бы обратиться к интересным вопросам: например, как протекает нейрогенез в мозге здорового человека и человека с болезнью Альцгеймера. В конечном счете мы могли бы также выяснить, удастся ли повысить количество новых нейронов в гиппокампе при помощи генотерапии и помогут ли им закрепиться на новом месте специальные упражнения для мозга

ционально значимые события. Например, животные, которые подвергались неприятной стимуляции в одной из клеток, замирали, когда их помещали туда повторно. Такой тип эмоционального научения — контекстное обусловливание страха — тоже зависит от функционирования гиппокампа, но не вызывает труда у животных без новых клеток мозга.

Перечисленные виды научения оказались незатронутыми при введении крысам МАМ. Трудности у них возникали при установлении более сложных ассоциаций: например, всегда ли звук предшествует на полсекунды раздражению века. Поэтому мы предположили, что если новые клетки не необходимы для любых видов научения, то, возможно, они нужны лишь в определенных ситуациях, в которых требуются интеллектуальные усилия.

С точки зрения биологии такая специализация выглядит логичной: животное не полагается на производство и развитие поколений новых клеток в ситуациях, определяющих выживание здесь и сейчас. Поэтому дополнительные клетки, раз уж они созрели, используются для точной настройки или поддержки навыков принятия решений, которые уже сформированы. В психологических терминах эту функцию можно назвать «научение учению».

## А как насчет моего мозга?

Описанные выше исследования проводились на лабораторных животных, мышах или крысах. Что происходит с человеком, у которого гиппокамп не производит новые нейроны? К сожалению, современная медицина в избытке поставляет нам испытываемых для исследований, например раковых больных, проходящих химиотерапию. Как и МАМ, химиотерапия снижает способность клеток к делению, без чего не появится новых нейронов. Вряд ли можно считать совпадением, что пациенты, проходящие химиотерапию, жалуются на сложности в обучении и запоминании. В разговорной речи даже появилось слово, описывающее этот синдром: «химиомозги» (*chemobrain*).

Во многом наблюдение за такими пациентами дает картину, схожую с поведением крыс, получавших МАМ. Как и грызуны, люди, проходящие химиотерапию, справляются с большинством задач. Они одеваются, ходят на работу, готовят пищу, общаются с друзьями и близкими, так или иначе продолжают жить своей жизнью. Это логично. В лабораторных условиях и у животных также не наблюдалось сильного снижения когнитивных функций, которое бы охватывало все сферы жизни. Поэтому у подобных пациентов логичнее ожидать селективных нарушений в более сложных типах научения, а именно, в тех вещах, которые многим людям даются нелегко, например в многозадачности, позволяющей усваивать новую информацию при работе сразу с несколькими проектами.

Чтобы исследовать роль нейрогенеза в научении человека, необходимо разработать новые неинвазивные методы, которые позволят определять новые нейроны в живом мозге, а также обратимо препятствовать делению и созреванию клеток в период обучения. Первые уже находятся в разработке, появления же вторых, видимо, придется подождать некоторое время.

Представим на мгновение, что постоянная поддержка новых нейронов помогает мозгу сохранять интеллектуальную гибкость. Можно ли в таком случае использовать нейрогенез для предотвращения и лечения заболеваний, приводящих к снижению когнитивных функций?

Рассмотрим болезнь Альцгеймера, при которой дегенерация нейронов гиппокампа приводит к прогрессирующей потере памяти и снижению способности к обучению. У таких пациентов мозг продолжает производить новые клетки, однако похоже, что многие из них не доживают до зрелости. Возможно, у пациентов нарушаются процессы нейрогенеза и созревания нервных клеток, или же новые клетки не выживают, поскольку болезнь не позволяет мозгу учиться.

Последние исследования вселяют надежду — по крайней мере если на-



чать воздействие на ранней стадии деменции. Как было сказано выше, исследования на здоровых животных и людях показывают, что такие простые действия, как, например, аэробные упражнения, могут стимулировать производство новых нейронов. Кроме того, эффективными модуляторами нейрогенеза оказались антидепрессанты. В 2007 г. было показано, что длительная терапия при помощи антидепрессантов улучшает самочувствие и жизнедеятельность пациентов с болезнью Альцгеймера. Возможно, такой эффект обусловлен тем, что антидепрессанты стимулируют производство новых нейронов и помогают им выжить.

В некоторых случаях пациентам может помочь интенсивное обучение.



**Говорят, старую собаку не обучить новым командам, и, конечно, взрослым людям научение чему-то принципиально новому дается тяжело. Но если мы хотим поддерживать наш мозг в хорошей форме, нам не повредит выучить еще один язык, освоить новый танец или сыграть в динамичную игру на видеоприставке. Более того, это даже полезно**

Недавно на круглом столе, посвященном болезни Альцгеймера и другим формам деменции, я читала доклад о наших результатах, полученных на животных. Медиков крайне заинтересовала идея, что усилия, вкладываемые в научение, помогают сохранять только что родившиеся клетки. Они рассказали, что не раз наблюдали, как такое напряжение приводило к улучшениям у их пациентов, и отметили, что у больных, которые полностью включаются в когнитивную деятельность, может замедлиться развитие столь разрушительных для разума заболеваний.

Часто можно услышать, что плохо надеяться, будто бы интеллектуальные нагрузки в сочетании с антидепрессантами или физическими

упражнениями могут полностью обратить вспять разрушение нервной ткани, вызванное такими тяжелыми заболеваниями, как болезнь Альцгеймера, когда мозг теряет больше клеток, чем может создать новых. Вероятно, это так. Однако подобные действия могут притормозить снижение когнитивных функций у людей, пораженных дегенеративными заболеваниями, а также, возможно, естественные изменения в мозге любого человека, которые происходят с возрастом.

Говорят, старую собаку не обучить новым командам, и, конечно, взрослым людям научение чему-то принципиально новому дается тяжело. Но если мы хотим поддерживать наш мозг в хорошей форме, нам не повре-

Чем более сложна когнитивная задача, тем больше новорожденных нейронов можно сохранить — если результаты исследований грызунов верны и для человека

дит выучить еще один язык, освоить новый танец или сыграть в динамичную игру на видеоприставке. Более того, это даже полезно.

Чем сложнее познавательная задача, тем больше новообращенных нейронов в мозге выживет, если, конечно, на нас распространяются результаты исследований, проведенных на грызунах. ■

Перевод: Т.Н. Лапшина

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Learning Enhances Adult Neurogenesis in the Hippocampal Formation. Elizabeth Gould, Anna Beylin, Patima Tanapat, Allison Reeves and Tracey J. Shors in *Nature Neuroscience*, Vol. 2, No. 3, pages 260–265; March 1999.
- Neurogenesis in the Adult is Involved in the Formation of Trace Memories. Tracey J. Shors, George Miesegae, Anna Beylin, Mingrui Zhao, Tracy Rydel and Elizabeth Gould in *Nature*, Vol. 410, pages 372–376; March 15, 2001.
- Neurogenesis, Learning and Associative Strength. Jaylyn Waddell and Tracey J. Shors in *European Journal of Neuroscience*, Vol. 27, No. 11, pages 3020–3028; June 2008.



Джеймс Хит, Марк Дэвис и Лерой Худ

# НАНОТЕХНОЛОГИИ и рак



Рассматривая человеческий организм как систему взаимосвязанных сетей и используя нанотехнологии для выявления возникающих в них повреждений, можно выработать совершенно новые подходы к поиску причин различных заболеваний, их лечению и даже предотвращению

Прежде чем отправляться в тренажерный зал или на вечеринку, где обычно бывает много сладостей и другой не слишком полезной еды, больные диабетом могут сделать экспресс-анализ крови с помощью миниатюрного устройства и принять меры, чтобы уровень сахара у них оставался в норме. Недорогой приборчик, позволяющий контролировать содержание глюкозы в крови в течение всего дня, сегодня не воспринимается как что-то необычное. Но вспомните, что было лет десять назад. Тогда больные диабетом находились в состоянии постоянного страха, опасаясь съесть что-нибудь лишнее, а чтобы сделать анализ крови, должны были идти к врачу. О постоянном мониторинге не было и речи.

Кардинальное улучшение качества жизни больных диабетом, которое стало возможным благодаря появлению новых технологий, наглядно иллюстрирует, какой может стать современная медицина: более надежной, персонифицированной, способной к точному прогнозированию. На самом деле многое в этом направлении уже сделано — в основном в связи с разработкой методов, позволяющих быстро получать и анализировать биологическую информацию.

Один из ключевых моментов — миниатюризация устройств и процедур. Уже сегодня для анализа бывает достаточно микроскопических объемов крови или нескольких клеток, взятых из пораженной ткани. Удивительные конструкции размером в несколько микро- и даже нанометров (миллиардные доли метра) чрезвычайно быстро «осматривают» огромное число биологических молекул, при этом в конечном счете каждый тест обходится всего в несколько центов. Такое уникальное сочетание цены и качества позволяет представить организм человека как динамическую систему

межмолекулярных взаимодействий и открывает новые пути к изучению различных патологий и их устранению. Измерения в рамках такого подхода интегрируются в компьютерные модели, которые дают возможность улавливать малейшие признаки отклонений от нормы. Когда подобный подход сочетается с новейшими нанотехнологическими методами терапии, лечение становится строго направленным, свободным от всяких побочных эффектов.

Мы уверены, что подобные принципы в конце концов распространятся на все области медицины, однако в онкологии уже известны примеры того, как с помощью нанотехнологических методов можно получать информацию, необходимую для применения системного подхода к заболеванию.

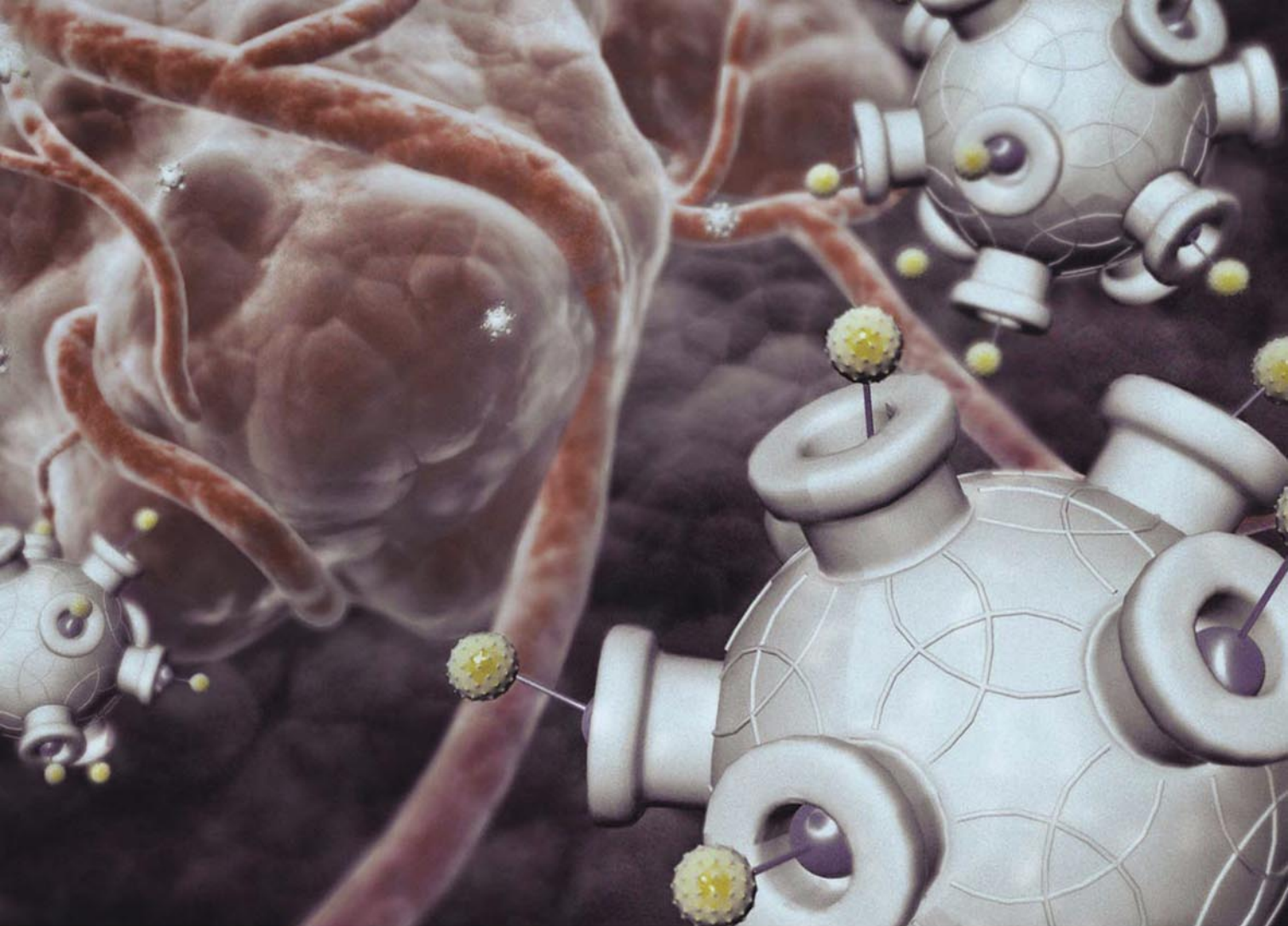
**Системная медицина**

Для того чтобы построить модель любой системы, нужно собрать огромное количество данных. Живой организм — это гигантское хранилище информации, которую можно представить в цифровом виде: провести анализы, систематизировать результаты, построить компьютерные модели. Основа основ — генетическая информация. Каждая клетка тела человека содержит полную копию его генома, состоящего из трех миллиардов азотистых оснований — мономер-

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- В рамках системного подхода тело человека представляется в виде сложной сети межмолекулярных взаимодействий. На их основе строится компьютерная модель, позволяющая диагностировать такие заболевания, как рак, который проявляется нарушениями в сети, подпадающими регистрации.
- Миниатюризация всех процедур и инструментов дает возможность проводить измерения на молекулярном уровне, что совершенно необходимо для применения системного подхода в медицине.
- Нанороботы, доставляющие лекарственные вещества точно к месту назначения, обеспечивают уничтожение только раковых клеток, здоровые ткани при этом не страдают.





ных единиц молекулы ДНК. Из этих «букв» генетического алфавита построено примерно 25 тыс. генов; записанные в них инструкции задают правила, по которым работают клетки, ткани и организм в целом. Гены копируются в клетках с образованием более мобильных молекул матричной РНК (данный процесс называется транскрипцией). Такие молекулы служат матрицами для синтеза полимерных цепочек другого рода; они состоят из аминокислот и называются полипептидами. Цепочки самостоятельно укладываются в функциональные белки — трехмерные структуры, которые выполняют в организме множество функций и обеспечивают само его существование.

В любой биологической системе, и наш организм — не исключение, информация передается из одного места в другое, перерабатывается, интегрируется и, в конце концов, трансформируется в сети взаимодействий белков друг с другом и с другими биологическими моле-

кулами. В рамках такого представления болезнь — следствие некоего нарушения запрограммированной передачи информации в сети. Нарушение может быть результатом изъяна в самой системе, например случайного повреждения ДНК, которое приводит к искажению смысла записанных в ней инструкций, или изменения среды, скажем, повышения интенсивности УФ-излучения, тоже отрицательно сказывающегося на структуре ДНК. Исходное нарушение передается дальше, возникает обратная связь, информационная картина искажается, и вслед за этим автоматически возникает патология (илл. на стр. 50).

Построить адекватную компьютерную модель биологической сети можно только методом последовательных приближений. А чтобы уловить момент перехода организма от нормы к патологии, потребуется интеграция миллионов данных о концентрации разных мРНК и белков. И, тем не менее, если мы дей-

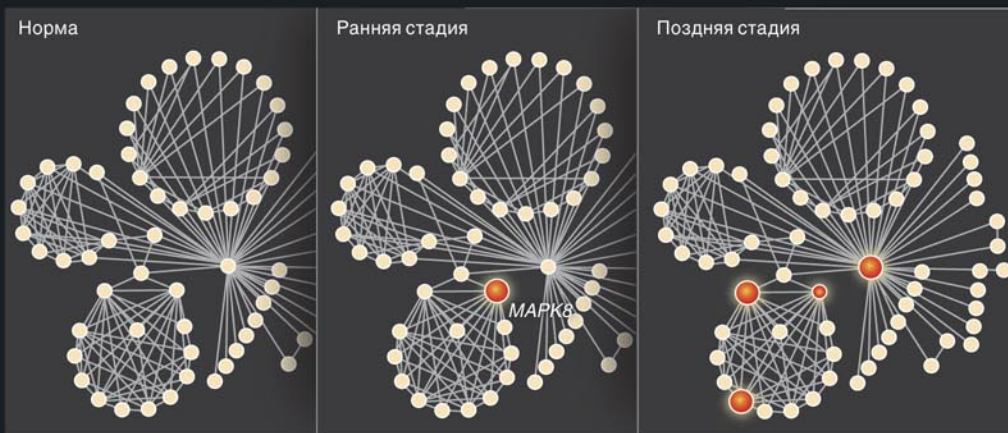
Наночастицы, несущие лекарственные вещества, снабжены белковыми «отмычками», которые открывают доступ к раковым клеткам

ствительно хотим коренных перемен в понимании причин перехода от здоровья к болезни, то без построения точных моделей, способных предсказывать последствия тех или иных нарушений, не обойтись.

В течение последних десятилетий онкологические заболевания стали предметом самых серьезных исследований, и, тем не менее, характеризую опухоль, специалисты по-прежнему оперируют такими понятиями, как ее размер, локализация, инвазивность, наличие или отсутствие метастазов. В рамках такого описания действует закономерность: чем дальше зашел процесс, тем более удручающим выглядит прогноз. Однако такая общепринятая схема часто дает сбой. Пациенты с идентичными формами рака, получающие оди-



Клетки предстательной железы содержат наборы белков (кружки кремового цвета), которые взаимодействуют друг с другом (прямые линии) с образованием локальных сетей. Изменение концентрации определенных белков в клетке связано с переходом организма от нормы к патологии. На ранних стадиях развития рака предстательной железы в клетках повышается уровень белка *MARK8*, который регулирует подвижность клеток. На поздних стадиях уровень другого белка, *SDC1*, в 16 раз выше, чем на ранних. Относительное содержание этих двух белков часто используется как диагностический признак заболевания, а также как показатель его прогрессирования



наковое лечение, нередко реагируют на него совершенно по-разному — у одних наступает глубокая ремиссия, у других не наблюдается никакого эффекта.

Определение концентрации мРНК и белков в многочисленных биоптатах показало несостоятельность традиционного подхода к классификации опухолей. Так, у двух больных с одинаковыми, как считалось, типами рака обнаружили кардинальные различия на сетевом уровне. Результаты подобного анализа свидетельствуют о том, что многие онкологические заболевания, отнесенные к одному типу, на самом деле представляют собой существенно различающиеся его варианты.

Злокачественная опухоль предстательной железы в 80% случаев растет так медленно, что больные умирают не от рака, а по совершенно другим причинам. Однако в остальных 20% опухоль прорастает в соседние ткани, а иногда дает метастазы в отдаленные органы, вследствие чего человек погибает. Сейчас мы пытаемся соотнести сетевые нарушения в опухолевых клетках с эти-

ми двумя типами опухолей предстательной железы, чтобы выработать дифференцированную трактовку лечения. Вероятно, в 80% случаев можно вообще обойтись без хирургического вмешательства, лучевой или химиотерапии, приносящей больному столько страданий.

Мы также проводим сетевой анализ более агрессивных форм опухолей, составляющих те самые 20%; возможно, здесь нужны совсем другие схемы лечения. Сопоставляя сетевые характеристики при раке простаты на ранней и поздней стадиях, мы выявили некий белок, циркулирующий в крови, который может служить надежным маркером метастазирующей опухоли. Подобное разграничение одного заболевания на подтипы с помощью сетевого анализа могло бы стать хорошим подспорьем при подборе индивидуальной схемы лечения.

### Выявление патологии

Системный анализ можно использовать не только для разграничения стадий или форм уже диагностированных заболеваний, но и для вы-

явления скрытых патологий. Кровь омывает все органы и ткани, унося с собой вырабатываемые ими белки и другие молекулы. Поэтому анализ крови дает достаточно полное представление о том, что происходит в организме. Любой дисбаланс в содержании конкретных белков или мРНК служит сигналом о наличии болезни и позволяет судить о ее природе.

Наша группа занимается сейчас тем, что пытается на основе измерения специфических показателей крови определить состояние всего организма. Мы проводим сравнительный анализ количеств разных мРНК, синтезируемых 50 органами, и уже установили, что каждый из них содержит до 50 типов органоспецифичных мРНК. Некоторые из них кодируют органоспецифичные белки, секретлируемые в кровь, и содержание каждого отражает работу сетей, контролирующих их синтез в том или ином органе. Когда в сетях возникают возмущения, связанные с какой-либо патологией, содержание соответствующих белков изменяется. Такие перемены позволяют судить о характере патологии, поскольку каждая из них проявляется на сетевом уровне по-своему.

Оценка содержания до 25% белков из каждого органоспецифичного набора создала бы предпосылки к выявлению с помощью компьютерного анализа всех возмущений в сетях, следовательно — к идентификации всех патологий. Помимо ранней диагностики — что особенно важно для онкологических заболеваний — такой подход обеспечивал бы дифференциацию болезни по подтипам и отслеживание действия терапии.

### ОБ АВТОРАХ

**Джеймс Хит** (James R. Heath) — глава Онкологического центра наносистемной биологии, профессор химии Калифорнийского технологического института. Он занимается созданием материалов для нанотехнологий, а также разработкой устройств для диагностики и лечения рака. **Марк Дэвис** (Mark E. Davis), профессор этого же университета, работает над созданием новых материалов для экспериментальной медицины, основатель двух компаний, *Insert Therapeutics* и *Calano Pharmaceuticals*, занимающихся конструированием наночастиц для адресной доставки лекарственных веществ. **Лерой Худ** (Leroy Hood) — ректор Института системной биологии в Сиэтле, который он организовал после разработки новейших методов секвенирования ДНК и синтеза белков и появления многочисленных фирм, в том числе *Amgen*, *Applied Biosystems*, *Systemix*.



Ценность нашей методики можно проиллюстрировать на примере диагностики прионного заболевания в опытах на мышах.

Мы ввели животным прионы, что вызвало дегенеративное заболевание головного мозга, сходное с коровьим бешенством, а затем провели сравнительный анализ проб мозговой ткани у контрольных и инфицированных мышей на содержание всех мРНК. Замеры проводились десять раз по ходу развития заболевания. В результате мы идентифицировали 300 видоизмененных мРНК. Примерно 200 из них входили в состав четырех биологических сетей, что позволило объяснить почти все известные особенности болезни, а 100 других были причастны к неизвестным ранее проявлениям. Анализ характера нарушений в биологических сетях выявил четыре белка, циркулирующих в крови, которые сигнализировали о начале прионного заболевания еще до появления каких-либо его симптомов

и могли использоваться в качестве специфических маркеров.

В ходе исследований мы выполнили 30 млн измерений и создали несколько программ для их анализа, интеграции и построения соответствующих моделей. Их трансформация в значимые с медицинской точки зрения инструменты была бы невозможна без применения высокочувствительных, скоростных и недорогих методов секвенирования ДНК и определения концентрации мРНК и белков.

### Измерения на молекулярном уровне

Подмечено, что технологический прогресс в секвенировании ДНК подчиняется тем же закономерностям (закону Мура), что и развитие микропроцессорных технологий, для которых в течение последних десятилетий число функциональных элементов, размещаемых на одном чипе на одну денежную единицу, удваивается каждые 18 месяцев.

Однако скорость работы секвенаторов последних поколений увеличивается гораздо быстрее, чем это следует из закона Мура для компьютерных технологий. Так, первый геном человека был расшифрован за четыре года, проект обошелся в \$ 300 млн. Мы полагаем, что в ближайшие пять-десять лет геном человека можно будет секвенировать в течение одного дня и стоить это будет не более \$1 тыс. — в 300 тыс. раз меньше, чем прежде.

Сегодня определение концентрации в крови пациента белка — маркера того или иного онкологического заболевания обходится медицинскому учреждению в \$50. Для реализации системного подхода придется проводить множество таких измерений, что требует существенного снижения их стоимости. Время измерений — это тоже деньги. Анализ крови занимает от нескольких часов до нескольких дней в зависимости от того, сколько показателей нужно определить и сколько этапов

## ВСЕГО НЕСКОЛЬКО ЦЕНТОВ ЗА ОДИН БЕЛОК

Нет ничего более ценного для системного анализа, чем информация, поэтому диагностические тесты должны быть простыми, надежными и недорогими — необходимо, чтобы каждое измерение (а тест включает определение содержания в крови множества биомолекул) обходилось в несколько центов. Миниатюризация всех процедур и инструментов позволила нам создать подобие чипа, который измеряет концентрацию целого набора белков — маркеров раковых заболеваний. Для анализа достаточно одной капли крови, длится он десять минут и обходится в пять-десять центов в расчете на один белок



Кровь омывает каждый орган и уносит с собой вырабатываемые им вещества. Отклонение их концентрации от нормы свидетельствует о наличии заболевания.

Систематические измерения уровня белков и других биомолекул позволяют судить о природе патологии



«Пробный штрихкод» из 12 полосок для выявления белков, ассоциированных с воспалением предстательной железы и отклонениями в ее функционировании. В крови больных, страдающих раком этого органа, повышена концентрация специфического антигена (в центре штрихкода) и гамма-интерферона (справа)



Цельная кровь

Плазма

Флуоресцентная метка

Маркеры

Белок

Антитело-детектор

Антитело, связанное с чипом

Белки

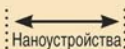
Перемещаясь по узкому каналу, белки встречают на своем пути ряд «барьеров», каждый из которых состоит из антител, специфичных в отношении белков только одного типа. Флуоресцентные метки, прошедшие через «пробный штрихкод», присоединяются только к тем антителам, которые связаны с белками

Микроскопические каналы внутри чипа отделяют плазму от форменных элементов. Последние остаются в широком канале, а плазма вместе с suspendированными в ней белками проходит в узкие



**ПРИМЕНЕНИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В МЕДИЦИНЕ**

В нанометровом масштабе ( $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$ ) взаимодействие между веществом и клетками строго специфично. Размер устройств, уже сейчас используемых в экспериментальных или медицинских целях, лежит в диапазоне от 10 (характерные размеры антител) до 100 (вирусные частицы) нм. Эти устройства и наночастицы способны идентифицировать биомолекулы (белки, ДНК), усилить изображение при визуальных наблюдениях, доставлять лекарственные вещества строго к месту назначения



		0,01 нанометра	1	10	100	1000	10 000	100 000
		Молекула глюкозы	Антитело	Вирусная частица	Бактерия	Эритроцит	Человеческий волос (диаметр)	
ТЕХНОЛОГИЯ	ПРИМЕНЕНИЕ	ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ						
<b>НАНОПРОВОДНИКИ</b> 	Индикация	Поперек канала, по которому проходит образец, натянуты проводники диаметром 10–20 нм. На каждом из них «сидят» зонды — антитела или молекулы ДНК. Когда белок встречается на своем пути соответствующее ему антитело, он связывается с ним. Это приводит к изменению электропроводности проводника, что немедленно регистрируется						
<b>ГИБКИЕ ПЛАСТИНЫ</b> — ДНК-зонд 	Индикация	Молекулярные зонды (например, одноцепочечные ДНК) можно разместить на гибких пластинах толщиной несколько нанометров. Когда с таким зондом свяжется комплементарная цепь ДНК, пластина слегка прогнется. Этот момент можно зафиксировать невооруженным глазом или по изменению электропроводности пластины						
<b>СВЕЯЩИЕСЯ ТОЧКИ</b> 	Визуализация	Нанокристаллы из неорганических элементов, например кадмия, покрытые латексом или металлической пленкой, при освещении флуоресцируют в определенном диапазоне длин волн, зависящем от их состава. Если «нагрузить» частички кристалла антителами, то они будут связываться с соответствующими антигенами в определенных тканях, например опухолевых, и их можно будет увидеть благодаря флуоресценции						
<b>НАНОСФЕРЫ</b> 	Адресная доставка лекарственных веществ, визуализация	Жесткие наносферы из диоксида кремния, иногда покрытые тонким слоем золота, циркулируют в крови, не проникая в здоровые ткани и аккумулируясь в местах расположения опухолей. К ним присоединяют молекулы лекарственных веществ или, дождавись их массового скопления в опухолевой ткани, нагревают ее. Наносферы поглощают тепло, затем отдают его опухолевым клеткам, и те разрушаются от теплового шока. В зависимости от размера наносферы могут поглощать или рассеивать свет, что помогает визуализировать опухоль						
<b>НАНОЧАСТИЦЫ</b> 	Адресная доставка лекарственных веществ, высвобождение их в нужное время	Внутри частиц, изготовленных из различных материалов, помещают лекарственные вещества, которые высвобождаются в нужном месте в нужное время. Частицы заключают в липидную оболочку, благодаря чему они легко проходят сквозь стенки кровеносных сосудов, питающих опухоль, и медленно высвобождают содержимое в ткань. Новейшие варианты наночастиц содержат наружные элементы, например антитела, связывающиеся со специфическими белками опухолей, и молекулы, предотвращающие их взаимодействие со здоровыми тканями						

потребуется разделение компонентов — плазмы, белков и других молекул.

Повысить точность и скорость измерений помогает миниатюризация процедур. Микро- и нанотехнологии уже доказали свою ценность при сборе больших объемов данных, необходимых для использования системного подхода в биологии. Что же касается медицины, то здесь обязательное условие его применения — еще и существенное удешевление измерений: определение концентрации белка должно стоить не десятки долларов, а несколько центов.

Двое из нас (Хит и Худ) сконструировали нечто напоминающее чип шириной четыре сантиметра, с помощью которого можно измерять концентрации белков в капле крови (*врезка на стр. 51*). Он изготовлен из дешевых материалов — стекла или пластика. Разработанное нами устройство отбирает примерно два микролитра крови, отделяет форменные элементы от плазмы и измеряет концентрацию в ней более десяти белков. Процедура занимает несколько минут. Предполагаемая стоимость — от пяти до десяти центов в расчете на один белок, но когда устройство будет доработано, цена упадет до уровня, приемлемого для системного подхода.

Создание чипа, способного измерять концентрации сотен тысяч белков, потребует времени, однако мы надеемся, что совершенствование манипуляторов, работающих с микроколичествами жидкостей, и достижения измерительной техники быстро заполнят пробел между возможностями и требованиями, которые предъявляет персонализированная медицина. Наши коллеги из Калифорнийского технологического института Стивен Куэйк (Stephen R. Quake) и Аксель Шерер (Axel Scherer) разработали микросистему, в которой химические реагенты, биомолекулы и биологические образцы направляются в одну из большого числа ячеек в чипе. Ячейки изолированы друг от друга и в каждой из них проводятся свои измерения. Благодаря такой конструкции вместо одной «лаборатории в чипе» получается сразу

JEN CHRISTIANSEN (diagrams); COURTESY OF ANDREW SMITH AND SHUNING NIE Emory University (mouse)



несколько, что существенно удешевляет измерения.

Миниатюризация — важный шаг как в лечении заболеваний, так и в их предотвращении. Идентификация возмущений в сетях помогает найти новые мишени для новых лекарственных препаратов и восстановить динамику всей системы. Подводя итог, можно сказать, что системный подход позволяет повысить эффективность уже имеющихся лекарственных средств, давая возможность подбора их оптимальной комбинации в каждом отдельном случае. Кроме того, используя нанотехнологии, можно во много раз снизить дозу лекарственных веществ при лечении рака.

### Самонаводящиеся миниатюрные системы

Наночастицы, нагруженные лекарственными веществами, гораздо меньше по своим размерам многих привычных нам таблеток и пилюль, но гораздо крупнее отдельных молекул. Их применение позволяет контролировать концентрацию лекарственных веществ в организме с беспрецедентной точностью. Наночастицы могут быть сконструированы из молекул самых разных веществ и содержать множество других агентов, например интерферирующую РНК (iРНК), которая способна блокировать работу целевого гена.

Весь этот «груз» можно упаковать в синтетическую оболочку из липидоподобных молекул и добавить к ней антитела и другие соединения, обеспечивающие связывание со специфическими клеточными белками. Благодаря этому наночастицы приобретают способность выполнять самые различные функции, действуя в строго определенном месте в теле пациента.

Одна из сложнейших проблем онкологии заключается в адресной доставке лекарственных веществ без повреждения здоровых тканей. Один только размер нанопрепаратов обеспечивает им огромные преимущества перед обычными формами. Наночастицы диаметром менее 10 нм, подобно низкомолекулярным веществам,

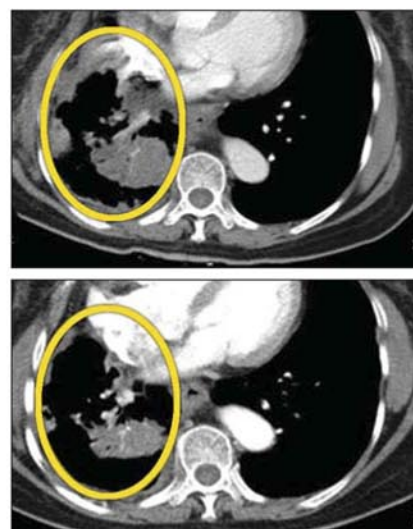
быстро выводятся с мочой; в отличие от этого 100-нанометровые частицы надолго задерживаются в опухоли и при этом не захватываются большинством здоровых тканей, поскольку не могут проникнуть через стенки их кровеносных сосудов. У опухолей сосуды имеют аномально большие поры, и наночастицы легко преодолевают барьер. Благодаря этому они скапливаются в опухолях и почти не затрагивают другие ткани, что минимизирует побочные эффекты химиотерапевтических средств.

Даже если обычное лекарственное вещество проникнет в опухоль, клеточные белковые насосы могут вытолкнуть его еще до того, как оно успеет оказать свое действие. Такой эффект лежит в основе многих видов лекарственной устойчивости опухолевых клеток. Наночастицы попадают в клетку путем эндоцитоза, естественного процесса, при котором инородный объект обволакивается клеточной мембраной и втягивается внутрь клетки. Никакие насосы в данной ситуации не действуют (илл. на стр. 54).

Некоторые известные противоопухолевые препараты уже изготавливают в виде наночастиц. Так, доксорубин заключают в липидную оболочку и применяют для лечения рака яичников и множественной миеломы. В такой форме он почти не оказывает вредного воздействия на сердце, хотя иногда отмечается другой побочный эффект в виде поражения кожи.

## Применение нанотехнологий позволяет существенно уменьшить дозу противораковых препаратов

Новейшие конструкции наночастиц, например IT-101, которые уже проходят клинические испытания на безопасность, более сложны и выполняют разные функции. IT-101 — наночастицы диаметром 30 нм — изготовлены из полимерного материала и содержат включения низкомолекулярного лекарственного вещества камптотецина, близкого аналога



### ТОЧНО В ЦЕЛЬ

Наночастицы IT-101, заполненные камптотецином, циркулируют в крови и аккумулируются в опухоли. Клинические испытания на безопасность показали также эффективность терапии — у некоторых испытуемых с далеко зашедшим процессом наблюдалось улучшение. На КТ-снимках видно, что крупная опухоль в легких (серая масса внутри овала) стала гораздо меньше после шестимесячной IT-101-терапии

двух уже одобренных FDA препаратов иринотекана и топотекана. Они остаются в кровотоке более 40 ч, в то время как камптотецин как таковой — только несколько минут. За это время IT-101 успевает отыскать опухоль и скопиться в ней. Частицы проникают в клетки и медленно высвобождают действующее вещество, что

усиливает терапевтический эффект. Остальные их компоненты разлагаются до отдельных полимерных молекул и, не причиняя никакого вреда организму, выводятся с мочой.

Во время клинических испытаний препарат применялся в дозах, при которых качество жизни больных не ухудшалось — они не теряли в весе, у них не было диареи и не

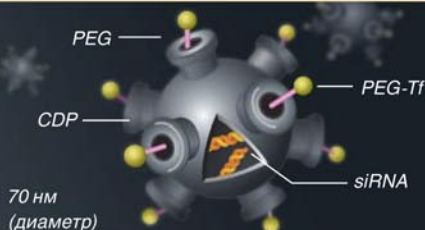


## АДРЕСНАЯ ДОСТАВКА

На примере экспериментов с наночастицами *CALAA-01* видно, какие преимущества может дать их применение в медицине. Известно, что наночастицы естественным путем накапливаются в опухолевых тканях. Но кроме того, их можно снабдить «поисковыми системами», нацеленными на один или более рецепторов, чаще всего встречающихся на поверхности раковых клеток. Способ проникновения частиц в клетки таков, что они не выталкиваются клеточными насосами

### УНИФИЦИРОВАННАЯ КОНСТРУКЦИЯ

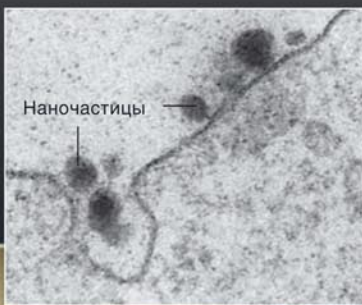
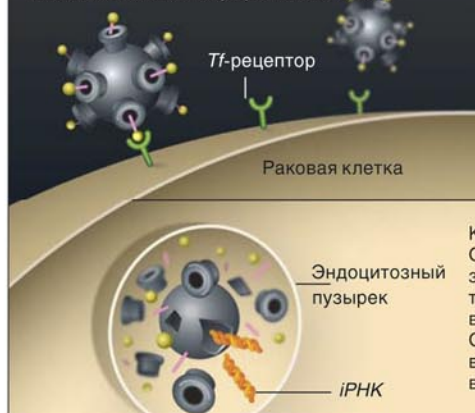
Частица изготовлена из биосовместимых материалов: циклодекстрина, содержащего полимера (*CDP*) и полиэтиленгликоля (*PEG*). Полиэтиленгликолевые «выросты» несут молекулы белка трансферрина (*Tf*). Внутри частицы содержится до 2000 молекул *iРНК*



**ПАССИВНЫЙ ПРОЦЕСС**  
Попав в кровоток больного, частицы свободно в нем циркулируют. Они не могут пройти сквозь стенки обычных кровеносных сосудов, зато легко проникают в сосуды, снабжающие кровью опухоль, поскольку те имеют необычайно большие поры. Благодаря разнице в проницаемости сосудов частицы накапливаются в опухолевой ткани

### АКТИВНЫЙ ПРОЦЕСС

Трансферриновые рецепторы, располагающиеся в большом количестве на поверхности раковой клетки, связывают трансферрин, который несет наночастицу. Клетка поглощает присоединившуюся к ней наночастицу путем эндоцитоза



### КОНТРОЛИРУЕМОЕ ВЫСВОБОЖДЕНИЕ

Оказавшись внутри эндоцитозного пузырька, частица разрушается под действием среды с низким *pH*, содержащиеся в ней молекулы *iРНК* выходят наружу. Они попадают в клетку и блокируют целевые гены, которые кодируют жизненно важные для нее белки

выпадали волосы. Несмотря на то что цель испытания в фазе I — проверка препарата на безопасность, уже сейчас можно сказать, что он будет достаточно эффективен (илл. на стр. 53). Это обнадеживает, поскольку для испытаний отбирают больных, которые прошли несколько курсов стандартной химиотерапии, не оказавшей желаемого эффекта.

По завершении шестимесячных испытаний некоторые пациенты продолжили лечение. Среди них были больные, страдающие раком легких в далеко зашедшей стадии и раком поджелудочной железы. Продолжительность их жизни увеличилась на год и более по сравнению с таковой у тех, кто прошел курс обычной химиотерапии.

Сейчас планируется перейти к фазе II клинических испытаний — на эффективность. Они будут проводиться на женщинах, страдающих раком яичников и прошедших стандартное лечение. *IT-101* предполагается уже сегодня использовать как поддерживающее средство, возможно, способное остановить прогрессирование заболевания. Результаты тестирования *IT-101* и других нанопрепаратов показывают, какое мощное оружие против рака получат вскоре клиницисты. Нанопрепараты следующего поколения будут еще более сложными, эффективными и специфичными, что приблизит нас к полноценному применению системного подхода к лечению онкологических больных.

В 2008 г. фирма *Calando Pharmaceuticals* в Пасадене, штат Калифорния, приступила к клиническим испытаниям сконструированной одним из авторов (Дэвисом) системы адресной доставки *iРНК*. В ней используются наночастицы, покрытые белковыми молекулами, которые связываются со специфичными рецепторами на поверхности раковых клеток. Проникнув в клетку, частицы высвобождают *iРНК*, которые связываются с целевыми генами и блокируют синтез кодируемых ими белков.

И все же нанотерапия в том виде, как мы о ней здесь говорили, — это только начало. Будущее за терапевтическими системами, содержащими целый набор лекарственных веществ, каждое из которых высвобождается со своей скоростью. Предположим, что нужно предотвратить синтез белка, опосредующего устойчивость к данному препарату. В этом случае из наночастицы прежде всего должны высвободиться молекулы *iРНК*, которые блокируют кодирующий данный белок ген, и только потом — сам препарат.

### Общая картина

Системный подход к заболеванию подразумевает, что анализ динамики сетей межмолекулярных взаимодействий и чисто механистический подход к описанию патологического процесса могут изменить всю ме-



дицинскую практику — кардинально улучшить диагностику, использовать новые подходы к лечению и принимать превентивные меры. Все это потребует разработки принципиально новых технологий, в том числе основанных на тестировании микроколичеств образцов, миниатюризации приборов и инструментов, использовании наноконструкций, а также широкого применения компьютерных методов обработки большого объема данных.

В ближайшие 10–20 лет персонализированная медицина будет развиваться в двух основных направлениях. Секвенирование геномов пациентов позволит точнее прогнозировать возможные изменения в состоянии их здоровья, а регулярные высокоточные измерения концентрации в крови специфических белков — следить за такими изменениями.

Превентивная медицина начинается с идентификации белков, отвечающих за возмущения сети. Далее сеть приводят в нормальное состояние, назначают профилактические процедуры и в конечном счете предотвращают заболевание. Например, если женщина с повышенным риском развития рака яичников с 30 лет принимает препараты, специально созданные для устранения источника риска на молекулярном уровне, то вероятность заболевания снижается с 40% до 2%.

Будучи осведомленным о возможных угрозах своему здоровью, пациент сможет более активно участвовать в принятии решений относительно образа жизни и превентивных мер. Так, больные диабетом уже сегодня могут в любой момент получать экспресс-информацию об уровне сахара в крови и что-то менять в своей повседневной жизни.

Все сказанное выше должно самым серьезным образом отразиться на системе здравоохранения. Так, фармацевтическим компаниям придется изменить свои бизнес-планы и переключиться на создание недорогих эффективных препаратов вместо нынешних дорогостоящих

## НАНОТЕРАПИЯ

Наночастицы, сконструированные специально для борьбы с раком, содержат «готовые к употреблению» лекарственные средства (например, доксорубин, заключенный в липосому) или представляют собой различные комбинации полимерных материалов и лекарственных веществ — смеси или химические соединения, сформированные в наночастицы (композиты, конъюгаты, мицеллы и т.д.). Наночастицы последнего поколения обладают свойствами, облегчающими их проникновение в раковые клетки

ТИП ЧАСТИЦ	СТАДИЯ РАЗРАБОТКИ	ПРИМЕРЫ
Липосомы	Одобрено FDA	<i>DaunoXome, Doxil</i>
Частицы на основе альбумина	Одобрено FDA	<i>Abraxane</i>
Полимерные мицеллы	Клинические испытания	<i>Genexol-PM, SP1049C, NK911, NK012, NK105, NC-6004</i>
Конъюгаты между полимерными материалами и лекарственными веществами	Клинические испытания	<i>XYOTAX(CT-2103), CT-2106, IT-101, AP5280, AP5346, FCE28068(PK1), FCE28069(PK2), PNU166148, PNU166945, MAG-CPT, DE-310, Pegamotecan, NKTR-102, EZN-2208</i>
Опухольеспецифические липосомы	Клинические испытания	<i>MCC-465, MBP-426, SGT-53</i>
Опухольеспецифические частицы на полимерной основе	Клинические испытания	<i>FCE28069 (PK2), CALAA-01</i>
Твердые частицы из неорганических материалов, металлические частицы	Клинические (частицы золота) и доклинические испытания	Углеродные нанотрубки, частицы из диоксида кремния, частицы золота ( <i>CYT-6091</i> )
Дендример	Доклинические испытания	Полиамидамин (PAMAM)

и зачастую не удовлетворяющих предъявляемым к ним требованиям. Для того чтобы иметь возможность применять новые технологии, медицина должна будет научиться извлекать нужную информацию из массива данных о единичных молекулах, единичных клетках или отдельных пациентах, т.е. ей придется пройти тот путь, по которому следовали информационные технологии и средства связи.

Что касается рака, то перспектива на ближайшие 10 лет такова. В-первых, широкое развитие пресимптоматической диагностики, основанной на результатах анализа крови на молекулярном уровне; во-вторых, разграничение опухолей отдельного органа (молочной железы, простаты) на подтипы и подбор индивидуальной схемы лечения для каждого случая; в-третьих, идентификация измененных под действием патологического процесса сетей и ускорение разработки недорогих и эффективных лекарственных

средств. Мы надеемся, что развитие новых подходов отразится на качестве жизни человечества — а значит, и нашей с вами. ■

Перевод: Н.Н. Шафрановская

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- NanoSystems Biology. James R. Heath et al. in *Molecular Imaging and Biology*, Vol. 5, No. 5, pages 312-325; September/October 2003.
- Nanotechnology and Cancer. James R. Heath and Mark E. Davis in *Annual Review of Medicine*, Vol. 59, pages 251-265; February 2008. (Впервые опубликовано онлайн 15 октября 2007 г.)
- Nanoparticle Therapeutics: An Emerging Treatment Modality for Cancer. Mark E. Davis et al. in *Nature Reviews Drug Discovery*, Vol. 7, No. 9, pages 771-782; September 2008.
- Integrated Barcode Chips for Rapid, Multiplexed Analysis of Proteins in Microliter Quantities of Blood. Rong Fan et al. in *Nature Biotechnology*. Онлайн-публикация от 16 ноября 2008 г.



Клифтон Барри и Майя Чеун

# НОВАЯ ТАКТИКА БОРЬБЫ с туберкулезом

Повсеместный рост числа больных, появление штаммов, резистентных к существующим противотуберкулезным препаратам, — все это заставляет биологов использовать новейшие стратегии поиска более эффективных лекарственных средств

**Б**убонная чума, оспа, полиомиелит, СПИД — каждое из этих заболеваний оставило свой след в истории человечества: сформировало социальную атмосферу в обществе, определило направление развития медицины на тот период и — самое страшное — унесло жизни многих людей. Но есть болезнь, которая сопровождает человека с незапамятных времен — туберкулез. Палеонтологические данные свидетельствуют о том, что жители Земли страдали им еще полмиллиона лет назад. Туберкулез не щадит никого — ни бедных, ни богатых, ни молодых, ни старых, ни тех,

кто относится к группе риска, ни людей, избегающих мест массового скопления людей и подозрительных городских кварталов. Достаточно, чтобы инфицированный закашлялся, чихнул или просто заговорил — и возбудитель может передаться окружающим.

Сегодня туберкулез по числу своих жертв, если говорить об инфекционных заболеваниях, уступает только СПИДу. От него ежегодно погибает почти 2 млн человек, большинство из которых можно было бы спасти. Проблема заключается в том, что многие больные не имеют доступа к медицинской помощи, а те, кто ле-

чится, часто не выдерживают длительного приема лекарств.

Кроме того, туберкулез эволюционирует быстрее, чем фармакология. В последние годы замечено увеличение числа случаев резистентности возбудителя к нескольким наиболее эффективным лекарствам. Что еще более тревожно — появляются штаммы, устойчивые ко всем препаратам первого ряда.

Туберкулез буквально косит людей, проживающих в странах третьего мира. На их долю приходится 90% случаев заболевания и 98% летальных исходов, если брать средние цифры по всему земному шару. Страшный недуг приносит неисчислимые страдания и огромные экономические убытки. 75% больных — люди в возрасте от 15 до 54 лет. По оценкам, ущерб, нанесенный беднейшим странам за ближайшие 10 лет, составит от \$1 до \$3 трлн. Туберкулез отвлекает ресурсы таких стран от решения других насущных проблем здравоохранения. Но жители развитых стран ошибаются, полагая, что эта беда их минует: сейчас заболеваемость там относительно

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Среди инфекционных заболеваний туберкулез по числу унесенных жизней уступает лишь СПИДу, а во многих регионах земного шара его распространенность принимает угрожающий характер.
- Возбудитель туберкулеза человека — представитель обширной группы микробактерий *Mycobacterium tuberculosis (Mtb)*. В большинстве случаев болезнь излечима, но в последнее время растет число штаммов, невосприимчивых к препаратам первого и второго ряда.
- Альтернативные подходы к созданию новых антибиотиков и вакцин пока не принесли ощутимых результатов.
- Большие надежды возлагаются на детальное исследование поведения *Mtb* в организме хозяина, чему способствуют успехи в изучении генетики бактерий. Ожидается, что результатом работ станет обнаружение неизвестных ранее уязвимых мест патогена.





невелика, но ситуация может резко измениться с увеличением доли высокоустойчивых штаммов.

Несмотря на столь мрачную картину, у нас есть основания надеяться на лучшее. Новейшие биомолекулярные технологии позволяют детально исследовать сложные взаимоотношения между возбудителями заболевания и организмом человека, что способствует разработке новых диагностических тестов.

### Кратковременный успех

Возбудитель туберкулеза, *Mycobacterium tuberculosis (Mtb)*, был открыт немецким физиологом Робертом Кохом в 1882 г. Он относится к обширной группе микобактерий и имеет форму палочки (иногда его так и называют — палочка Коха). Может находиться как в латентной, так и в активной форме. В первом случае иммунная система сдерживает размножение бактерий, не позволяя им разрушать ткани. Инфицированные не обнаруживают никаких симптомов и не заразны. Болезнь может не проявлять себя многие месяцы, годы и даже десятилетия. Активная

форма развивается только у 10% носителей инфекции. Особенно часто это случается с людьми с ослабленным иммунитетом, например с детьми или больными СПИДом, а также с теми, кто проходил курс химиотерапии.

У больных туберкулезом в активной форме иммунная система не справляется с инфекцией, бактерии быстро размножаются и распространяются по всему организму. Будучи аэробами, они предпочитают среду, богатую кислородом. Поэтому до 75% больных страдают легочной формой туберкулеза. По мере размножения бактерии разрушают легочную ткань. В это время появляются такие симптомы, как неуправляемый кашель, боль в груди, кровохарканье. Страдают и другие органы. Инфекция может распространиться почти на каждый из них. У детей возбудитель часто проникает в позвоночник, вызывая лихорадку и кому — состояние, известное как туберкулезный менингит. В отсутствие лечения больные погибают, в основном вследствие разрушения легочной ткани.

**ЧУМА НАШЕГО ВРЕМЕНИ:** ежегодно от туберкулеза умирают примерно 2 млн человек, а заражаются 8 млн. Этот индийский юноша инфицирован одним из высокорезистентных штаммов *Mtb*

Сто лет назад радикальных средств борьбы с туберкулезом не существовало. Для того чтобы предотвратить его распространение, больных изолировали — помещали в специальные медицинские учреждения. В те времена туберкулез свирепствовал даже там, где сегодня встречается относительно редко: в Северной Америке и Западной Европе. Наступление на заболевание началось в 1919–1921 г., когда французские иммунологи Альбер Кальмет (Albert Calmette) и Камиль Герен (Camille Guérin) создали противотуберкулезную вакцину на основе ослабленной культуры микобактерий бычьего типа (БЦЖ). Ее введение новорожденным с последующей ревакцинацией позволило резко снизить заболеваемость туберкулезом, прежде всего детей.

Через 22 года группа американских микробиологов под руководс-



ИСТОРИЯ ПРОТИВОСТОЯНИЯ

Туберкулез сопровождает человека с доисторических времен. На диаграмме представлены основные вехи на пути противостояния человечества этой болезни

500 тыс. лет назад

К этому времени относится начало инфицирования *Mtb* предков человека

1882

Роберт Кох идентифицировал возбудителя туберкулеза, *Mycobacterium tuberculosis*

1908

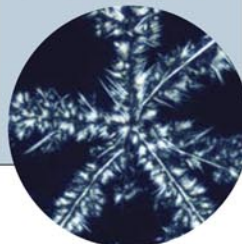
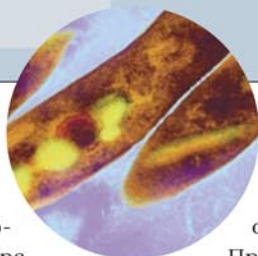
Альбер Кальмет и Камиль Герен создали противотуберкулезную вакцину (БЦЖ); как оказалось впоследствии, она надежно действовала только против тяжелых форм этого заболевания у детей

1921

Вакцина БЦЖ получает широкое распространение

1943

Группа ученых, возглавляемая Селманом Ваксманом, создала первый эффективный противотуберкулезный антибиотик — стрептомицин



твом Селмана Ваксмана (Selman Waksman) открыла стрептомицин. Он стал первым эффективным противотуберкулезным препаратом, хотя и обладал рядом побочных эффектов. Затем, в 1950-х гг., были синтезированы сразу несколько антибиотиков, лишенных недостатков, свойственных стрептомицину.

Эти достижения положили конец тактике изоляции больных туберкулезом и существенно снизили заболеваемость в странах, обладающих достаточными финансовыми ресурсами и инфраструктурой, необходимой для лечения больных. К началу 1970-х гг. у многих экспертов сложи-

лось мнение, что туберкулез в этих странах побежден. Но все оказалось не так просто.

Процессы глобализации, возможность путешествовать по всему миру способствовали распространению инфекции из эндемичных регионов, и сейчас мы стоим на пороге новой пандемии. Хуже всего приходится жителям беднейших стран, которые первыми столкнулись с другим смертельно опасным заболеванием — СПИДом.

Сегодня, спустя полвека после появления противотуберкулезных препаратов, по оценкам Всемирной организации здравоохранения, палочкой Коха инфицировано более трети населения земного шара — примерно 2 млрд человек. У 8 млн из числа носителей патогена в течение года развивается туберкулез в активной форме, а каждый инфицированный заразит за это время еще 10–15 человек.

Картина становится еще более удручающей, если учесть рост заболеваемости СПИДом. У ВИЧ-инфицированных переход из латентной формы в активную происходит в 30–50 раз чаще, чем у ВИЧ-негативных пациентов, поскольку СПИД выводит из строя иммунную систему. Туберкулез как причина смерти занимает первое место среди больных СПИДом, унося жизни каждого из трех в странах южнее Сахары, где уровень здравоохранения особенно низок. Даже в тех случаях, когда ВИЧ-позитивные больные туберкулезом хорошо реагируют на противотуберкулезную терапию, состояние их здоровья ухудшается, поскольку чреватое осложнени-

ями взаимодействие между препаратами против двух инфекций часто заставляет временно отказаться от противоретровирусной терапии, пока ситуация с туберкулезом не будет взята под контроль.

Новые вызовы

Пожалуй, наибольшие опасения вызывает рост числа штаммов, устойчивых к антибиотикам. Для того чтобы проиллюстрировать, как может возникнуть подобная резистентность, рассмотрим обычную практику борьбы с туберкулезом. Схема, разработанная еще в 1960-е гг., предусматривает прием четырех препаратов первого ряда, созданных в 1950-х и 1960-х гг.: изониазида, этамбутола, пипразинамида и рифампина. За весь курс пациент должен принять 130 доз препаратов, лучше всего — под наблюдением врача. Такая комбинация крайне эффективна против туберкулеза в активной форме, но только если весь курс длительностью до девяти месяцев не прерывается.

Резистентные штаммы появляются, когда пациенты не следуют назначенной схеме. Перерывы в лечении создают благоприятные условия для размножения нечувствительных к терапии штаммов, которые передаются окружающим. (По этой причине некоторые специалисты полагают, что лучше уж вовсе не лечиться от туберкулеза, чем лечиться не до конца.)

По оценкам ВОЗ, примерно 5% из 9 млн ежегодно инфицируемых несут штаммы, устойчивые к двум

ЗНАМЕНИТОСТИ — ЖЕРТВЫ ТУБЕРКУЛЕЗА

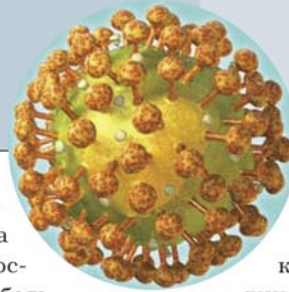
Туберкулез унес жизни многих блистательных писателей, композиторов, политических деятелей. Вот лишь немногие из них:

- Все три сестры Бронте
- Антон Чехов
- Фредерик Шопен**
- Джон Китс
- Людвик XIII, король Франции**
- Мольер
- Джордж Оруэлл**
- Кардинал Ришелье
- Жан-Жак Руссо
- Эрвин Шредингер
- Генри Дэвид Торо





1960е	1970е	1981	1998	2005	2006
Принята ко всеобщему применению схема лечения туберкулеза, действующая и сегодня: шести-девятимесячный курс приема четырех антибиотиков	Получает распространение точка зрения, согласно которой с туберкулезом практически покончено	Идентифицирован вирус иммунодефицита человека (ВИЧ), заражение которым делает человека беззащитным перед любой инфекцией, в том числе и туберкулезной	Определена нуклеотидная последовательность ДНК <i>Mtb</i>	FDA одобрила новый диагностический тест на туберкулез	Вспышка туберкулеза, вызванного высокорезистентным штаммом <i>Mtb</i> , в провинции Квазулу-Наталь, ЮАР



чаще всего применяемым препаратам первого ряда: изониазиду и рифампину. В большинстве случаев эти так называемые мультирезистентные (*MDR, multydrugresistant*) штаммы все-таки отступают под натиском химиотерапии, но тогда необходимо в течение двух лет принимать препараты второго ряда, дающие серьезные побочные эффекты. Если учитывать, что резистентность встречается чаще всего в странах третьего мира, то приходится признать, что лечение обычно неосуществимо. Несвоевременная диагностика, мультирезистентность и высокая стоимость лечения приводят к тому, что лишь 2% нуждающихся в помощи больных получают ее в полной мере.

Но еще хуже то, что недавно появился штамм, невосприимчивый почти ко всем высокоэффективным препаратам второго ряда (*XDR, extensively drug-resistant*). Он был основным виновником вспышки туберкулеза в 2006 г в провинции Квазулу-Наталь, ЮАР. *XDR*-штамм гораздо менее распространен, чем *MDR*, но опасен тем, что может видоизменяться и стать устойчивым абсолютно ко всем известным противотуберкулезным препаратам. По данным ВОЗ, этот штамм зарегистрирован уже в 49 странах. Это минимальная оценка, поскольку далеко не везде есть лаборатории, достаточно хорошо оснащенные для выявления *XDR*-штамма.

### Лекарственный голод

Глубоко ошибочным было бы считать, что ученые полагали, будто препараты первого ряда, созданные

в 1950-х гг., — это защита от туберкулеза на все времена. Но поскольку подавляющее большинство больных проживали в беднейших странах, у крупных фармацевтических компаний не было никаких финансовых стимулов к разработке новых препаратов. До сих пор считается, что стоимость изысканий (от \$115 млн до \$240 млн на одно средство) и потраченное время (до десяти лет) несопоставимы с потребностями в таких продуктах.

И все же в этом направлении кое-что делается. Правительственные программы и частные пожертвования, например от фонда Билла и Мелинды Гейтс, позволили начать поиски противотуберкулезных антибиотиков, эффективных в отношении резистентных штаммов, и сократить время лечения больных, инфицированных обычными штаммами.

В результате несколько обнадеживающих веществ уже проходят клинические испытания. Среди них — агент *SQ109*, который подавляет синтез клеточной стенки бактерий. Недавно завершилось его тестирование на безопасность (фаза I). Еще один кандидат на роль противотуберкулезного средства — вещество *PA-824*. Оно эффективно в отношении как активно делящихся бактерий, так и бактерий в латентной фазе, что дает надежду на уменьшение сроков лечения больных туберкулезом. *PA-824* проходит фазу II клинических испытаний, в которой проверяется его эффективность.

К сожалению, есть обстоятельства, не прибавляющие оптимизма.

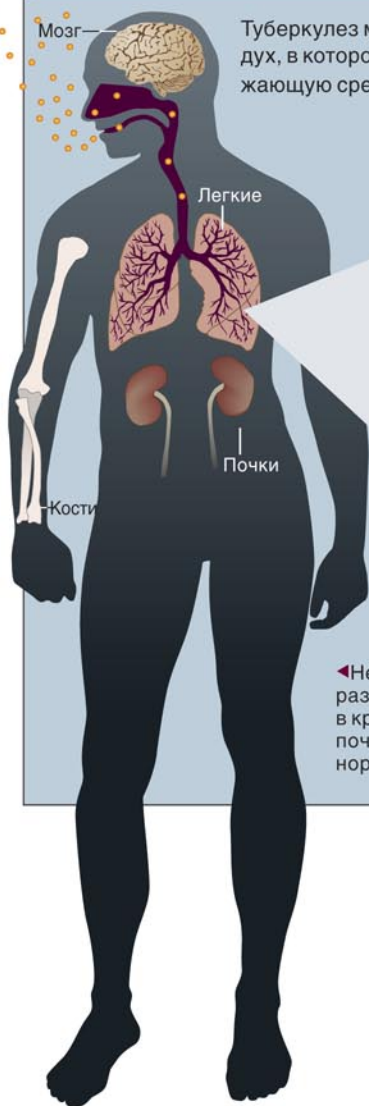
Как показывает статистика, только 10% антибиотиков, прошедших первые стадии испытаний, получают одобрение FDA. В значительной мере это обусловлено применением устаревшей практики поиска подобных лекарственных средств, согласно которой сначала идентифицируют ферменты, жизненно важные для бактерии и не имеющие аналогов в организме человека, затем проводят скрининг библиотек веществ, способных служить ингибиторами данных ферментов, потом синтезируют производные ингибиторов и, наконец, оптимизируют их свойства, например повышают способность проникать из желудка в кровоток. Даже крупным фармацевтическим компаниям, мастерам своего дела, не всегда удается достичь успеха на этом пути. Поле битвы с туберкулезом сплошь усеяно отвергнутыми кандидатами на роль спасительных лекарственных веществ, многие

### СУРОВАЯ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОСТЬ

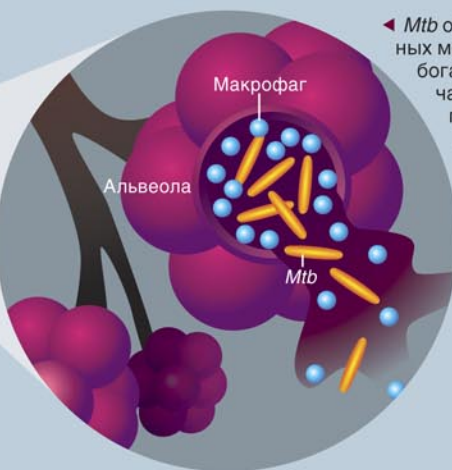
- Треть населения Земли заражено туберкулезом; **КАЖДЫЙ ДЕСЯТЫЙ ИЗ НИХ** когда-нибудь в своей жизни заболит.
- Примерно в **ЧЕТЫРЕХ ИЗ ДЕСЯТИ** случаев туберкулез несвоевременно диагностируется и неверно лечится
- От туберкулеза умирает **ОДИН ЧЕЛОВЕК КАЖДЫЕ 20 СЕКУНД**
- По оценкам, ежегодно регистрируется **490 ТыС.** новых случаев резистентности к противотуберкулезным препаратам первого ряда и 40 тыс. — к препаратам второго ряда



## ОТРАВЛЕННЫЙ ВОЗДУХ

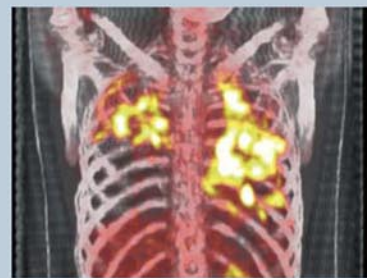


Туберкулез может протекать в скрытой и активной формах. Заразиться им можно, просто вдохнув воздух, в котором содержится всего несколько бактерий — возбудителей инфекции. Они попадают в окружающую среду, когда больной активной формой туберкулеза кашляет, чихает или разговаривает



◀ *Mtb* обычно скапливаются в альвеолах (воздушных мешочках) легких, поскольку предпочитают богатую кислородом среду. В большинстве случаев иммунная система держит размножение попавших в организм бактерий под контролем, направляя к месту их расположения защитные клетки — макрофаги. Последние заключают туберкулезные палочки в оболочку и тем самым обезвреживают их. Но у 10% инфицированных *Mtb* прорывают оболочку, выходят наружу и начинают размножаться

▼ Рентгенограмма грудной клетки, на которой видны очаги инфекции



◀ Неподконтрольные иммунной системе, частицы *Mtb* разрушают ткань легких. Некоторые из них попадают в кровоток и поражают другие части тела — головной мозг, почки, кости скелета. В конце концов организм перестает нормально функционировать, и больной погибает

из которых представляют собой высокоспецифичные мощные ингибиторы бактериальных белков. Некоторые, ловко расправляясь с изолированными ферментами, оказались бессильны перед целыми клетками, другие успешно уничтожали бактерий в пробирке, но не действовали в организме подопытных животных. Вообще туберкулез — уникальное заболевание в смысле несоответствия результатов воздействия на возбудителя *in vitro* и *in vivo*. В большинстве случаев разработчики не могут высказать никаких предположений относительно причин подобных различий. Суть проблемы в том, что туберкулез-

ная палочка — абсолютно автономная живая система, выработавшая в ходе эволюции способность адаптироваться к любым условиям и противостоять любым угрозам. Подобно современному самолету, она оснащена разнообразными системами страховки, маневрирования, безопасности и быстрого реагирования. До тех пор пока мы не разберемся во всех тонкостях взаимодействия этой изощренной бактерии с организмом человека, создание новых эффективных средств борьбы с ней будет обречено на неудачу. Обнадешивает то, что такая работа уже началась.

### Геномика, протеомика, транскриптомика, метаболомика и т.д.

Поворотным пунктом в изучении туберкулеза стало определение в 1998 г. нуклеотидной последовательности ДНК *Mtb* (в этом проекте принимал участие один из авторов — Барри). Полученные результаты позволили

сделать ряд важных выводов. Так, обнаружилось, что из всех ферментов и химических реакций, необходимых для выживания *Mtb* в организме человека, мы, проводя опыты *in vitro*, учитывали лишь треть. Например, мы не знали, что значительная часть генома *Mtb* кодирует ферменты, участвующие в синтезе и расщеплении липидов, а некоторые из этих ферментов могли бы стать мишенью для лекарственных веществ. Анализ геномной ДНК показал также, что вопреки общепринятому мнению бактерия способна жить вообще без кислорода — это открытие сейчас проверяется. В таких условиях ее метаболизм существенно замедляется, отчего снижается восприимчивость к антибиотикам. Блокируя звенья метаболической сети, остающиеся в рабочем состоянии в бескислородной среде, можно попытаться уменьшить срок лечения.

Однако генетические данные позволяют выработать новые подходы



не только к лечению туберкулеза, но и к его диагностике, которая бывает затруднена влиянием вакцинации в раннем детстве (ее проходит половина детей по всему земному шару). Вакцина содержит один из штаммов *Mtb*, утративший вирулентность, но все еще способный вызывать ответ иммунной системы, с детства подготовленной к встрече с патогеном. Традиционно используемый тест не позволяет различить иммунные ответы на вирулентный штамм и штамм, на основе которого сделана вакцина. Поэтому результат тестирования *Mtb*-инфицированного в точности совпадает с таковым здорового, но вакцинированного пациента.

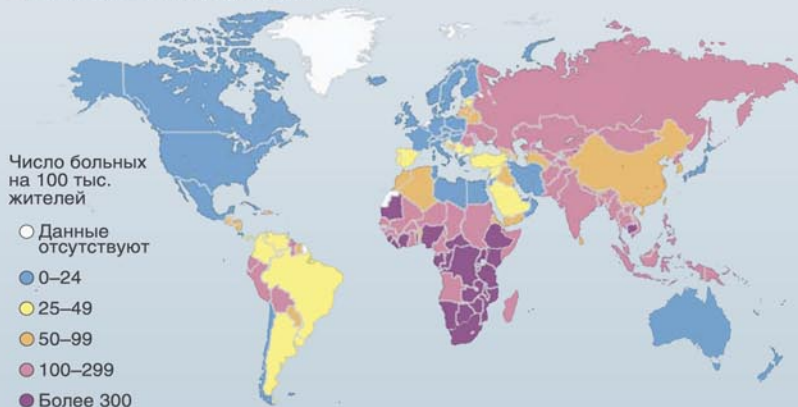
В ходе секвенирования генома *Mtb* генетики из Сиэтла обнаружили, что в ДНК штамма, используемого для создания вакцины, отсутствует крупный сегмент. Вскоре генетики из Пастеровского института, Медицинского колледжа Альберта Эйнштейна и Вашингтонского университета выяснили, что «выпавшие» гены обеспечивали вирулентность микроорганизма. Все это послужило основанием к повышению специфичности теста на туберкулез. По мысли исследователей, тест, в котором фиксируется только иммунный ответ на факторы вирулентности, отсутствующие у штамма — «основателя» вакцины, позволил бы разграничить инфицированных и тех, кто когда-то был вакцинирован. Именно такой тест получил в 2005 г. разрешение FDA: его эффективность была подтверждена многократными проверками. К сожалению, процедура остается дорогостоящей и используется только в развитых странах.

Геном *Mtb* — не единственный источник данных, проливающий свет на уязвимые места патогена. Сегодня биологи имеют возможность детально исследовать все его компоненты и все внутриклеточные процессы — от синтезируемых *Mtb* белков (протеомика) до матричных РНК (транскриптомика), промежуточных и конечных продуктов метаболизма (метабомика). Эти области биологии пока очень молоды, но уже приносят плоды. В ноябре

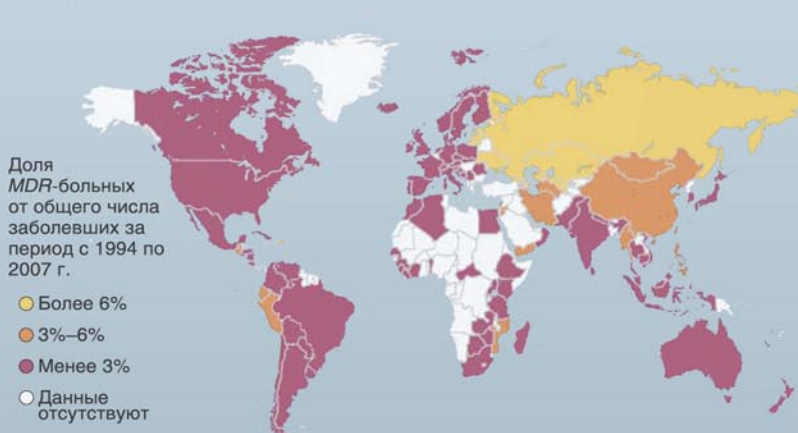
## РАСПРОСТРАНЕННОСТЬ РЕЗИСТЕНТНЫХ ШТАММОВ *Mtb*

Больные туберкулезом есть во всех регионах земного шара, но особенно много их в странах третьего мира. Случаи заражения штаммами, устойчивыми к двум или более препаратам первого ряда — так называемыми мультирезистентными *Mtb* (*MDR*), — встречаются все чаще; причина тому — несоблюдение режима лечения. Но что еще хуже — появляются разновидности, невосприимчивые ни к каким известным антибиотикам (*XDR*). Одна из вспышек практически неизлечимой формы туберкулеза произошла в 2006 г. По данным на июнь 2008 г., аналогичные инциденты отмечены в 49 государствах, и общее число таких стран, по-видимому, недооценено

### ОБЫЧНАЯ ФОРМА ТУБЕРКУЛЕЗА



### МУЛЬТИРЕЗИСТЕНТНАЯ ФОРМА



### ФОРМЫ, НЕВОСПРИИМЧИВЫЕ НИ К ОДНОМУ ИЗВЕСТНОМУ АНТИБИОТИКУ





2008 г. Барри в соавторстве с другими учеными опубликовал статью в *Science* с сообщением о том, что бактериальный транскриптом реагирует на PA-824 так, как если бы *Mtb* была «отравлена» цианистым калием. В ходе дальнейших исследований было обнаружено, что в процессе метаболизма лекарственного препарата *Mtb* высвобождает оксид азота, защитное соединение, в норме вырабатываемое иммунными клетками человека. Теперь мы пытаемся синтезировать вещество, стимулирующее высвобождение оксида азота в большем количестве, чем это делает PA-824.

Специалисты в области структурной геномики ищут также способы определения трехмерной конфигурации всех белков *Mtb*. Это необходимо для выяснения их функций (для многих белков она остается неизвестной) и для создания лекарственных веществ, мишенью которых был бы определенный участок важной для *Mtb* белковой молекулы. За решение задачи взялся коллектив ученых из 17 стран. Пока определена структура примерно 10% белков туберкулезной палочки.

Еще одно направление, достойное упоминания, — химическая геномика. Ее отличительная черта — обратный общепринятому подход к поиску лекарственных средств. Вместо того чтобы заниматься поисками веществ, подавляющих активность бактериального белка с известной структурой, исследователи начинают работу с вещества, обладающего тем или иным ценным признаком, например способностью блокировать размножение *Mtb* в культуре, и движутся в обратном направле-

**ОБ АВТОРАХ**

**Клифтон Барри III** (Clifton E. Barry III) возглавляет отдел по изучению туберкулеза в Институте аллергии и инфекционных заболеваний в системе Национальных институтов здравоохранения. Группа под его руководством занимается масштабными поисками новых противотуберкулезных препаратов и разрабатывает программу клинических испытаний с участием больных высокорезистентной формой туберкулеза из Южной Кореи. **Майя Чеун** (Maija S. Cheung) проходит стажировку в Институте аллергии и инфекционных заболеваний. Она окончила Мидлберийский колледж высшей ступени и собирается продолжить образование по специальности «Глобальные проблемы здравоохранения и инфекционные заболевания».

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПРЕПАРАТЫ**

Противотуберкулезные препараты первого ряда, применяемые сейчас, были созданы в 1950–1960-х гг. Лечение занимает от шести до девяти месяцев. Преждевременное его прекращение приводит к появлению резистентных форм *Mtb*. Сейчас, как никогда ранее, важно найти новые лекарственные средства — недорогие, не требующие столь длительного приема и направленные на другие уязвимые места *Mtb*

**СЕГОДНЯ**

Традиционным методом проб и ошибок найдено несколько веществ — кандидатов на роль противотуберкулезных агентов

Препарат / класс	Механизм действия	Фаза клинических испытаний
Фторхинолоны (уже используются для лечения других заболеваний)	Подавляют репликацию ДНК	Фаза III (масштабные испытания на эффективность)
Нитроимидазолы (PA-824/OPC67683)	Подавляют синтез клеточной стенки и клеточное дыхание	Фаза II (на эффективность)
Диарилхинолин (TMC 207)	Подавляет синтез АТФ	Фаза II
Оксазолидиноны	Подавляют синтез белков	Фаза II
SQ 109	Подавляет синтез клеточной стенки	Фаза I (на безопасность)

нии — пытаются идентифицировать бактериальный фермент, на который данное вещество действует. Само вещество может быть продуктом химического синтеза, иметь растительное происхождение, вырабатываться микроорганизмами и даже животными.

Такой подход позволяет направить всю мощь естественного отбора на сокрушение *Mtb*. Прежде чем *Mtb* и другие бактерии обосновались в организме человека, они занимали определенные ниши в окружающей среде, где вынуждены были конкурировать с бесчисленным числом других микроорганизмов.

Бактериальные экосистемы проходили через пресс естественного отбора по много раз, и в большинстве случаев другие бактерии вырабатывали механизмы контроля над микобактериями. Если бы удалось идентифицировать этот арсенал, то ученые смогли бы проверить его компоненты на способность атаковать *Mtb*, найти те мишени, на которые они действуют, — и открыть целый класс новых лекарственных веществ. В отличие от уже известных противотуберкулезных агентов новые будут выводить из строя целые системы патогенов, а не отдельные биохимические процессы.

**Компьютерное моделирование**

Для того чтобы использовать весь потенциал новых биотехнологий, нам необходимо освоить приемы и инструменты информационных технологий, позволяющих оперировать большими массивами данных. Фактически мы приходим к созданию новой научной дисциплины — биоинформатики, и только будучи во-

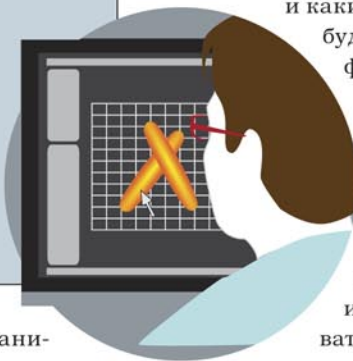


**В БЛИЖАЙШЕМ БУДУЩЕМ**

Совсем недавно начались детальные исследования свойств *Mtb*, основанные на результатах анализа генетического материала и других компонентов бактерии. Цель — изучение патологического процесса с момента заражения и выяснение причин уязвимости человеческого организма. Предполагается найти гораздо более эффективный способ подавления синтеза АТФ, вещества, снабжающего бактериальную клетку энергией. Возможно, удастся идентифицировать вещества, которые будут стимулировать бактерию к высвобождению больших количеств оксида азота — ингибитора клеточного дыхания, чем это делают имеющиеся препараты. Перспективным представляется и блокирование синтеза ниацина, основного переносчика энергии в бактериальной клетке

**В ПЕРСПЕКТИВЕ**

Создание компьютерной копии *Mtb*, имитирующей поведение реальной бактерии в организме человека. Это позволит предугадать реакцию *Mtb* на различные лекарственные вещества с гораздо большей точностью, чем раньше



оруженными новыми знаниями и навыками сможем выработать другой подход к созданию новых средств борьбы с туберкулезом. Он будет основываться на предсказании поведения биологических систем в целом, что невозможно сделать исходя из сведений об основных биологических свойствах их компонентов.

Что касается поведения *Mtb in vitro*, то одно из неожиданных его проявлений состоит в образовании «связок» — извивающихся цепочек бактериальных частиц. Свойства этих структур невозможно предсказать исходя из свойств молекул, участвующих в их формировании. В организме человека в результате их взаимодействия с клетками иммунной системы образуется гранулема — крупный агрегат из клеток хозяина и бактериальных частиц, в который лекарственным веществам проникнуть крайне трудно.

С помощью биоинформатики мы надеемся установить, как ведут себя все 4 тыс. генов *Mtb*, кодируемые ими белки и побочные продук-

ты метаболизма в присутствии нового лекарственного вещества *in vitro*. За последние десять лет мы кое-что узнали об особенностях поведения возбудителя туберкулеза в организме-хозяине в отличие от поведения в пробирке. А наша конечная цель — создание компьютерной модели *Mtb*, которая будет обладать всеми свойствами реальной бактерии, обитающей в организме человека. Значение такой работы трудно переоценить — ведь мы сможем с определенностью предсказывать, какие компоненты бактериальной частицы будут наилучшей мишенью для лекарственных веществ и какие из этих веществ будут наиболее эффективными.

Для этого необходимо детально изучить все биохимические пути (последовательности химических превращений) и идентифицировать ключевые свойства микроорганизма, которые ими определяются. Масштаб задачи огромен: мы до сих пор не знаем функции примерно одной трети белков *Mtb* и представления не имеем об их взаимодействиях и ключевых свойствах бактерии. Впрочем, данная область стремительно развивается, что дает основания надеяться на создание в ближайшие 20 лет компьютерной модели *Mtb* — точного аналога бактерии, выросшей в пробирке, а возможно — и в теле человека.

Общезвестно, что болезнь легче предотвратить, чем лечить. Ученые не отказываются от попыток создания противотуберкулезных вакцин, более эффективных, чем БЦЖ. Но пока они действуют методом проб и ошибок, нет возможности установить, почему созданный ими вариант не работает, и предвидеть, какая вакцина будет успешной.

В отличие от других инфекционных заболеваний, при которых успешно преодоленная первичная инфекция гарантирует от повторного заражения, туберкулез может ата-

**НАСТУПЛЕНИЕ ПО ВСЕМ ФРОНТАМ**

Для того чтобы победить туберкулез, нужны новые лекарства. Но органы здравоохранения не могут просто ждать, когда они появятся. Уже сейчас действует ряд программ по борьбе с туберкулезом, в числе которых — *Stop TB Partnership* под эгидой ВОЗ. Их задача — осуществлять тщательный контроль процедур тестирования, обеспечивать наблюдение за больными, снабжать их лекарствами, проводить образовательные встречи с населением и многое другое. Ожидается, что благодаря таким мерам смертность от туберкулеза к 2015 г. снизится вдвое

ковать одну и ту же жертву по много раз. Таким образом, вакцина на основе ослабленного штамма *Mtb* долго работать не будет. И если для ускорения разработки новых лекарственных средств достаточно компьютерной копии одной только бактерии, то для создания вакцины необходима и модель человеческого организма.

Никогда человечество не нуждалось в более точных методах диагностики туберкулеза, новых лекарственных средствах и вакцинах так, как сейчас. Предстоит огромная работа, но можно с уверенностью сказать, что теперь, когда расшифрованы геномы человека, а также *Mycobacterium tuberculosis*, и проблемой занимается такое множество научных коллективов по всему земному шару, успех обеспечен. ■

Перевод: Н.Н. Шафрановская

**ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

- The Forgotten Plague: How the Battle against Tuberculosis Was Won — and Lost. Frank Ryan. Little, Brown, 1993.
- The Magic Mountain. Thomas Mann. Translated by John E. Woods. Alfred A. Knopf, 1995.
- Building a Better Tuberculosis Vaccine. Douglas B. Young in *Nature Medicine*, Vol. 9, No. 5, pages 503–504; 2003.
- Multidrug Resistant Tuberculosis in Russia. Merrill Goozner in *ScientificAmerican.com*; August 28, 2008. Доступно по адресу: [www.SciAm.com/report.cfm?id=tuberculosis-in-russia](http://www.SciAm.com/report.cfm?id=tuberculosis-in-russia)





ДИКИЕ ЖИВОТНЫЕ могут быть носителями патогенов, способных передаваться человеку, — и это первый шаг к появлению новых инфекционных заболеваний в человеческих популяциях. Чтобы избежать их широкого распространения, необходимы новые подходы к мониторингу эпидемиологической обстановки по всему земному шару



Натан Вульф

# КАК ПРЕДОТВРАТИТЬ пандемию

Пот струйками стекает по спине, колючки впиваются в руки, а мы снова потеряли направление. Дикие шимпанзе, вслед за которыми мы с коллегами идем уже пять часов, перестали ухать, ворчать, вскрикивать. Обычно подобные звуки служат нам ориентирами в лесах Уганды, где мы проводим свои исследования. Если три взрослых самца внезапно замолкают, значит, их что-то насторожило. Мы выходим на небольшую прогалину — и неожиданно видим всех троих. Они сидят неподалеку от большого фигового дерева и смотрят вверх, где в ветвях режутся стайка колобусов.

Обезьянки носятся туда-сюда, не подозревая об опасности, которая поджидает их внизу. Помедлив минуту, шимпанзе расходятся. Вожак крадется к фиговому дереву, а его компаньоны молча направляются к двум соседним. В одно мгновение вождь с громким криком устремляется вверх по стволу, обрушивая кучи листьев и веток, а его спутники (по-прежнему молча) взбираются по деревьям. Обезьянки в панике бросаются врассыпную, пытаются уйти от преследователей. Но у шимпанзе все просчитано. Вожаку не удается поймать взрослого колобуса, зато один из его партнеров хватается детеныша и уносится с ним в чащу.

Наблюдая за этой грустной сценкой, я подумал, что в ней присутствуют все элементы передачи микроорганизмов от одного вида животных другому. Любой патоген,

## Глобальный мониторинг передачи вирусов от животных человеку поможет контролировать распространение инфекционных заболеваний

обитавший в теле малыша, теперь обретает нового хозяина. Шимпанзе рвут жертву на части и поедают свежатиину; их лапы перепачканы зараженной кровью, слюной и испражнениями; кровь и другие биологические жидкости попадают им в глаза и нос. Любой порез или царапина становятся входными воротами инфекции. Кем бы ни был охотник — животным или человеком, — он служит мостиком, по которому вирусы переходят от жертвы к хищнику. Таким путем проследовал и вирус СПИДа: от низших обезьян к шимпанзе, затем от шимпанзе к человеку.

Сегодня этот вирус распространился так широко, что трудно представить без него мир. Но пандемия СПИДа не была неизбежным злом; если бы ученые вовремя заметили признаки нового инфекционно-

го заболевания в 1960–1970-е гг., они знали бы о нем задолго до того, как оно поразило миллионы людей. СПИД — не единственная инфекция, резервуаром которой служат животные. Как в прошлом, так и сейчас более половины из их числа, включая грипп, атипичную пневмонию, лихорадку денге и Эбола, имеют животное происхождение. Однако сегодня, в век тесных контактов между человеческими популяциями, новые болезни быстрее достигают масштабов пандемии независимо от способов передачи — непосредственно от диких животных, как СПИД, или обходным путем — от диких животных домашним и затем человеку, как вирус японского энцефалита и некоторые штаммы гриппа. Мы с коллегами взяли на себя смелость органи-

### ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Большинство инфекционных заболеваний человека имеют животное происхождение.
- Раньше виновниками инфекций считались только домашние животные. Теперь мы знаем, что возбудители многих заболеваний, в том числе и СПИДа, перешли к нам от диких животных.
- Для того чтобы выяснить, насколько опасны дикие животные как носители патогенов для человека, биологи изучают микрофлору как их самих, так и людей, находящихся в контакте с ними.
- Подобный мониторинг помогает заметить признаки вспышки инфекционных заболеваний и предотвратить их распространение.



**ИНФЕКЦИОННЫЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ, ПЕРЕДАВАЕМЫЕ ДИКИМИ ЖИВОТНЫМИ ЧЕЛОВЕКУ**

Многие распространенные заболевания человека обязаны своим происхождением диким животным. Данный факт заставляет исследовать микроорганизмы представителей дикой природы и проследить их жизненный цикл. В таблице перечислены 10 инфекционных болезней человека, имеющих животное происхождение

Заболевание	Источник
СПИД	Шимпанзе
Гепатит В	Низшие приматы
Гепатит А	Дикие птицы
Чума	Грызуны
Лихорадка денге	Приматы Старого света
Трипаносомоз у жителей Восточной Африки	Дикие и домашние жвачные животные
Малярия, вызываемая <i>Plasmodium vivax</i>	Азиатский макак
Трипаносомоз у жителей Западной Африки	Дикие и домашние жвачные животные
Желтая лихорадка	Приматы Африки
Болезнь Чагаса	Многие дикие и домашние млекопитающие

зывать мониторинг диких животных и часто контактирующих с ними людей, с тем чтобы выявить признаки появления новых микроорганизмов или изменения уже известных. Мы надеемся, что такая «слежка» позволит зафиксировать первые сигналы неблагополучия, что необходимо для предотвращения новых пандемий.

**Охота за вирусами**

К такой идее нас подтолкнули наблюдения, начатые 10 лет назад. Тогда мы занимались исследованиями вирусов, распространенных среди жителей горных деревень в странах Центральной Африки, которые охотились на диких животных и питались их мясом, а также держали молодняк в качестве домашних животных. Мы пытались определить, появляются ли в человеческих популяциях новые штаммы ВИЧ, полагая, что если это происходит, то как раз в тех местах, где мы вели исследования.

Для того чтобы понять, почему мы сочли жителей горных районов Центральной Африки принадлежащими к группе риска, рассмотрим образ жизни местного охотника. В лес он обычно отправляется лишь в простых шортах из хлопка, а добычу (какого-нибудь павиана весом 25 кг) несет на спине. От места охоты до деревни ему иногда приходится добираться не один час. Все это время кровь жертвы стекает по ногам аборигена и попадает в ранки и царапины, а оттуда в кровотоки — вместе со всеми содержащимися в ней инфекционными агентами.

Будь у охотника выбор, он и его семья, возможно, предпочли бы мясо обезьян свинину или говядину. Но эти животные здесь редкость. И он поступает так, как поступали люди по всему земному шару за миллионы лет до него: питается мясом местных животных, не отличаясь в этом от моего друга из Нью-Джерси, который в сезон охоты с удовольствием ест оленину. Различие состоит лишь

в том, что для жителей Центральной Африки мясо обезьян — повседневная пища, и вероятность передачи им обезьяньих вирусов гораздо выше, чем передача какого-нибудь патогена от оленя моему американскому приятелю.

Уговорить жителей африканских деревень сотрудничать с нами было нелегко. Многие из них боялись, что мы отнимем их добычу. Необходимо было завоевать доверие аборигенов и действовать сообща. Без этого мы не могли собрать пробы крови жителей для дальнейших исследований, узнать об их болезнях и способах охоты, получить образцы крови убитых животных.

Анализ крови охотников и их жертв выявил несколько вирусов животных, не встречавшихся ранее у человека. Один из них, известный под названием пенистого вируса обезьян (ПВО) относится к семейству ретровирусов, в которое входит и ВИЧ. ПВО персистирует у большинства низших приматов, в том числе у мартышек, мандрилов и горилл, при этом для каждого вида характерен свой штамм вируса, генетически отличный от других. Все три его варианта встречаются у охотников. Приведем один показательный пример: 45-летний мужчина, охотившийся на горилл и питавшийся их мясом, является носителем именно той разновидности вируса, которая характерна для данного примата.

В тех же самых популяциях Центральной Африки мы обнаружили еще одну разновидность ретровирусов — Т-лимфотропный вирус человека (ТЛВЧ), активно атакующий Т-лимфоциты — клетки иммунной системы. Два его штамма, ТЛВЧ-1 и ТЛВЧ-2, уже инфицировали миллионы людей по всему миру. Они причастны к развитию рака и неврологических заболеваний. Но ТЛВЧ-3 и ТЛВЧ-4, описанные нами в 2005 г. в журнале *Proceedings of the National Academy of Science USA*, науке были неизвестны. Учитывая большое генетическое сходство между ТЛВЧ-3 и его обезьяньим аналогом ТЛВО-3, можно предполо-

**ОБ АВТОРЕ**

**Натан Вулф** (Nathan Wolfe) — профессор Стэнфордского университета и руководитель программы *Global Viral Forecasting Initiative*. В 1998 г. он получил степень доктора иммунологии в Гарвардском университете. Отмечен наградами Национальных институтов здравоохранения и Национального географического общества. Участник программ в области здравоохранения, реализуемых в 11 странах Азии и Африки.



## ОТ ЖИВОТНЫХ К ЧЕЛОВЕКУ

Процесс, в ходе которого патоген животных трансформируется в штамм, инфицирующий только человека, включает пять стадий. Инфекционные агенты могут заразить человека на любой из них, и в этом случае представляют смертельную опасность для своей жертвы. Однако свободно передаваться от человека человеку они не способны, а потому случаи смертельных исходов редки. Чем легче патоген переходит от одного человека к другому, тем вероятней развитие пандемии

ПРИМЕРЫ  
ЗАБОЛЕВАНИЙ:

Малярия,  
вызываемая  
*P. relictus*

Бешенство

Геморрагическая  
лихорадка  
Эбола

Лихорадка  
данга

ВИЧ

**Стадия 1:** Патоген присутствует в организме животных; у человека в естественных условиях не обнаружен

**Стадия 2:** Патоген животных передается человеку, но не циркулирует среди людей

**Стадия 3:** Патоген животных может инфицировать человека и распространиться дальше в популяции; вызывает кратковременные вспышки заболевания

**Стадия 4:** Патоген присутствует в организме животных и регулярно переходит к человеку и обратно; может вызывать долговременные вспышки заболевания, поскольку легко передается от одного человека другому

**Стадия 5:** Патоген инфицирует только человека

жить, что данный вирус перешел к человеку от ТЛВО-3-инфицированных обезьян. Происхождение штамма ТЛВЧ-4 неясно; возможно, в ходе наших исследований мы обнаружим его предшественника у обезьян. Мы не знаем, вызывают ли ПВО или новые разновидности ТЛВЧ какие-либо заболевания у человека. Вирусы не всегда провоцируют болезнь, а те, которые способны к этому и даже передаются от человека к человеку, не всегда приводят к пандемиям; часто они спонтанно исчезают. Однако тот факт, что ПВО и ТЛВЧ относятся к тому же семейству, что и ВИЧ, заставляет эпидемиологов «держать руку на пульсе».

Мы с коллегами выделяем пять стадий трансформации патогена животных в штамм, специфичный для человека. На первой стадии инфекционный агент обитает исключительно в организме животных. На второй стадии он может передаваться человеку только от жи-

вотных. На третьей стадии патоген передается человеку в основном от животных, но в течение небольшого периода времени может распространяться среди людей, а затем исчезает. Если вирус доходит до четвертой стадии, то он может вызывать вспышки инфекции среди людей. На пятой стадии он уже становится исключительно патогеном человека. Разновидности вируса на четвертой и пятой стадиях способны вызвать массовую гибель инфицированных ими людей.

### Прогнозирование пандемий

Если бы у нас была возможность наблюдать за охотниками на обезьян 30 лет назад, то вирус иммунодефицита человека был бы «пойман за руку», не успев натворить столько бед. Теперь наша задача — вовремя обезвредить следующего «серийного убийцу». Когда-то мы с коллегами пришли к выводу, что популяции из отдаленных регионов можно исследовать дистанционно, если при-

### ТУДА И ОБРАТНО



Патогены передаются не только от животных человеку — они «путешествуют» и в обратном направлении. Здесь перечислен ряд заболеваний, которыми животных «одарил» человек

- Туберкулез (крупный рогатый скот)

---

- Желтая лихорадка (обезьяны Южной Америки)

---

- Корь (восточная горная горилла)

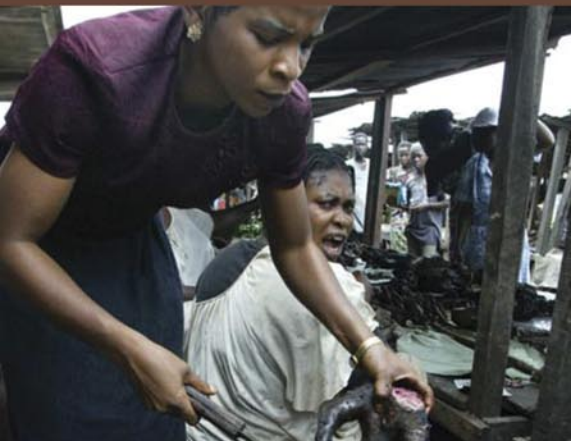
---

- Полиомиелит (шимпанзе)





**СТРАНА:** КАМЕРУН  
**Впервые обнаруженные вирусы:** ВИЧ  
**Обследуемые популяции:** группы людей, которые охотятся на диких животных и разделяют их туши



**СТРАНА:** Демократическая Республика Конго  
**Впервые обнаруженные вирусы:** вирус геморрагической лихорадки Марбург, вирус оспы обезьян, вирус геморрагической лихорадки Эбола  
**Обследуемые популяции:** группы людей, которые охотятся на диких животных и разделяют их туши

## СОЗДАНИЕ СЕТИ РАННЕГО ОПОВЕЩЕНИЯ

Проводя мониторинг микрофлоры диких животных и людей, которые часто с ними контактируют, эпидемиологи смогут регистрировать случаи инфекции еще до ее распространения. Авторы стали инициаторами программы *Global Viral Forecasting Initiative (GVFI)*, в которой принимают участие 100 биологов и работников здравоохранения из шести стран (красные и оранжевые кружки). Они идентифицируют потенциально опасные микроорганизмы и отслеживают пути их передачи от диких животных человеку. Исследования проводятся в основном в тропических странах (зеленый цвет), поскольку здесь обитает множество видов диких животных, на которых охотятся местные жители. В планы *GVFI* входит расширение сети пунктов наблюдения с включением стран с наиболее высоким уровнем биоразнообразия (желтые кружки)



### ДЕЙСТВОВАТЬ БЕЗ ПРОМЕДЛЕНИЯ

Если наблюдатели замечают признаки распространения патогена за пределы группы людей, непосредственно контактирующих с дикими животными, они передают сигнал тревоги. Один из первых шагов по предотвращению пандемии — защита от патогенов банков крови. Для этого понадобится разработать диагностические тесты на целевые патогены

бегнуть к помощи наблюдателей за появлением «первых признаков жизни» вирусов по всему земному шару. Они могли бы сообщать о свидетельствах начинающейся вспышки инфекционного заболевания задолго до того, как разгорится эпидемия.

При содействии *Google.org* и Фонда Скола нам удалось разработать программу *Global Viral Forecasting Initiative (GVFI)* при участии эпидемиологов, работников здравоохранения и экологов из разных стран. В их задачу входит идентификация инфекционных агентов в месте их появления, отслеживание путей передачи патогенов от животных человеку и дальнейшего распространения. Вместо того чтобы заниматься только одним вирусом или одним заболеванием, *GVFI* будет аккумуля-

ровать данные по широкому спектру вирусов, бактерий и паразитов, передающихся от животных человеку.

Сейчас в программе принимают участие примерно 100 научных работников, обследующих популяции человека и животных в таких горячих точках, как Камерун, Китай, Демократическая Республика Конго, Лаос, Мадагаскар и Малайзия. Многие из тех, за кем ведется наблюдение, — местные охотники, но в сфере интересов входят и другие люди из разных групп риска, например работники рынков, где продаются живые дикие звери.

Обнаружение нового микроорганизма у местного жителя — только первый шаг по большому пути. Необходимо выяснить, вызывает ли он





Страна: Китай  
 Впервые обнаруженные вирусы: вирус атипичной пневмонии, вирус H5N1  
 Обследуемые популяции: люди, торгующие дикими животными



Страна: Малайзия  
 Впервые обнаруженные вирусы: вирус Нипа  
 Обследуемые популяции: охотники за дикими животными

какое-либо заболевание, передается ли от человека человеку, угрожает ли жителям городов, где при большой плотности населения может начаться массовое заражение. Появление патогена в городах, удаленных от места его первого обнаружения, может считаться несомненным признаком начала пандемии.

Что касается вирусов ТЛВЧ-3 и ТЛВЧ-4, то мы начинаем обследовать на их наличие популяции, принадлежащие к группам риска, в городах, расположенных неподалеку от горячих точек. Одна из таких популяций — больные серповидноклеточной анемией, которым регулярно переливают кровь. В тесном сотрудничестве с нашим давним коллегой Биллом Суицером (Bill Switzer) из

Центра по контролю и предотвращению инфекционных заболеваний мы работаем над созданием новых тестов на присутствие вирусов в крови, предназначенной для трансфузии. Еще одно важное направление наших исследований — выяснение способа передачи инфекционных агентов от одних организмов другим. Такая информация пригодилась бы тем, кто занимается предотвращением распространения инфекций.

Первейшей заботой органов здравоохранения должно стать поддержание стерильности банков крови. После того как мы обнаружили связь между контактами человека с приматами и появлением у него новых вирусов, правительство Канады исключило из числа доноров людей, имеющих дело с обезьянами.

В своих попытках прогнозирования пандемий мы не одиноки. Такие службы, как *HealthMap* и *ProMED*, ежедневно сообщают о вспышках инфекционных заболеваний по всему миру. Большую роль в предотвращении эпидемий играют национальные и международные организации надзора и быстрого реагирования.

Мы со своей стороны хотели бы расширить сеть наших наблюдательных пунктов по всему миру и охватить такие страны, как Бразилия и Индонезия, где особенно много разнообразных животных, от которых патогены могут передаваться человеку. Конечно, развитие программы *GVI* — дорогостоящее мероприятие. Создание новых лабораторий и покупка оборудования для обследований раз в шесть месяцев контрольных групп людей, а также животных, с которыми эти люди контактировали, обойдутся примерно в \$30 млн в год, а текущие расходы составят еще \$10 млн. Но если в ближайшие 50 лет нам удастся предотвратить хотя бы одну пандемию, эти расходы с лихвой окупятся.

Человечество с давних пор занимается предсказанием разнообразных природных катастроф, и мы

## ОСТОРОЖНО! ДОМАШНИЕ ЛЮБИМЦЫ!



Дикие животные — не единственные переносчики патогенов. Иногда опасность представляют домашние животные — такие, например, как эта собачка. Вначале они получают патоген от дикого животного где-нибудь в поле или лесу, а затем могут передать его своим хозяевам

не задаемся вопросом, зачем нужно знать о приближении урагана, о возможном землетрясении или извержении вулкана. Вовремя заметить признаки надвигающейся пандемии труднее, чем приближение цунами. Но зная, чего стоит остановить уже начавшуюся пандемию, нельзя экономить на мерах по ее предотвращению. Как известно, скупой платит дважды. ■

Перевод: Н.Н. Шафрановская

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Naturally Acquired Simian Retrovirus Infections in Central African Hunters. Nathan D. Wolfe et al. in *Lancet*, Vol. 363, No. 9413, pages 932–937; March 20, 2004.
- Emergence of Unique Primate T-Lymphotropic Viruses among Central African Bushmeat Hunters. Nathan D. Wolfe et al. in *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, Vol. 102, No. 22, pages 7994–7999; May 31, 2005.
- Bushmeat Hunting, Deforestation, and Prediction of Zoonotic Disease Emergence. Nathan D. Wolfe et al. in *Emerging Infectious Diseases*, Vol. 11, pages 1822–1827; December 2005.
- Origins of Major Human Infectious Diseases. Nathan D. Wolfe, Claire Panosian Dunavan and Jared Diamond in *Nature*, Vol. 447, pages 279–283; May 17, 2007.



# МИНИАТЮРНЫЕ ЗЕЛЕННЫЕ ЛАЗЕРЫ

Полупроводниковые лазеры способны излучать свет всех цветов кроме одного. Однако с помощью новых методов выращивания кристаллов для лазерных диодов яркие полноцветные дисплеи могут стать реальностью

Дождливым субботним утром в январе 2007 г. ректору Калифорнийского университета в Санта-Барбаре Генри Янгу (Henry Yang) поступил срочный телефонный звонок. Он внезапно отменил назначенную встречу, схватил пальто и зонтик и поспешил через продуваемый ветрами университетский кампус в Центр полупроводниковых источников света и дисплеев. В исследовательскую группу центра входил один из авторов настоящей статьи (Накамура), который тогда только что получил Премию тысячелетия в области технологий за создание первого светодиода, излучающего яркий синий свет. Десять предшествующих лет он занимался исследованиями в области полупроводниковых источников света и создания зеленых светодиодов и синих лазерных диодов, которые лежат в основе современных CD-проигрывателей *Blue-ray*.

Когда спустя десять минут Янг появился в Центре, в небольшой ис-

пытательной лаборатории толпились люди. «Сюдзи тоже только что пришел, и стоял посередине, задавая вопросы», — вспоминает Янг. Стивен Ден Баарс (Steven DenBaars) и Джеймс Спек (James C. Speck) беседовали с несколькими аспирантами и научными сотрудниками, поочередно склонявшимися к микроскопу. Они расступились, пропуская Янга, который заглянул в окуляр, и увидел яркий синий свет, исходящий от прозрачного кристалла нитрида галлия (GaN).

Через несколько дней опыт с использованием аналогичных материалов повторила группа из *Rohm Company* из Киото (Япония), сотрудничающая с упомянутым центром. Сами по себе синие лазерные диоды — не новость. Но они сложны в изготовлении, из-за чего их стоимость высока. Многие компании бьются над тем, чтобы наладить производство недорогих лазерных GaN-диодов для рынка дисков *Blue-ray*.

Группы исследователей в Калифорнийском университете в Санта-Барбаре и компании *Rohm* разрабатывают новые методы выращивания кристаллических слоев GaN и сопутствующих сплавов. Первые успехи не только предвещают возможность увеличения выхода годных диодов, но и дают надежду на еще более важный результат: создание прочных и компактных GaN-диодов, излучающих зеленый свет, чего долго не удавалось достичь исследователям и инженерам. Новый подход, возможно, позволит также получить зеленые светодиоды с высоким КПД, излучающие гораздо более интенсивный световой поток, чем существующие сегодня.

Эти достижения позволят закрыть «зеленую брешь» в красно-зелено-синей триаде, необходимой для производства полноцветных лазерных проекторов и дисплеев. Они помогут ускорить внедрение на телевидении и в кинотеатрах лазерных проекторов, воспроизводящих изображение в гораздо более богатой цветовой гамме, а также способствовать появлению миниатюрных «пикопроекторов» для карманных устройств, например сотовых телефонов. Интенсивные зеленые диоды могут найти применение

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Полупроводниковые лазеры позволяют получать свет в красной и синей частях спектра, но не в зеленой.
- Недавние исследования показали, что «зеленую брешь», возможно, удастся закрыть уже в текущем году.
- Достигнутые результаты позволят разработать лазерные видеодисплеи настолько малых размеров, что их можно будет применять в сотовых телефонах.



и в других областях, таких как секвенирование ДНК, управление технологическими процессами и подводная связь.

### Новый подход

Ключевым шагом, который привел к созданию ярких синих полупроводниковых источников света, стало обращение в середине 1990-х гг. к таким материалам, как нитрид галлия ( $GaN$ ) и его сплавы. До этого большинство исследователей делали упор на селенид цинка и подобные соединения. Новый подход основан на использовании исключительно гладкого слоя нитрида индия-галлия ( $InGaN$ ) нанометровой толщины между слоями  $GaN$ , образующего так называемую гетероструктуру или квантовую яму (врезка на стр. 72).

Подав подходящее напряжение, исследователи создают электрическое поле, перпендикулярное этим слоям, которое приводит в движение электроны и дырки (положительно заряженные квазичастицы, соответствующие отсутствию электронов) в активных слоях  $InGaN$ . Внутри этого узкого желоба электроны и дырки рекомбинируют, взаимно уничтожаясь и порождая фотоны, энергия которых однозначно

определяется свойствами активного полупроводникового материала. Повышение концентрации индия в сплаве позволяет уменьшить эту энергию и, следовательно, увеличить длину волны света, изменив его цвет с фиолетового на синий и зеленый.

В обычном светодиоде фотоны покидают квантовую яму практически сразу, отразившись один-два раза, прежде чем вылететь из устройства, или поглощаются в других слоях. Однако в лазерных диодах, создающих когерентное излучение, фотоны в основном удерживаются в желобе. Два зеркала с высоким коэффициентом отражения — отполированные противоположные поверхности кристалла — заставляют фотоны многократно отражаться, пересекая кристалл туда и обратно, чем дополнительно стимулируют рекомбинацию электронов и дырок. Такое «вынужденное излучение» порождает очень узкий световой пучок исключительно чистого цвета.

Для изготовления обычных  $GaN$ -диодов в реакционную камеру помещают тонкую пластинку сапфира (а в последнее время все чаще пластинку  $GaN$ ). В камере из горячих газов на нее последовательно осаждают слои атомов галлия, индия

и азота, причем точные соотношения элементов варьируют от слоя к слою. Атомы в осаждаемых слоях автоматически подстраиваются к существующей кристаллической структуре, определяемой подложкой. Слои нарастают атом за атомом, параллельно так называемой плоскости с подложки, перпендикулярной оси кристалла гексагональной симметрии (врезка на стр. 74).

К сожалению, электростатические силы и внутренние напряжения между последовательными слоями положительных ионов индия и галлия и отрицательных ионов азота создают сильные электрические поля в направлении, перпендикулярном плоскости с, противодей-

### ЧТО ТАМ С ЗЕЛеныМИ ЛАЗЕРНЫМИ УКАЗКАМИ?

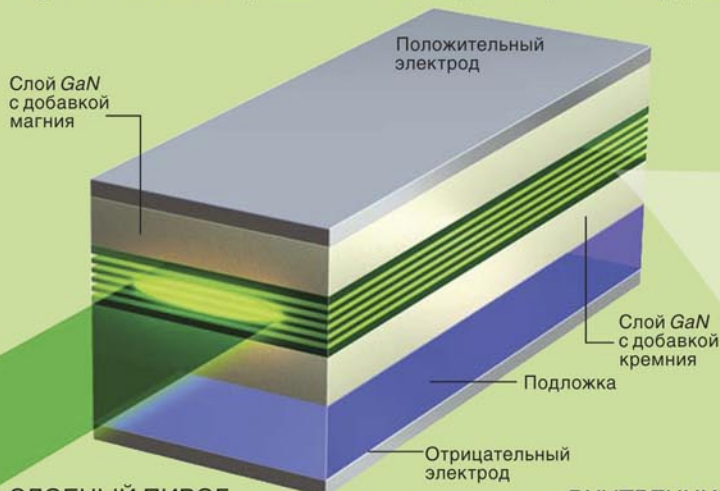
В лазерных указках для генерации света используется сложный двухэтапный процесс. Полупроводниковый лазер испускает инфракрасное излучение с длиной волны около  $1060\text{ нм}$ , которое накачивает другой кристалл, генерирующий излучение с половинной длиной волны,  $530\text{ нм}$  — чистый зеленый цвет. Процесс дорог, неэффективен и неточен: второй кристалл может нагреваться, что вызывает изменение длины волны излучения. Лазерные диоды, излучающие зеленый свет непосредственно, будут лишены таких недостатков



## КАК РАБОТАЕТ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ЛАЗЕР

Внутри полупроводникового лазера электроны встречаются с положительными квазичастицами (дырками) и взаимно уничтожаются с образованием света. Для получения

нужной длины волны требуется подбирать активное вещество внутри полупроводника. При этом возникает ряд трудностей

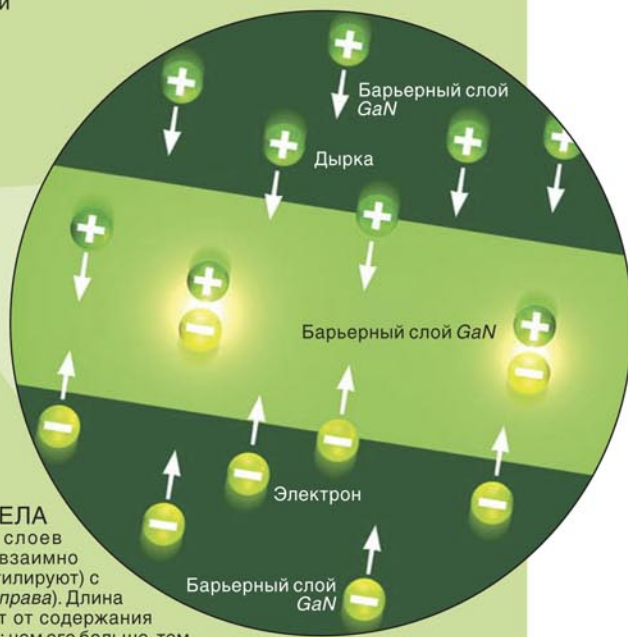


### СЛОЕННЫЙ ПИРОГ

Специалисты создают лазерный диод, осаждая слои полупроводниковых материалов на подходящую подложку. В нижний слой из нитрида галлия (GaN) они добавляют примесь кремния, чтобы создать избыток электронов, несущих отрицательные заряды, а в верхний — примесь магния, чтобы создать избыток положительных зарядов, или дырок. При подаче напряжения на электроды создается электрическое поле, которое движет электроны и дырки в промежуточные активные слои

### ВНУТРЕННИЕ ДЕЛА

Внутри активных слоев электроны и дырки взаимно уничтожаются (аннигилируют) с испусканием света (справа). Длина волны света зависит от содержания индия (In) в этом слое: чем его больше, тем зеленее свет. Но при этом выше вероятность, что индий в процессе изготовления будет собираться в островки. Островки изменяют длину волны испускаемого света, что недопустимо для лазера



ствующие приложенному внешнему электрическому полю. Их напряженность может достигать 100 В/мкм, что соответствует примерно 200 млн вольт на средний рост человека. В результате электроны оттягиваются от дырок, что препятствует их рекомбинации и, следовательно, генерации света. Фактически электроны собираются на одном конце длинного квантового «танцзала», а дырки — на противоположном, что лишает их возможности пересекать зал и встречаться друг с другом.

Эта досадная помеха, известная как квантово-ограниченный эффект Штарка, становится все более ощу-

тимой проблемой по мере превращения испускаемого света из фиолетового в синий и далее в зеленый. А с увеличением тока, проходящего через диод, рост числа носителей заряда частично блокирует внутренние электрические поля, препятствующие сближению электронов и дырок. В результате частичного экранирования этих полей электроны и дырки рекомбинируют с большей энергией, смещая цвет излучения к синему концу спектра.

Названные трудности и были главной причиной того, что высокоэффективные зеленые лазерные диоды и светодиоды больше десяти

лет оставались недостижимой мечтой. (В лазерной указке с зеленым лучом используется полупроводниковый лазер инфракрасного диапазона, осуществляющий накачку другого лазера с использованием сложной схемы удвоения частоты, которую характеризует низкий КПД.)

Группы исследователей из Калифорнийского университета в Санта-Барбаре и компании *Rohm* попытались обойти препятствие, применив новый подход. За основу они взяли тонкую пластинку монокристаллического GaN, отрезанную параллельно плоскости *m* (врезка вверху) более крупного кристалла и затем отполированную. Изготовление диодов на таких неполярных подложках позволяет избежать трудностей, свойственных изготовлению устройств на полярной плоскости *c*, поскольку электрические поля, создаваемые поляризацией и внутренними напряжениями, оказываются гораздо более слабыми.

### ОБ АВТОРАХ

**Сюдзи Накамура** (Shuji Nakamura) — профессор факультета материаловедения и директор Центра полупроводниковых источников света и дисплеев Калифорнийского университета в Санта-Барбаре. За свою работу в области синих светодиодов и лазерных диодов он получил Премию тысячелетия в области технологий за 2006 г. **Майкл Райордэн** (Michael Riordan) преподает историю физики и техники в Стэнфордском университете и в Калифорнийском университете в Санта-Круз. Он один из авторов книги *Crystal Fire: The Invention of the Transistor and the Birth of the Information Age* («Кристалльный огонь: изобретение транзистора и рождение информационной эпохи»).



Диоды, изготовленные на GaN-подложке, отличаются также более высоким КПД генерации света, чем у выращенных на сапфире, т.к. в них обнаруживается намного меньше дефектов кристаллической структуры — субмикроскопических нерегулярностей и несовпадений на границах раздела слоев. На таких участках рекомбинация электронов и дырок происходит с выделением тепла, а не с испусканием света. В процессе выращивания дефекты легко могут распространяться вверх через последовательные слои диода, формируя так называемые пронизывающие дислокации, которые достигают активных слоев. Такие изъяны резко снижали выход годной продукции, когда компании *Nichia* и *Sony* делали первые попытки производства синих лазерных диодов. Поскольку подложка из GaN создает несравнимо меньшее, чем сапфировая, количество дефектов в вышележащем слое GaN или одного из его сплавов, диоды, выращенные на неполярных GaN-подложках, способны генерировать гораздо больше света и при этом выделяют соответственно меньше тепла, которое нужно отводить.

В начале 2000-х гг. несколько групп исследователей, в том числе группа Ден Баарса и Спекса в Калифорнийском университете в Санта-Барбаре пытались использовать предложенный в конце 1990-х гг. метод выращивания на неполярной подложке. Первые устройства имели весьма скромные характеристики — в основном из-за отсутствия GaN-подложек высокого качества. Однако в 2006 г. токийская компания *Mitsubishi Chemical Corporation*, еще один партнер Калифорнийского университета в Санта-Барбаре и компании *Rohm*, начала поставки превосходных GaN-подложек плоскости *m* с малым количеством дефектов. Эти подложки со стороной меньше 1 см вырезались из кристаллов GaN размерами примерно с ластик.

Располагая новым материалом, группы в *Rohm* и Калифорнийском университете в Санта-Барбаре сумели в конце 2006 г. изготовить эффективные светодиоды, а в начале 2007 г. взялись за еще более трудную задачу создания лазерных диодов. В то дождливое субботнее утро 27 января 2007 г. аспирант университета Мэтью Шмидт (Matthew Schmidt) пришел в лабораторию, чтобы завер-

шить последний этап процесса. Затем он перенес изготовленный диод в соседнюю испытательную лабораторию и подключил к источнику питания. Аспирант увеличивал ток, и внезапно из диода вырвался узкий пучок сине-фиолетового света. «Ура, наконец-то я смогу защититься!» — подумал Шмидт.

Он позвонил своему научному руководителю Ден Баарсу, который сначала решил, что это розыгрыш, но затем известил всех членов группы и ректора Янга. Чтобы увидеть удивительный результат, все они через несколько минут примчались в лабораторию. Первый неполярный лазерный диод излучал на длине волны 405 нм, как и первое устройство компании *Rohm*, созданное несколькими днями позднее. При этом рабочие токи обоих диодов всего в два-три раза превышали токи серийных диодов компаний *Nichia* и *Sony*, следовательно, и проблему нагрева можно решить.

### Поход за зеленым светом

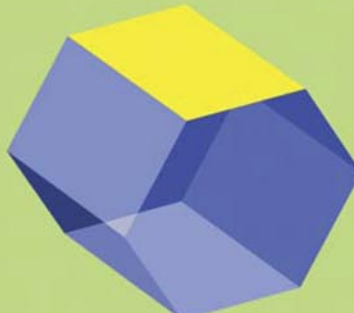
После успешного прорыва группа исследователей Калифорнийского университета в Санта-Барбаре решила прекратить все работы в об-

## НОВОЕ ОСНОВАНИЕ

Подложка представляет собой пластинку, вырезанную из монокристалла, и все, что выращивается на ней, «наследует» ее кристаллическую структуру. Синие лазерные диоды, применяемые в CD-плеерах *Blue-ray* и игровых консолях *Play Station 3*, выращиваются обычно на недорогих и легко доступных сапфировых подложках. Однако использовать такие подложки для создания зеленых лазерных диодов трудно. Поэтому ученые обратились к иным кристаллографическим плоскостям



**ПЛОСКОСТЬ С: КЛАССИЧЕСКИЙ СРЕЗ**  
Подложки, параллельные плоскости *c*, широко применяемые для синих лазеров, имеют ряд недостатков, в том числе создают электрические поля, которые препятствуют встречам электронов с дырками. При этом по мере продвижения в зеленую область спектра проблема усугубляется



**ПЛОСКОСТЬ М: ДОРОГАЯ АЛЬТЕРНАТИВА**  
Две исследовательские группы выращивают лазерные диоды в кристаллографической плоскости *m* — боковой поверхности кристалла. В диодах, выращенных в этой плоскости, не создаются сильные электрические поля, но такие подложки значительно дороже параллельных плоскости *c*



**ПОЛУПОЛЯРНЫЕ ПОДЛОЖКИ — КОМПРОМИСС**  
Третий вариант — полуполярные подложки, вырезанные под углом 45° к оси кристалла. В них также не создаются электрические поля, и они, похоже, позволяют получать лазерные диоды и светодиоды с более высокими характеристиками, чем подложки, параллельные плоскости *m*



## КАРМАННЫЕ ПРОЕКТОРЫ

Самые маленькие из доступных сегодня карманные проекторы имеют размер примерно с пульт дистанционного управления. Для получения света в них применяются светодиоды. К концу нынешнего года в продажу должны поступить первые лазерные модели. Хотя для выработки зеленого света в них используется техника удвоения частоты, они позволят создавать изображения с высоким разрешением и насыщенными цветами. В будущем модели с зелеными лазерными диодами размером с сотовый телефон позволят получать еще более яркие и эффектные изображения. Ниже показаны два ныне разрабатываемых лазерных прототипа и несколько светодиодных проекторов

### MICROVISION SHOW WX ▶

В этом лазерном прототипе красный, синий и зеленый лазеры фокусируются на одно зеркало размером с булавочную головку. Зеркало осуществляет быструю растровую развертку отраженных лучей, проецируя элементы изображения на экран или стену. Благодаря отсутствию объективов проектор не требует фокусировки  
**Разрешение:** 848 x 480 пикселей (эквивалентно DVD)  
**Доступность:** к концу 2009 г.



### LIGHT BLUE OPTICS

Над созданием лазерного проектора работает также новая компания *Light Blue Optics*. В устройствах используются микросхемы с жидкими кристаллами на кремнии (*liquid crystal on silicon, LCOS*), которые содержат тысячи крошечных ЖК-окон. Для пропускания света и формирования изображения LCOS-микросхема открывает и закрывает окна-пиксели в быстрой последовательности. Компания рассчитывает предложить устройство независимым производителям в начале следующего года  
**Разрешение:** 854 x 480 пикселей  
**Доступность:** 2010 г.



### 3M MPRO110 ▶

Светодиодный проектор *Mpro110*, выпущенный в 2008 г., стал первым карманным проектором, поступившим в продажу в США. Хотя по размерам этот LCOS-проектор несколько больше, чем *Samsung MBP200* (ниже), он позволяет проецировать видеофильмы с телевизионным качеством. Компания 3M предлагает лицензии на использование технологии, примененной в этом проекторе, в других устройствах, например в сотовых телефонах  
**Разрешение:** 640 x 480 пикселей (эквивалентно ТВ стандартной четкости)  
**Цена:** \$359

### ◀ Пикопроектор SAMSUNG MBP200

В этом светодиодном проекторе используется миниатюризованный вариант микросхемы *DLP (Digital Light Projection)* компании *Texas Instruments*. Свет от белого светодиода сначала проходит через быстро вращающийся цветовой диск, а затем попадает на систему из тысяч зеркал. Каждое зеркало размером примерно в 1/5 толщины человеческого волоса отпирает и запирает световой пучок тысячи раз в секунду. Свет, отраженный от зеркал, формирует пиксели, из которых составляется изображение

**Разрешение:** 480 x 320 пикселей (примерно как у смартфона)  
**Доступность:** К концу 2009 г.

### Светодиодный пикопроектор TOSHIBA ▶

В этом проекторе также используется технология *DLP*  
**Разрешение:** 480 x 320 пикселей  
**Цена:** \$399



и не такими малыми, как выращенные на неполярных подложках. Исследователи надеются, что одна из этих геометрий позволит им создать первые зеленые лазерные диоды и светодиоды большой интенсивности, излучающие на еще более длинных волнах. Компания *Rohm* работает в тех же направлениях, делая упор на неполярные подложки.

Однако для продвижения в область более длинных волн одних только новых подложек недостаточно. Для зеленых диодов требуется более высокая концентрация индия в активном *InGaN*-слое, что усиливает внутренние напряжения и нарушает кристаллическую структуру. При этом увеличивается число дефектов последней, что ведет к уменьшению светового выхода и увеличению выделения тепла. И если светодиоды еще способны работать при таком количестве дефектов, то по мере перехода от синего цвета к зеленому их КПД падает. Лазерные диоды еще требовательнее и не допускают такого количества дефектов. Самая большая длина волны, полученная сегодня от лазерного диода, равна 488 нм, что соответствует сине-зеленому участку спектра.

Кроме того, слои *InGaN* должны выращиваться при существенно более низких температурах — около 700° С против 1000° С для окружающих их слоев *GaN*, — чтобы атомы индия не отделялись от других атомов. Такое их отделение может привести к образованию островков неоднородного индиевого сплава, из-за чего энергия рекомбинации электронов и дырок будет различной в разных точках. Такой разброс энергий сделает спектр излучения слишком широким, т.е. не позволит получать когерентный монохроматический свет, какой должен излучать лазер. Поэтому, когда работники повышают температуру для формирования следующего слоя *GaN* поверх только что созданного слоя *InGaN*, они должны действовать очень осторожно, чтобы не сформировалось слишком много таких островков. А с увеличением концентрации индия процесс усложняется.

ласти полярных диодов и сосредоточиться на неполярных. Кроме того, они начали исследование близкой стратегии, основанной на использовании «полуполярных» *GaN*-подложек, представляющих собой пластинки, вырезанные под углом

45° к главным кристаллографическим осям (врезка на стр. 73). Диоды, изготовленные на таких подложках, также характеризуются гораздо меньшими внутренними электрическими полями, чем выращенные на полярных подложках, хотя



В случае полярных диодов, в которых существуют сильные внутренние поля, трудностей становится больше, изготовители вынуждены создавать чрезвычайно тонкие активные слои *InGaN* — толщиной меньше 4 нм, т.е. всего около 20 атомных слоев. Такой подход позволял электронам и дыркам держаться ближе друг к другу, что увеличивало вероятность их встречи и рекомбинации для генерации света. Однако в случае неполярных и полуполярных диодов, где внутренние электрические поля почти пренебрежимо малы, активные слои *InGaN* можно делать значительно более толстыми — до 20 нм. Несмотря на то что островки индия в таких слоях все же образуются, концентрируются они в основном вблизи границ с окружающими слоями *GaN*. Это обстоятельство увеличивает вероятность генерации света с более узким спектром, необходимым для обеспечения лазерного эффекта. Увеличение толщины активного слоя упрощает процесс производства и в других отношениях, позволяя, в частности, избежать использования дополнительных «покровных» слоев в диодной стопке (их добавляли для того, чтобы улучшить удержание и направление фотонов).

Со дня демонстрации 27 января 2007 г. группы Калифорнийского университета в Санта-Барбаре и компании *Rohm* неуклонно двигались в область все более длинных волн, публикуя новые данные чуть ли не каждый месяц. Так, в апреле 2007 г. университет сообщил о создании неполярного светодиода с длиной волны излучения 402 нм (сине-фиолетовый цвет) с квантовым выходом (отношением числа испущенных фотонов к числу введенных электронов) больше 45%. Это значит, что всего за год КПД этих устройств был повышен в 100 раз. Через несколько месяцев та же группа сообщила о создании полуполярных зеленых светодиодов, излучающих на длинах волн до 519 нм при КПД около 20%. (К сожалению, по невыясненным пока причинам эти све-

## Шмидт увеличивал ток, и внезапно из диода вырвался узкий пучок сине-фиолетового света. «Ура, наконец-то я смогу защититься!» — подумал аспирант

диоды страдали сдвигом длины волны в синюю сторону.)

А совсем недавно группа *UCSB* изготовила желтые полуполярные светодиоды с длиной волны излучения 563 нм и КПД выше 13%. Это были первые эффективные желтые светодиоды на основе *GaN* и его сплавов. Неполярные лазерные диоды стали по своим характеристикам приближаться к полярным. В мае 2008 г. компания *Rohm* сообщила о создании неполярных лазерных диодов с длиной волны излучения до 481 нм — близкой к рекорду в 488 нм, удерживаемому полярными диодами.

### Великое время

Однако тот факт, что устройство было изготовлено в лаборатории, еще не означает, что оно готово к запуску в серию. Главное условие начала массового производства неполярных и полуполярных светодиодов и лазерных диодов на основе *GaN* (неважно, фиолетовых, синих, зеленых или желтых) — доступность достаточно больших подложек по приемлемой цене. Сегодня *Mitsubishi* поставляет подложки площадью около 1 кв. см, вырезаемые из небольших кристаллов, но нужны подложки, площадь которых была бы раз в 20 больше.

Компания *Mitsubishi* сегодня совершенствует технологию, чтобы начать промышленное производство неполярных подложек из *GaN*. По словам Кендзи Фудзито (*Kenji Fujito*), разработавшего метод, процесс выращивания долгов и кропотлив. Пока *Mitsubishi* может производить такое количество неполярных и полуполярных *GaN*-подложек, которого едва достаточно для удовлетворения исследовательских потребностей Калифорнийского университета в Санта-Барбаре и компании *Rohm*. По мнению Фудзито, начать производство подложек диаметром

5 см компания сможет не раньше, чем через год или два. С ним согласен и Роберт Уокер (*Robert Walker*), специалист по производству полупроводниковых приборов из компании *Sierra Ventures*, который считает, что производство неполярных подложек, будь то в компании *Mitsubishi*, или в других, например *Kyua Technologies* (в США), может стать рентабельным только через несколько лет. Однако Ден Баарс считает, что промышленное производство неполярных диодов может начаться раньше, указывая на повышение квантового выхода и, следовательно, снижение общих производственных затрат, которые могут обеспечить такие подложки.

Тем временем лабораторные исследования продолжаются. В сентябре 2008 г. группа Калифорнийского университета в Санта-Барбаре сообщила о получении вынужденного излучения с длинами волн 480 нм (сине-зеленый свет) и 514 нм (зеленый свет) от неполярных и полуполярных *GaN*-диодов с оптической накачкой от другого лазера. Получение подобных излучений от диодов с накачкой электрическим током не заставит себя долго ждать. Неудивительно, если сообщение об этом появится уже в нынешнем году. ■

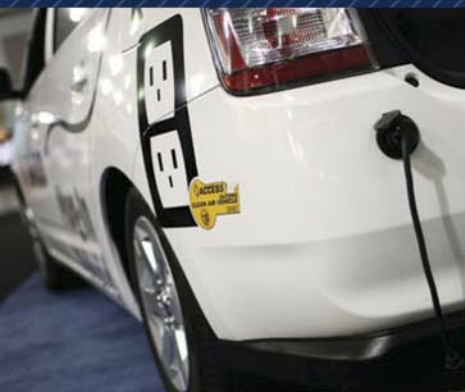
Перевод: И.Е. Сацевич

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- *The Blue Laser Diode: The Complete Story*. Second edition. Shuji Nakamura, Stephen Pearton and Gerhard Fasol. Springer, 2000.
- *New GaN Faces Offer Brighter Emitters*. Robert Metzger in *Compound Semiconductor*, Vol. 12, No. 7, pages 20–22; August 2006.
- *Non-polar GaN Reaches Tipping Point*. Steven DenBaars, Shuji Nakamura and Jim Speck in *Compound Semiconductor*, Vol. 13, No. 5, pages 21–23; June 2007.



# СИЛА В ВОЗОБНОВЛЕНИИ





Мэтью Уолд

Иллюстрации  
Дона Фоули

## Борьба с глобальным изменением климата и обеспечение энергетической безопасности вынуждают разрабатывать альтернативы ископаемым видам топлива

**В**озобновляемая энергия, получаемая за счет фотоэлектричества и этанола, обеспечивает сегодня менее 7% потребления США. Если исключить то, что вырабатывают гидроэлектростанции, остается менее 4,5%. В глобальных масштабах возобновляемые источники энергии (ВИЭ) дают лишь около 3,5% электричества и еще менее того моторного топлива. Для того чтобы вести эффективную борьбу с выбросами парниковых газов, дефицитом торгового баланса и зависимостью от иностранных поставщиков, необходимо существенно увеличить долю ВИЭ в США. Как решить проблему?

Здесь прежде всего следует учитывать, что данная задача включает по меньшей мере три сложные составляющие. Первая и наиболее очевидная из них состоит в том, как использовать энергию ветра, солнца и сельхозкультур экономически целесообразным путем. Затем эту энергию необходимо перерабатывать из тех районов, где она легко генерируется (например, солнечный американский Юго-Запад или обдуваемое ветрами плато Высокие равнины), к местам потребления. И, наконец, нужно переводить эту энергию в ту или иную приемлемую форму. Для движения грузовых и легковых автомобилей на электрической тяге необходимы аккумуляторы

большой мощности, которые накапливают необходимый объем электрической энергии.

В настоящее время эта область энергично развивается. По данным проведенного под эгидой ООН исследования, глобальные капиталовложения в возобновляемую энергетику составили в 2007 г. \$148,4 млрд, что на 60% превышает уровень 2006 г. Новые ветровые установки и солнечные батареи только дополняют инфраструктуру, основанную на тепловых электростанциях на угле, число которых возрастает из года в год.

Несмотря на то что в последние несколько лет стоимость солнечной, и в особенности ветровой энергии существенно снизилась, ее выработка может быть конкурентоспособной лишь при условии субсидирования или предоставления налоговых льгот. В США производство электроэнергии (среднее значение при использовании угля, природного газа, ядерного топлива и гидроисточников) обходится индивидуальному бытовому потребителю в среднем в 11 центов за 1 кВт/ч, тогда как энергия из возобновляемых источников оказывается намного дороже. Несомненно, что в отношении всех видов энергии властями постоянно проводится своеобразная политика кнута и пряника — то ради

обеспечения работой шахтеров, то для доказательства, что расщепление атома может быть полезным для чего-то еще, кроме изготовления атомных бомб. Однако в большинстве случаев развитие ВИЭ получает более надежную поддержку в виде особых квот. Способствовать такому развитию могло бы и повышение рыночных цен на традиционные виды топлива, выравнивающее их по стоимости с ВИЭ.

Положительную роль сыграло бы и взимание платы за выбросы углерода: введение налога в размере \$10 на каждую тонну выбросов в атмосферу углекислого газа увеличивало бы примерно на 1 цент стоимость 1 кВт/ч электроэнергии, вырабатываемой тепловыми станциями на угле. Масштабы подобных преобразований огромны, к тому же производство электроэнергии путем сжигания угля примерно на 70% превосходит по энергоемкости использование в этих целях энергии ветра. Столь же внушительные выглядят показатели для нефти и природного газа.

Далее мы предлагаем обзор элементов энергетической системы со значительным дополнением в виде ВИЭ, и показываем, как они могли бы сочетаться и дополнять друг друга. ■

Перевод: П.Ю. Худoley



# ВЫРАБОТКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

## Термоэлектрическая электростанция



На такой электростанции параболические зеркала, поворачиваясь вслед за Солнцем, концентрируют солнечный свет на теплоприемник и нагревают находящийся внутри теплоноситель на основе воды или масла. По трубопроводам теплоноситель подается в теплообменник, где образуется пар, вращающий турбину. В перспективе в качестве теплоносителя можно будет использовать натрий, что позволит достигать более высоких температур без повышения давления. Такая гелиостанция может служить дополнением к тепловой электростанции на природном газе, который будет использоваться для генерации пара после захода солнца или в пасмурную погоду.

Возможен вариант в виде «солнечной башни», напоминающей обычную водонапорную, которая заполнена расплавленным натрием и нагревается за счет огромного количества зеркал — некоторые из них простираются на расстояния в километр. Избыточная тепловая энергия за дневной рабочий цикл может накапливаться в специальных термоаккумуляторах, и за счет этого можно обеспечить генерацию электрической энергии в темное время суток

**СТАТУС** Термоэлектрические электростанции, имеются промышленные образцы

**ЦЕНА** 19,9–28,1 цента/КВт

**ПРЕИМУЩЕСТВА** Не требуют особых условий при размещении и выводе из эксплуатации

## Ветрогенератор



## Электричество из энергии морских волн



В морских волнах заключена колоссальная энергия, которую можно преобразовывать в электричество. Проблема заключается в том, что вдоль береговой линии необходимо строить гидросооружения. По данным Министерства энергетики США, погонный метр прибрежной полосы Северо-Западного побережья Тихого океана обладает энергией от 40 до 70 КВт. Это направление электроэнергетики существенно отстает от солнечной и ветровой генерации. Согласно прогнозам экспертов, в ближайшие 200 лет можно ожидать широкого распространения преобразования энергии волн в электричество. Принцип действия волновой электростанции, построенной компанией *Wevegen* в Шотландии, заключается в том, что вода при прибое попадает в расположенные ниже уровня моря водозаборники, а затем возвращается в океан. Таким образом, в движение приводится столб воды, заключенный в вертикально расположенных цилиндрических камерах. Находящийся над уровнем воды воздух поочередно сжимается или всасывается, что обеспечивает вращение турбины

**СТАТУС** Созданы опытные образцы

**ЦЕНА** Не определена

**ПРЕИМУЩЕСТВА** Передача энергии на малые расстояния, близость к потребителям

**НЕДОСТАТКИ** Высокая стоимость земельных участков в прибрежной полосе для строительства масштабных сооружений



Ветер — наиболее перспективный источник энергии, но в то же время с его использованием возникает больше всего проблем. В 2007 г. выработка энергии ветрогенераторами увеличилась на 5 тыс. МВт, а прирост составил 46%. В то же время эффективность такой генерации составила 28% от установленной мощности, т.к. ветровые установки работают и в ночное время, когда потребление энергии понижается.

Повысить КПД ветрогенераторов удается за счет увеличения их размеров и мощности. Последние образцы выдают 6 МВт мощности, и этой энергии достаточно, чтобы обеспечивать работу нескольких торговых центров. Размер лопасти винта таких генераторов достигает 65 м, что соизмеримо с размахом крыльев самолета «Боинг-747», и КПД таких машин находится на уровне 50%

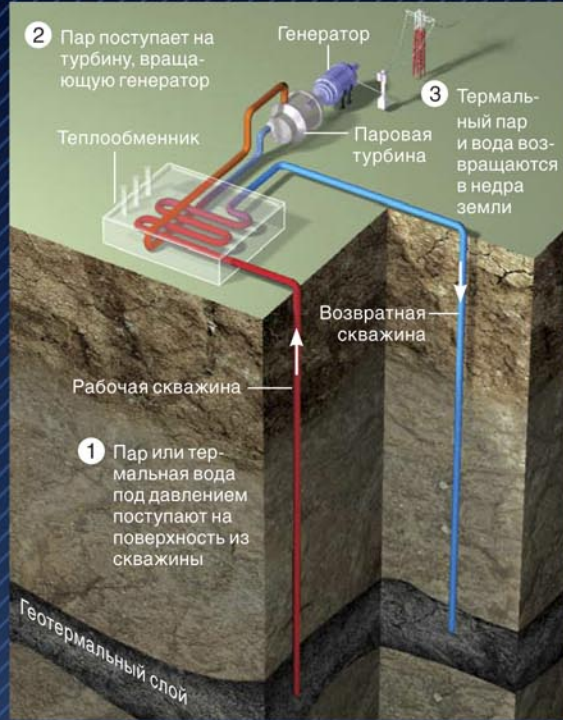
**СТАТУС** Коммерческая эксплуатация, значительный рост

**ЦЕНА** 6,1–8,4 центов/КВт (передача энергии на большие расстояния увеличит стоимость)

**ПРЕИМУЩЕСТВА** Огромный потенциал ветровой энергии

**НЕДОСТАТКИ** Сложно регулировать генерацию; поступают протесты населения, связанные с высоким уровнем шума; представляют угрозу для птиц и млекопитающих; оказывают воздействие на систему навигации аэропортов; удалены от потребителей

## Геотермальные источники энергии



В отличие от других альтернативных источников энергии мощность геотермальной можно регулировать. По мнению директора Национальной лаборатории им. Лоуренса в Беркли Стивена Чу (Steven Chu), энергия Земли всегда находится у нас буквально под ногами и ее можно и нужно использовать. Не везде термальные источники энергии выходят на поверхность, но там, где это происходит, люди научились этим пользоваться. Так, в общем энергетическом балансе геотермальные источники на Гавайях составляют 25%, а в Калифорнии — 6%. В основном «в дело идет» геотермальная вода, выходящая на поверхность из недр Земли, но в отдельных случаях приходится бурить глубокие скважины, по которым пар или нагретая термальная вода поступают в теплообменник, где генерируется пар для турбины

**СТАТУС** Коммерческая эксплуатация в малых объемах

**ЦЕНА** 6,2–7,6 центов/КВт

**ПРЕИМУЩЕСТВА** Постоянный, регулируемый источник энергии

**НЕДОСТАТКИ** Геотермальный пар и вода могут содержать компоненты, ухудшающие работу теплообменника и загрязняющие окружающую среду; источники энергии часто находятся далеко от потребителей

## Фотоэлектрические генераторы

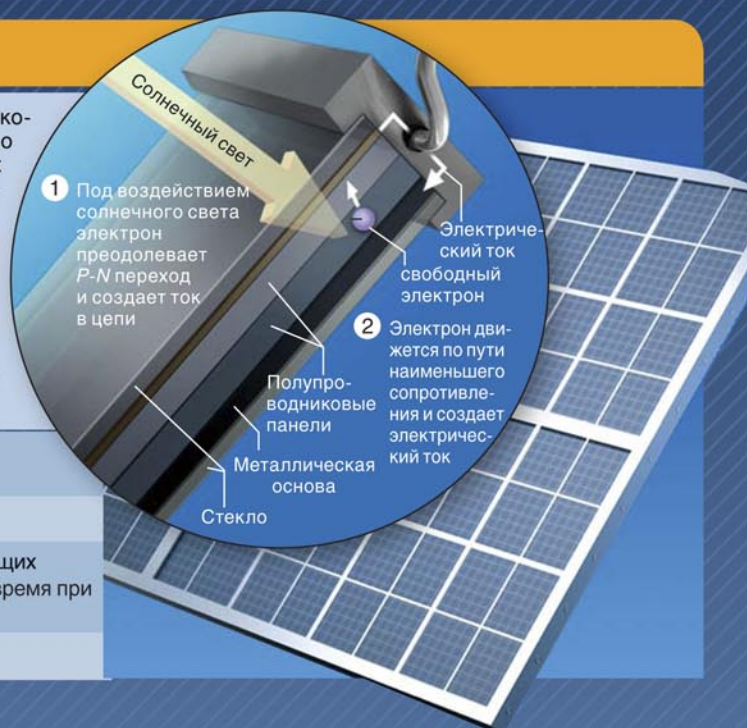
Фотоэлектрический элемент состоит из двух слоев полупроводниковых материалов, в одном из которых имеется избыток отрицательно заряженных электронов, а в другом — положительно заряженных «дырок». При попадании на такой элемент солнечного света электрон преодолевает  $P-N$  переход, за счет чего генерируется электрический ток. Это эффект был открыт 169 лет назад, но и сегодня ученые и инженеры работают над его усовершенствованием. Впервые фотоэлектрические преобразователи были использованы в космосе, и сегодня они незаменимы на космических станциях, но на Земле не могут конкурировать с традиционными и возобновляемыми источниками энергии. Снижение стоимости фотоэлектрических генераторов может быть достигнуто за счет их использования в элементах крыш и фасадов вновь возводимых зданий

**СТАТУС** Коммерческая эксплуатация при субсидировании со стороны государства

**ЦЕНА** 46,9–70,5 центов/КВт

**ПРЕИМУЩЕСТВА** Могут размещаться в городских районах, испытывающих дефицит энергии, вырабатывают энергию в дневное время при максимальной нагрузке на сеть

**НЕДОСТАТКИ** Объемы производства очень низкие



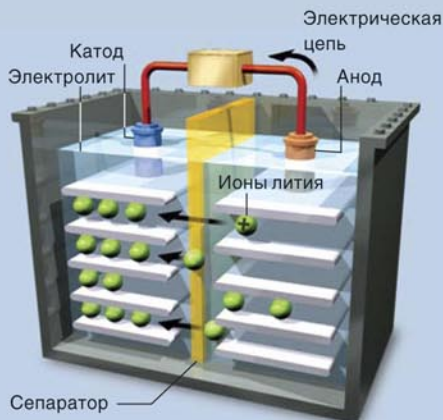


# ХРАНЕНИЕ И ПЕРЕДАЧА ЭНЕРГИИ, ПОЛУЧАЕМОЙ ИЗ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ

Ветровые и солнечные источники энергии требуют дополнительных систем для аккумуляции и передачи энергии. Такие устройства уже существуют

## Автомобильные аккумуляторы

Автомобильная промышленность испытывает потребность в литий-ионных аккумуляторах с ресурсом 15 лет, способных выдержать до 5 тыс. циклов зарядки. Цена такой батареи должна быть около \$300 за Квт•ч удельной энергии, автомобиль должен проехать без подзарядки не менее 55 км, потребляя 1 Квт•ч на 4,5 км пути. Компания GM планирует представить полноценный электромобиль с литий-ионными аккумуляторными батареями в 2010 г., Ford — только к 2015 г.

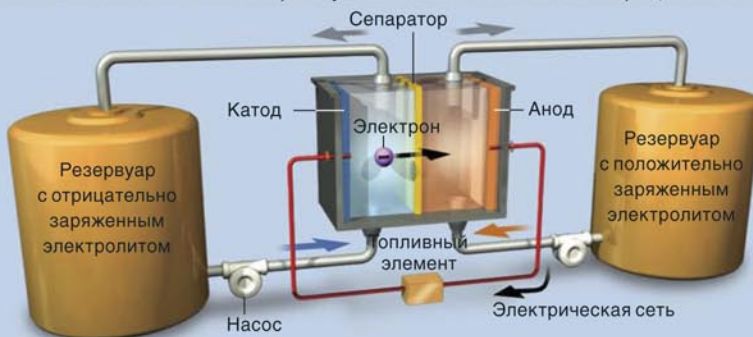


## Топливные элементы

Электрическая энергия от солнечных батарей, ветровых генераторов и угольных электростанций может быть использована для расщепления молекулы воды на атомы кислорода и водорода. Полученный в процессе гидролиза водород может быть использован для получения электричества. Проблема состоит в том, что устройство для генерации энергии из водорода стоит несколько тысяч долларов за киловатт мощности, а КПД всего цикла — меньше 50%. Только половина из затраченной энергии возвращается потребителю

## Стационарные аккумуляторные батареи

Компания VRD Power Systems предлагает потребителям аккумуляторы большой емкости, заполненные сотнями литров электролита. В режиме зарядки такие устройства накапливают энергию, а в режиме разрядки способны выдавать до МВт•ч энергии. Стоимость КВт в таких устройствах — от \$500 до \$700 при КПД 75%. Использование стационарных аккумуляторных батарей в совокупности с солнечными источниками энергии увеличивает стоимость генерации на 50%



## Сжатый воздух

Компания Alabama Energy Cooperative в 1991 г. построила хранилище для сжатого воздуха, который использовался на угольной электростанции для повышения эффективности ее работы. В ночное время, когда потребление энергии снижается, часть вырабатываемой станцией энергии идет на закачку воздуха в хранилище. В дневное время, когда потребление энергии возрастает, сжатый воздух подается в камеру сгорания турбины генератора. Данная технология позволяет снизить расход топлива на 30% и увеличить выработку энергии

## Линии электропередач

Альтернативные источники энергии имеют большую привлекательность при условии, что они интегрированы в единую энергетическую сеть, способную передавать энергию на значительные расстояния. По заключению Министерства энергетики США, существует острая потребность в развитии локальных и магистральных сетей. По оценкам специалистов, следует построить более 25 тыс. км линий электропередачи стоимостью \$1,7 млн за километр. В данном случае речь не идет о новых технологиях, а о том, что необходимо создать трансконтинентальную энергосистему и выделить \$60 млрд на ее строительство

- Проект энергосистемы
- Существующие высоковольтные линии 765 КВ
  - Проектируемые линии 765 КВ
  - ⌘ Преобразователь AC-DC-AC





## ИСТОЧНИКОВ

## Биотопливо



### Охлаждение льдом

Компания *Ice Energy* предлагает в качестве кондиционера использовать установки для производства льда, который заготавливается в ночное время, когда тариф на электроэнергию минимальный. Экономия достигается также и за счет того, что в ночные часы температура воздуха ниже, чем в дневные, и компрессор тратит меньше энергии на заготовку запаса льда. В дневные часы воздух внутри помещения охлаждается за счет прокачки через холодную массу льда

Существуют три основных технологии производства топлива для автомобилей из возобновляемых источников.

Для дизельных двигателей автомобилей можно использовать масло сои или других растений. В этом случае топливо должно пройти сертификацию и иметь формулу сложного эфира. Процесс получения такого топлива довольно прост, но в данном случае делу мешают дебаты о том, что лучше, топливо или продовольствие, т.к. в качестве сырья используют пищевые продукты.

Так же просто можно расщеплять растительный сахар и получать спирт, но и этот процесс имеет ограничения, т.к. заправочная станция может составить конкуренцию винному магазину.

Огромные возможности по получению спирта тают в себе растения, не используемые в пищу, и отходы растениеводства, такие как солома. Однако в состав этого сырья входит глюкоза, которая плохо расщепляется в обычном процессе брожения, поэтому требуются сложные технологические решения.

Для того чтобы решить эту проблему, ученые в ходе химической реакции расщепляют целлюлозу на катализаторе, используя пар и кислоту. В биологическом цикле получения биотоплива используются генно-модифицированные бактерии и грибковые культуры. В качестве растительного сырья можно использовать отходы деревообработки, макулатуру и отходы сельскохозяйственного производства.

Несмотря на то что эти технологии прошли лабораторные и пилотные испытания, широкого применения они еще не получили



**СТАТУС** На пути к коммерческой реализации

**ЦЕНА** Не определена, т.к. цены на бензин и дизельное топливо нестабильны

**ПРЕИМУЩЕСТВА** Низкие выбросы окиси углерода; уменьшается зависимость от поставок нефти

**НЕДОСТАТКИ** Используются пищевые продукты; получение растительного сырья требует расходования обычного топлива, поэтому выбросы в атмосферу сокращаются незначительно; биотопливо имеет более низкую энергоемкость по сравнению с бензином

### ОБ АВТОРЕ

**Мэтью Уолд** (Matthew L. Wald) пишет об энергетике в газете *New York Times* с 1979 г. Темы его публикаций — переработка нефти, электрические и гибридные автомобили, загрязнение окружающей среды. Эта статья — его четвертая в журнале *Scientific American*.

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Сценарий Министерства энергетики США по обеспечению к 2003 г. 20% нужд электроэнергии за счет энергии ветра: [www1.eere.energy.gov/windandhydro](http://www1.eere.energy.gov/windandhydro)
- В Калифорнии планируется построить гибридные электростанции, перерабатывающие солнечную энергию, когда она доступна, и природный газ, когда она недоступна: [www.inlandenergy.com](http://www.inlandenergy.com)
- Информация о хранилище сжатого воздуха: [www.solarfeeds.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=3256:compressed-air-energy-storage-further-along&catid=80:80&itemid=173](http://www.solarfeeds.com/index.php?option=com_content&view=article&id=3256:compressed-air-energy-storage-further-along&catid=80:80&itemid=173)
- Данные Ассоциации производителей возобновляемых видов топлива о целлюлозном этаноле: [www.ethanolrfa.org/resource/cellulosic](http://www.ethanolrfa.org/resource/cellulosic)



Марк Фишетти

# СЕНСОРНЫЕ ЭКРАНЫ ИЗМЕНЯЮТ РЫНОК

Когда в 2007 г. компания *Apple* выпустила *iPhone*, большой сенсорный экран сразу же сделал этот прибор хитом продаж. Поскольку *iPhone* работает только в беспроводной сети AT&T в США, операторы других сетей стали умолять своих изготовителей телефонов быстро создать ему конкурентов. Гонка началась, и к сезону отпусков 2008 г. появились другие устройства с сенсорными экранами. Сразу поступили на рынок *Blackberry Storm* компании *Research in Motion*, работающий в сети *Verizon*, *G1 (T-Mobile)* компании HTC, *Instinct (Sprint)* компании *Samsung* и другие, в основном по розничной цене около \$200.

Каждое из этих устройств можно назвать смартфоном, а это обычно значит, что технология достаточно мощна для предоставления широкого спектра услуг кроме собственно телефонных и передачи текстовых сообщений. Часто это значит также, что операционная система открыта для сторонних разработчиков ПО, желающих создать больше новых свойств. Смартфоны все шире используются для связи через так называемые сотовые сети третьего поколения (3G), которые позволяют быстрее вести поиск в Интернете, а также отправлять и получать электронную почту. Однако главная приманка для покупателей — все же сенсорный экран. «У каждого провайдера на витрине есть смартфон, который он активно рекламирует, пытаясь конкурировать с аппаратом *iPhone*», — говорит Росс Рубин (Ross Rubin), директор по анализу отрасли в компании *NPD Group*, которая занимается исследованием рынка.

Карманные устройства битком набиты аппаратурой, включая цифровые фото- и видеокамеры, аудиопроигрыватели и эффектные экраны (на илл.). Скоро они превратятся в маленькие компьютеры размером с кошелёк. *Hewlett-Packard* и другие компании начали предлагать такие «нетбуки» со средствами 3G-Интернета, а вскоре ожидаются и услуги сотовой связи.

В смартфонах сочетается невероятное количество телекоммуникационных возможностей, включая электронную почту, веб-браузеры, GPS-навигаторы и, разумеется, настоящие сотовые телефоны. А вскоре их будет еще больше. «В 3G-сетях есть еще уйма места», — указывает Рубин. Однако со временем обещание предоставить мобильной связи такую же ширину полосы, как у DSL или кабельных сетей, которыми люди сегодня пользуются дома, потребует перехода на сети четвертого поколения (4G), создание которых под названиями LTE (AT&T и Verizon) и WiMAX (Sprint) уже планируется.

Когда технология 4G будет внедрена, поставщики услуг связи смогут в итоге развернуть беспроводные сети, что позволит потребителям покупать телефоны разных изготовителей, способные работать в разных сетях, будь то AT&T или Verizon. Телефоны при этом, возможно, станут дороже, поскольку операторы сетей не будут субсидировать их ради привязки к двухгодичному контракту на обслуживание. «Вы просто будете платить за услуги ежемесячно, а возможно, и каждый день, — говорит Рубин, — но вам не нужно будет платить за переход с одной сети на другую». ■

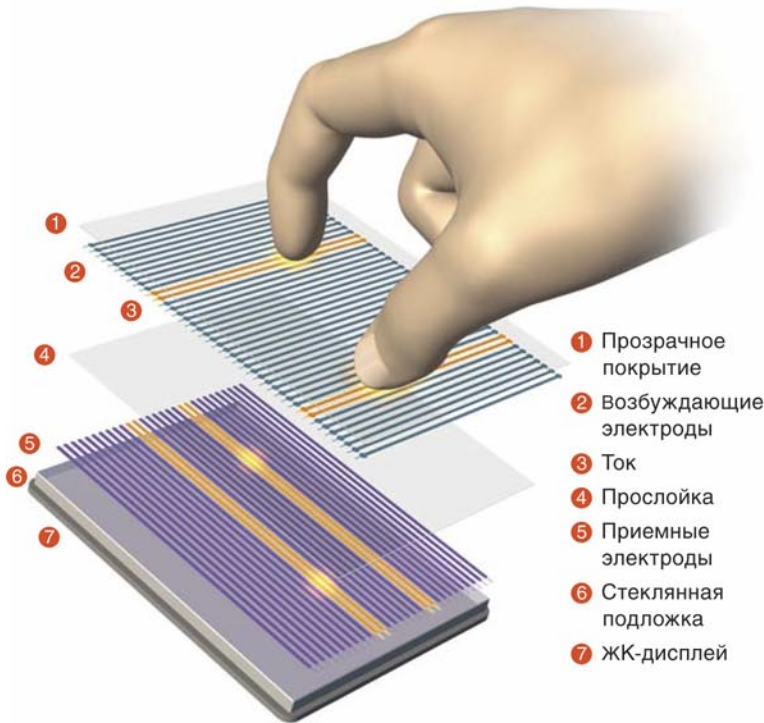


→ СМАРТФОНЫ, такие как *iPhone* корпорации *Apple* (вверху) или *Blackberry Storm* (внизу) напичканы автономными компонентами и телекоммуникационной аппаратурой

- 1 Аккумулятор
- 2 Камера
- 3 Микрофон
- 4 Память
- 5 Сотовый приемопередатчик
- 6 USB-порт
- 7 Процессор
- 8 Вибромотор
- 9 Акселерометр

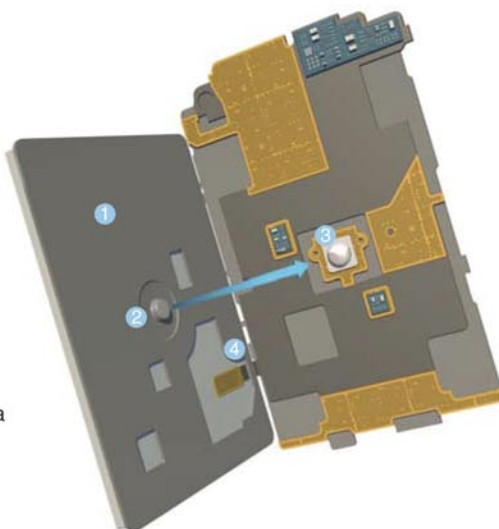






- 1 Прозрачное покрытие
- 2 Возбуждающие электроды
- 3 Ток
- 4 Прослойка
- 5 Приемные электроды
- 6 Стеклоподложка
- 7 ЖК-дисплей

➔ ЭКРАН в устройствах *iPhone* и *Storm* – сенсорный, емкостного типа. В нем используются две взаимно перпендикулярные системы электродов: возбуждающие, на которые подается ток от аккумулятора, и приемные. Когда экран касается проводящий предмет, например кончик пальца, он изменяет емкость между соседними приемными электродами, что и определяет точку прикосновения. Большинство экранов способны воспринимать в каждый момент только одно прикосновение, но экран *iPhone* может воспринимать одновременные прикосновения двух пальцев



- 1 ЖК-подложка
- 2 Выступ
- 3 Выключатель
- 4 Пружины подвески экрана

➔ ОЩУЩЕНИЕ от прикосновения к прибору *Storm* обеспечивает пользователю тактильную обратную связь. При нажатии пальцем весь экран, подвешенный на пружинках, чуть вдавливаются, и выступ на его обратной стороне нажимает на микровыключатель, который в ответ дает толчок

### ЗНАЕТЕ ЛИ ВЫ...

**ВСТРЯХНИТЕ ЕГО.** В телефоны с сенсорным экраном встроены акселерометры, которые определяют, в «пейзажной» или «портретной» ориентации находится прибор. Однако их наличие позволяет реализовать и новые приложения. Если *iPhone* выдает список ближайших ресторанов, то его встряхивание меняет порядок элементов этого списка. Кроме того, акселерометр может заблокировать съемку при слабой освещенности, если телефон держат недостаточно устойчиво.

**МОБИЛЬНЫЕ ИНТЕРНЕТ-УСТРОЙСТВА.** Растет интерес к мобильным интернет-устройствам (*Mobile Internet Devices, MIDs*), т.к. сенсорный экран требует увеличения размеров прибора. Из-за сенсорного экрана размер сотовых телефонов становится больше. *MID* почти вдвое больше обычного сотового телефона с сенсорным экраном и обычно бывает оптимизирован применительно к какой-то одной функции, например функции видекамеры, способной непосредственно загружать снимаемый материал в Интернет через беспроводную линию связи, или мобильной видеоигровой консоли, позволяющей людям играть друг с другом, путешествуя по всему миру. Корпорация *Intel* пропагандирует концепцию и название *MID* отчасти потому, что производит процессор *Atom*, способный управлять этими устройствами и уже примененный в очень маленьком «нетбуке», оптимизированном для поиска в Интернете.



- 1 Свободный грузик
- 2 Пружина
- 3 Микроконденсатор
- 4 Неподвижный конденсатор

➔ АКСЕЛЕРОМЕТР реагирует на повороты прибора из вертикального положения в горизонтальное, что позволяет программе реорганизовать изображение, так чтобы заполнить весь экран. В трехосном микроэлектромеханическом устройстве компании *STMicroelectronics* используется грузик (синий), удерживаемый пружинами. Когда его положение изменяется, закрепленные на нем электроды смещаются относительно неподвижных, и соответствующие изменения емкости определяют направление и величину смещения этого грузика в плоскости X–Y. Второй датчик (зеленый) на той же микросхеме обнаруживает смещения в направлении Z



## Астрономия в образах и цифрах

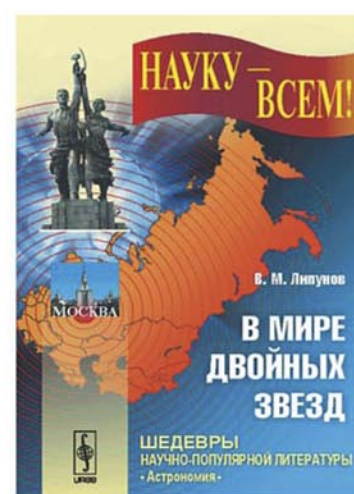


Настоящее пособие представляет собой авторский элективный курс «Астрономия в образах и цифрах», предназначенный для учащихся 8–11 классов общеобразовательных учреждений естественно-математического профиля. Курс основан на знаниях и умениях, полученных учащимися при изучении математики и физики с использованием астрономического материала.

**Попова А.П.** Астрономия в образах и цифрах. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009.

Основная задача курса — показать возможность межпредметной интеграции астрономии, математики и физики.

В издании приводятся обширный познавательный материал, анализ различных астрофизических явлений, задания и методика проведения наблюдений, а также различные виды задач, для решения которых необходимы элементарные знания по математике и по физике. Кроме того, даются готовые разработки нестандартных заданий — в форме игры, викторины, конференции, астрофизического турнира, математического КВН, тематических кроссвордов для закрепления изученной информации.



## Двойные звезды: новые идеи

В настоящей книге в популярной форме рассказывается о новых открытиях, идеях и гипотезах в области изучения двойных звезд. Последовательность изложения соответствует последовательным ста-

**Липунов В.М.** В мире двойных звезд. Изд. 2-е. Серия: Науку — всем! Шедевры научно-популярной литературы. М.: Книжный дом «Либроком», 2009.

диям жизни (эволюции) двойных звезд. Рассказ о каждой стадии ведется на примере конкретно наблюдаемой двойной системы с описанием живой истории, ее открытия и исследования. При этом раскрывается суть основных астрофизических методов исследования двойных систем.

Книга предназначена для всех, кто интересуется астрономией, в том числе для школьников, студентов, преподавателей.

## Физика войны и мира

Данная книга — вторая в трилогии «Круг Ландау» (первая книга — «Жизнь гения», вышедшая в 2008 г.), продолжающая рассказ об академике Л.Д. Ландау (1908–1968), лауреате Нобелевской премии, Ленинской и трех Сталинских премий. В ней рассказывается о выдающихся результатах, полученных группой Ландау в 1944–1953 гг. в области ядерной физики и физики взрыва в период противостояния СССР и США. На основе рассекреченных докумен-

тов (1999–2007 гг.) отмечается значение исследований группы Ландау по Атомному проекту СССР, говорится об уравнениях Ландау — Лифшица — Халатникова, решение которых позволило дать рабочую формулу Ландау для расчета КПД (доли выгорания ядерной взрывчатки) в различных конструкциях атомной и водородной бомб и о других теоретических результатах военного значения. Подробно воссоздана история написания десятитомного курса теоретической

физики Ландау — Лифшица, приведена библиография томов на русском и 19 иностранных языках, рассказано о малоизвестных, в том числе драматических событиях при работе соавторов над томами курса. Приведены воспоминания участников знаменитого семинара Ландау, а также физиков, сдававших экзамены «теорминимума».

**Горобец Б.С.**  
Круг Ландау: Физика войны и мира. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009.



## Как же управлять?

Книга известного английского ученого посвящена проблеме управления большими системами, в частности, руководству промышленной фирмой. Сегодня подготовка управляющих решений требует от администраторов знания науки управления и владения вычислительной техникой как инструментом, способствующим успешной реализации принимаемых решений. Современная фирма характеризуется огромным разнообразием возможных состояний, поэтому управление ею должно строиться иерархически, что показано в первой части. Лучший аналог требуемой системы как жизнеспособного организма — центральная нервная система человека, созданная за миллионы лет естественного отбора. Во второй части мо-

нографии рассматриваются функции органов человеческого организма, управляемых нервной системой. Доказывается необходимость первых четырех уровней системы управления фирмой. Пятому, высшему уровню управления и структуре построения фирмы, соответствующей предлагаемой автором модели, посвящена третья часть книги. Даны практические рекомендации относительно функций всех подсистем руководства фирмой при условии использования ЭВМ как инструмента непрерывного управления деятельностью фирмы и ее подразделений, использования ими ресурсов, инвестиций, а также преодоления надвигающихся трудностей или срывов работы. В высшей степени

**Бир С.** Мозг фирмы. Пер. с англ. Изд. 3-е. (Stafford Beer. Brain of the Firm). М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ». М.: 2009.

поучительна четвертая часть книги. Вместе со своими чилийскими коллегами С. Бир в кризисной и небезопасной обстановке создал систему управления экономикой целой страны, позволившую поддерживать правительство Альенде.



## Математики тоже шутят

Кто сказал, что математики — скучные люди? Ничего подобного. Они умеют посмеяться не хуже других, что прекрасно доказывает предлагаемая книга. В ней собрано несколько сотен математических шуток: здесь и забавные истории с известными учеными, и смешные случаи на лекциях и экзаменах, и студенческий фольклор, и математические анекдоты. Каждый, кто когда-либо поклонялся белой богине

математики, найдет здесь развлечение по душе.

Книга будет интересна и полезна не только любителям математики, студентам и преподавателям, но и школьникам старших классов, а также всем тем, кто сталкивался с этой увлекательной наукой в вузе.

**Федин С.Н.** Математики тоже шутят. Изд. 2-е, испр. и доп. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009.



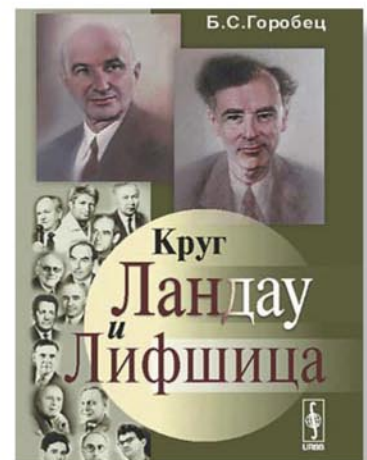
## Еще раз о Ландау

Данная книга — третья в трилогии «Круг Ландау» (первая — «Жизнь гения», вторая — «Физика войны и мира»). В 12 главах приведены очерки об ученых, учениках и современниках Ландау, с ним близко соприкасавшихся. Это Е.М. и И.М. Лифшицы, А.С. Компанеец, А.Б. Мигдал, В.Л. Гинзбург, А.А. Абрикосов, И.М. Халатников, Я.Б. Зельдович, П.Л. Капица, А.И. Лейпунский, В.С. Фурсов, М.А. Стырикович.

В событиях участвуют множество других выдающихся ученых, представлены яркие эпизоды и характеристики в галерее очерков и портретов. В приложении даны лекция Е.М. Лифшица «Л.Д. Ландау — ученый, учитель, человек», письмо П.Л. Капицы И.В. Сталину и др.

Для широкого круга читателей, интересующихся историей физики XX века.

**Горобец Б.С.** Круг Ландау и Лифшица. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009.





Татьяна Крупа

# ЧИНГУЛЬСКИЙ КУРГАН: ОТЧЕТ О НОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

В середине марта в Доме ученых в Киеве состоялся круглый стол, посвященный украино-американским исследованиям позднесредневекового археологического памятника — Чингульского кургана

В 1981 г. в Токмакском районе Запорожской области (Украина) на берегу реки Чингул археологами Юрием Рассмакиным и Виталием Отрощенко был найден археологический памятник: ханское погребение народа, известного нам по древнерусским летописям, как половцы. Исламские источники называют его представителей кипчаками, греческие и латинские — куманами; они доминировали в за-

падной части степной полосы Евразии с конца XI в. вплоть до монголо-татарского нашествия в XIII в.

В погребении было найдено большое количество людей, погибших насильственной смертью, а также множество артефактов, необходимых умершим в потустороннем мире. Среди них чаши, дарохранильницы, золотые пояса и перстни византийских и западноевропейских мастеров, оружие и археологический текстиль.

В 1980–1990-х гг. исследователи ввели этот памятник в научный оборот, однако его полноценное комплексное изучение было отложено до лучших времен. И вот в наши дни при поддержке гранта для совместных изысканий от Фонда Гетти интерес к исследовательской работе с этим комплексом возник снова.

Сегодня усилия ученых должны привести нас к пониманию того, как редкие произведения искусства и предметы роскоши стали собственностью знатного кочевника, какое значение они имеют в контексте взаимоотношений

между средиземноморским и евразийским мирами.

За три года исследователям удалось открыть много секретов древнего захоронения: установить центры изготовления знаковых вещей, частично отреставрировать изделия из черного металла (стремена, скобы, ключи и замки) и ювелирные украшения. Однако реставрационные работы еще продолжаются. Необходимо завершить реставрацию изделий из металла и провести огромную работу с текстилем. В результате уже проведенных исследований историкам удалось узнать особенности погребального обряда: умершего хоронили в деревянном саркофаге с замками (там же были обнаружены и ключи). Рядом с захоронением находились также остатки от разнообразных жертвоприношений. Изучив все особенности, исследователи пришли к выводу, что такого рода погребение характерно в основном для погребальных конструкций позднесредневековых кочевников степной полосы Евразии. Однако большое количество разнообразного импортного дорогого материала, а также масштабы самого кургана указывают на то, что рядом с рекой Чингул был погребен знатный воин.

Например, доктор Рената Холод (Renata Holod) детально рассмотрела вопрос построения самого кургана, высота насыпи которого составля-



Доктор Рената Холод и академик Петр Толочко на заседании круглого стола



ет около 6 м. По ее мнению, на этот процесс необходимо было потратить около 6 тыс. человеко-часов. Такие объемы работ могли позволить себе только те, кто имел для этого необходимые ресурсы и контроль над территорией.

На основании новых результатов у специалистов появились дополнительные вопросы. Поэтому было решено провести рабочую встречу тех ученых, которые смогли бы помочь пролить свет на отдельные проблемы и обсудить результаты работы международной исследовательской группы.

Гости круглого стола смогли познакомиться с большим количеством новых интерпретаций одного из самых знаменитых археологических памятников эпохи поздних кочевников. Не обошлось и без дискуссий: до сих пор исследователи не пришли к согласию относительно датирования этого комплекса. Вопрос о принадлежности захоронения тоже все еще открыт, хотя версий много. Одни считают Чингульский курган погребением хана Котяна, другие — хана Тигака.

Отметим, что Чингульский курган — один из самых раритетных текстильных археологических комплексов не только Украины, но и всей Восточной Европы. Его изучение имеет большое значение для понимания как древних текстильных технологий, так и путей миграции тканей на территорию современной Украины. Вопросы, связанные с исследованием большого количества средневекового текстиля, найденного в Чингульском комплексе, на самом деле очень тесно связаны с изучением ключевых проблем мировой истории. Полноценное изучение одних только тканей может дать историкам сверхценные сведения о международных контактах населения современной Украины в период XII–XIII вв., о торговле того времени, этнической ситуации и т.д.

Специфика работы с археологическим текстилем требует прежде всего сохранения уникальных тканей, а следовательно, и проведе-

Погребение чингульского хана, вскрытое в ходе раскопок

ния ряда мероприятий, связанных с консервацией и реставрацией. Занимается этим известный на Украине реставратор Мария Степан. Именно она в тандеме с российской коллегой Аллой Елкиной начала эту работу еще в 80-х гг. прошлого века.

Американскому исследователю Уоррену Вудфину (Warren Woodfin) удалось найти в музеях мира аналогии чингульскому текстилю. Он проследил и пути миграции дорогих тканей на территорию нынешней Украины.

Сегодня на Украине найдено достаточно значительное количество археологических комплексов с текстилем. Отметим, что ткани ставят еще одну, сложнейшую для археолога проблему — вопрос их датирования. Дорогой шелковый златотканый текстиль датируется, как правило, временем захоронения. Насколько это может быть верным? Такой текстиль в древности был мерилом роскоши и состоятельности его владельцев. Поэтому еще до того как попасть в захоронение, ткани могли долго путешествовать по свету. Исследователи Чингульского кургана единодушно с этим соглашаются: почти все ткани с роскошным золотым шитьем и шитьем жемчугом, найденных в кургане, были использованы вторично. Следовательно, они датируются более ранним временем, чем то, когда был возведен курган.

Возможно, перекрестное исследование технологий изготовления золотых нитей из разновременных памятников внесет необходимую ясность. Это может дать нам дополнительные сведения о текстиле Чингула.

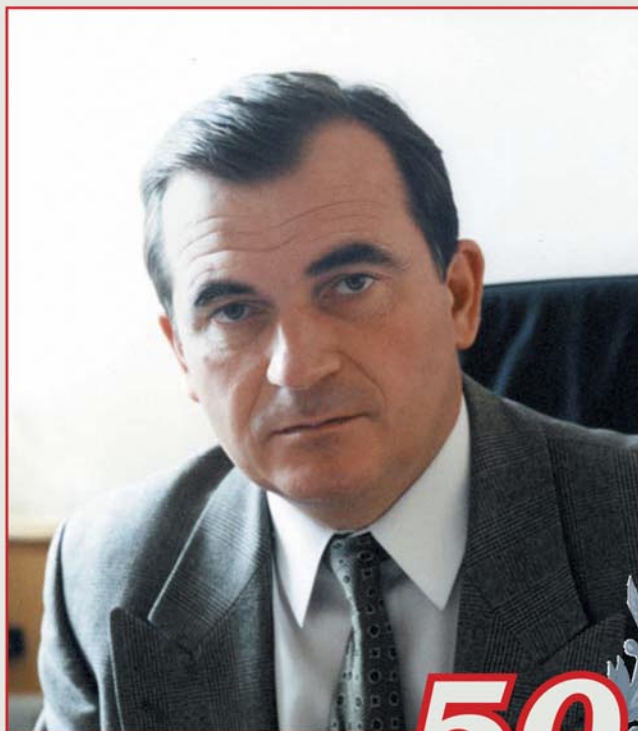
Древность очень тщательно хранит свои тайны. Иногда на их изучение необходимо потратить не годы, а целые десятилетия. Научное сообщество с нетерпением будет ждать публикации результатов этого исследования. ■



#### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Крупа Т. Веселая могила // В мире науки, 2007, № 10.
- Крупа Т.Н., Скирда В.В. Курган «Веселая могила»: погребальный комплекс половецкого времени на Харьковщине // «Слово о полку Ігоревім» та його епоха (Словознавство. Вип. 2). Матеріали XIII Міжнародної наукової конференції (Суми — Путивль, 7-9 червня 2007 р.). Київ — Суми — Путивль, 2008.
- Отрощенко В.В., Рассмакин Ю.Я. Половецкий комплекс Чингульского кургана // Археологія, 1986, вип. 53. Отрощенко В.В., Рассмакин Ю.Я. Половецкий хан з Чингульського кургану // Золото степу. Археологія України / Під ред. П.П. Толочка. Київ — Шлезвіг, 1991.
- Elkina A.K. Seidene Kaftane und Goldstickereien aus Byzanz // Золото степу. Археологія України / Під ред. П.П. Толочка. Київ — Шлезвіг, 1991.
- Официальный сайт проекта: <http://www.chingul.org.ua/>





# С юбилеем!

# 50

30 июня 2009 года исполняется 50 лет директору федерального государственного унитарного предприятия «Концерн «Системпром»», члену-корреспонденту Российской академии наук, заслуженному деятелю науки Российской Федерации **Юрию Владимировичу Бородакию**

За время трудовой деятельности Юрий Владимирович проявил себя как высококвалифицированный ученый, волевой руководитель, отличный организатор науки и производства. Под его руководством ФГУП «Концерн «Системпром» стал ведущей научной и проектной организацией, имеющей лицензии ФСБ, СВР, Минобороны, ФСТЭК, Минпромторга, Госстроя России.

Директор ФГУП «Концерн «Системпром» — генеральный конструктор автоматизированных систем управления войсками (силами) военного округа (региона), фронта, главный конструктор ряда автоматизированных систем управления и связи в защищенном исполнении и изделий, входящих в их состав, созданных в интересах силовых структур РФ. Он также член отделения нанотехнологий и информационных технологий РАН (секция вычислительных, локационных, телекоммуникационных систем и элементной базы), член научного совета при Совете Безопасности Российской Федерации (заместитель председателя секции совета по

информационной безопасности), член экспертно-консультативного совета при председателе Счетной палаты Российской Федерации. Ю.В. Бородакий имеет свыше 250 научных трудов, в том числе шесть монографий, 11 патентов и 14 авторских свидетельств на изобретения, более 100 докладов на международных и всероссийских конференциях.

Доктор технических наук, профессор Ю.В. Бородакий уделяет большое внимание подготовке квалифицированных кадров, ведет преподавательскую деятельность в Московском инженерно-физическом институте (Национальном исследовательском ядерном университете). В составе Научно-образовательного центра «Управляющие компьютерные системы» ФГУП «Концерн «Системпром» имеет два филиала кафедр «Компьютерные системы и технологии» и «Математическое обеспечение систем» МИФИ, ежегодно выпускающих более 20 специалистов высокой квалификации в области информационных технологий. На предприятии созданы условия для подготовки специалистов высшей квалификации. С 2001 г. на предприятии под руководством Ю.В. Бородакия действуют аспирантура и специализированный докторский совет. Сотрудники обладают разноплановой подготовкой и способны выполнять разноплановые задачи по созданию АСУ силовых структур разного назначения.

Научным обобщением многолетней деятельности юбиляра в области информатизации стала успешная защита докторской диссертации на тему «Методология создания перспективных информационно-управляющих систем» и подготовка семи кандидатов технических наук в области информационных технологий. Важнейшие результаты докторской диссертации нашли практическое внедрение при разработке многих АСУ и комплексов средств автоматизации, успешно прошедших государственные испытания и поставленных во все регионы России.

В 2000 г. Ю.В. Бородакий прошел переподготовку на Высших курсах Военной академии Генерального штаба ВС РФ по специальности «Оборона и обеспечение безопасности Российской Федерации».

За свою активную и плодотворную деятельность, большой вклад в развитие информационных технологий Ю.В. Бородакий неоднократно поощрялся высшими руководителями государственных и исполнительных органов Российской Федерации.

**Мы сердечно поздравляем вас, уважаемый Юрий Владимирович, с вашим праздником! От души желаем вам новых успехов в науке и практике, крупных открытий в области информационных и нанотехнологий, успешного руководства предприятием, которое наверняка и в дальнейшем будет в числе признанных лидеров-разработчиков автоматизированных систем управления и телекоммуникационных сетей, систем связи и безопасности. Доброго вам здоровья на долгие годы, счастья и оптимизма, вдохновения и выдающихся профессиональных результатов!**



# Глобальная премия

Углеводородная тематика еще долго будет оставаться актуальной для России и других стран. Именно этой проблеме посвящена работа двух российских ученых — лауреатов Международной энергетической премии «Глобальная энергия» 2009 г. Академики Н.П. Лаверов и А.Э. Канторович получили награды «за фундаментальные исследования и широкое внедрение методов поисков, разведки и разработки месторождений нефти, газа, урана, научное обоснование и открытие крупнейших провинций энергетического минерального сырья». Об их успехе лауреатам сообщил в прямом эфире, в присутствии журналистов и гостей из разных стран председатель Попечительского совета премии академик Е.П. Велихов. Профессор Брайан Сполдинг из Великобритании также принял поздравления от коллег: он по-

лучил награду «за многочисленные оригинальные концепции процессов теплообмена, которые в механике жидких сред и вычислительной механике жидких сред стали базой практических расчетов в энергетике». Победители встретятся на торжественной церемонии вруче-

ния премии, которая состоится на очередном Международном Петербургском экономическом форуме.

«Глобальная энергия» с каждым годом укрепляет свой авторитет. Увеличивается число стран, участвующих в номинационном процессе, в этом году их было 46. Количество ученых, номинирующих престижную награду, впервые превысило 1,5 тыс. человек. ■

Фирюза Янчилина



Академики А.Э. Канторович (вверху) и Н.П. Лаверов (справа)



## ВИДИМАЯ ВСЕЛЕННАЯ

**Discovery и NASA представляют 50-летнюю историю освоения космоса в сенсационных кинодокументах**



**Discovery Channel** произвел оцифровку и перевод в формат HD (видео с высоким разрешением) уникальных кинодокументов из архивов Национального управления США по авиации и исследованию космического пространства (NASA).

Это оригинальные съемки космических миссий, ставших важнейшими этапами в освоении космоса. Многие из этих материалов до сих пор не были представлены массовому зрителю. Теперь уникальные кинодокументы из архивов NASA можно будет увидеть на Discovery Channel в многосерийном фильме «**Эпохальные полеты NASA**». Все материалы, вошедшие в картину, были сняты непосредственными участниками событий: космонавтами в космосе или на Земле во время подготовки, их близкими, специалистами из пункта управления полетами, а также автоматическими камерами.

**Премьера фильма в России состоится 7 июня в 19:00**





# ИССЛЕДУЯ ХАМОН.

## научный подход к застолью

Анатолий Гендин

Не так много в гастрономическом мире продуктов, сочетающих вековые традиции производства и потребления с самыми передовыми методами научных исследований. Один из них — знаменитый хамон (jamón), сыровяленый свиной окорок, без которого невозможно представить себе испанскую кухню

Очередной, уже пятый по счету Международный конгресс по хамону прошел в начале мая в маленьком городке Арасена провинции Уэльва, что в Андалусии, на юге Испании. Место для такого специализированного мероприятия выбрали не случайное: именно в этих краях природно-климатические условия идеальны и для вольного выпаса правильной породы свинок, и для выдержки и созревания самой ветчины, хотя вообще-то хамон производят едва ли не по всей стране.

Конгресс получился серьезным и представительным. Около 500 человек три дня обсуждали самые разные аспекты хамонного вопроса: от генетических предпосылок продуктивности свиней и неразрушающего контроля содержания соли в окороках до важной роли хамона в средиземноморской диете и детском питании. Абсолютно в ногу со временем один из докладов был посвящен достижениям нанотехнологий в хамонном деле.

Само собой, испанцы как хозяева составляли большинство участни-



ков конгресса, они же представили и основную часть докладов. Пообщаться с коллегами приехали исследователи и гастрономические журналисты из самых разных частей света — от Североамериканского континента, откуда, собственно, и завезли предков иберийских свиней в Европу соратники Колумба, до России, где поклонников хамона в последнее время все больше.

Полное название этого деликатеса — «хамон иберико» (*Jamon ibérico*), т.е. «ветчина иберийская»; для его производства выращивают особую иберийскую породу свиней (*cerdo ibérico*). По одной из версий, эта порода по происхождению африканских кровей, ее еще иногда называют «черной» (хотя на самом деле эти животные серо-бурого цвета) — в отличие от «белых» свиней, которые дают *Jamon serrano*, их предки из Азии. Чистота породы — чрезвычайно серьезный вопрос для производителей, за этим следят очень внимательно, отбраковывая животных при малейших отклонениях от нормы. Как и в случае с качественным испанским вином, у хамона тоже есть свои знаки отличия — «наименования, контролируемые по происхождению» (*Denominacion de origen, D.O.*). Как раз во время работы Конгресса, 7 мая, пришло официальное сообщение о переименовании андалусийского деноминасьона *Jamon de Huelva* в *Jamon Jabugo* — в честь городка Хабуго, известного во всем гастрономическом мире качеством своего хамона.

У иберийских свинок крепкие черные копыта — *pata negra*, так называется и одна из лучших разновидностей испанского хамона. Диета у этих хрюшек особая, как и вообще образ жизни: они питаются желудями на вольном выпасе на зеленых плоскогорьях, расположенных на высоте от 700 до 1000 м над уровнем моря. Там сухой воздух, прохладная зима и не очень жаркое лето, а разреженные дубовые посадки с обширными зелеными лужайками напоминают современные городские парки. У таких специальных пастбищ и название особое есть — «деэса» (*dehesa*).

В основном здесь встречаются две разновидности дуба — более распространенный каменный (*Quercus ilex*) и пробковый (*Quercus suber*), есть также каштаны. На открытых выпасах часто можно увидеть пробковые дубы с оголенными стволами — это не свиньи их обгрызли, а люди срезали кору на пробки и другие полезные вещи. Желуди каменного дуба начинают созревать ежегодно к октябрю, хотя в зависимости от погодных условий их осыпание может длиться и до начала следующего года. У пробкового дуба различают по крайней мере три урожая за сезон, начиная с конца сентября и до марта следующего года.

Период времени, в течение которого соблюдается желудевая диета — с октября-ноября и до февраля-марта, — называется *montanera*. Лучший хамон дают свинки, которые питаются как раз этими желудями; каждой нужно до 8–10 кг такой пищи ежедневно. Не случайно

производители с гордостью упоминают в названии своего продукта слово *bellota*, «желудь» — например, *Jamon Iberico de Bellota*.

Желуди очень важны не только для удовольствия самой свинки, но и для качества будущего деликатеса. Именно они обеспечивают тот набор вкусовых характеристик, которыми отличаются лучшие образцы иберийского хамона. Примечательно, что олеиновой кислоты в желудях примерно столько же, сколько и в тех сортах испанских оливок, из которых делают лучшее оливковое масло. Получается, что в каком-то смысле сами хрюшки тоже сидят на той самой средиземноморской диете, которая в последнее время считается исключительно модной и здоровой. Любопытно, что иберийские свинки едят только сердцевину желудя, а скорлупки выплевывают. Кстати говоря, один из факторов, ограничивающих производство высококачественного







иберийского хамона, — количество дубов с правильными желудями. В среднем считается, что один гектар пастбищ должен приходиться на одну свинку. Если увеличить количество свиней, упадет качество хамона. Помимо желудей эти животные поглощают много диких ароматических трав, которые придают неповторимый запах и вкус конечному продукту.

К полутора годам правильно откормленная иберийская свинья весит 160 кг, причем половину своего

веса она набирает за последние полгода откорма. Это оптимальный вес, при нем хамон получается не слишком жирным. Учитываются и анатомические особенности животного: при большем весе оно просто не сможет ходить.

После разделки свиной туши на бойне окорока под будущий хамон закладывают в морскую соль на срок из расчета день на килограмм веса, то есть недели на две. Все это время они лежат в специальных контейнерах или просто штабелями в отдельном помещении при температуре от 0° до 8° С. Просоленные окорока промывают, обсушивают и еще выдерживают какое-то время при низкой температуре, после чего подвешивают на два года в специальных помещениях с надежной естественной вентиляцией. Как и в случае с винным производством, эти помещения, где выдерживается хамон, тоже называются «бодега»

(*bodega*); на русский язык этот термин обычно переводят как «подвал», хотя на самом деле — как и хересные бодеги — хамонные хранилища находятся над уровнем земли.

В процессе созревания хамон не выносит жары, ему нужен постоянный приток свежего воздуха, проще говоря, тщательно продуманные и контролируемые сквозняки — промышленное кондиционирование воздуха здесь запрещено, это входит в перечень обязательных требований к производителям, иначе они не получат сертификат качества. За соблюдением всех требований и нормативов строго следит Надзирательный совет (*Consejo regulador*).

Как и все остальное, связанное с производством и потреблением иберийского хамона, контроль над процессом выдержки и проверка степени зрелости этой деликатесной ветчины тоже оригинальны. Время от времени каждый окорок прокалывают в определенных местах особой тонкой и острой костяной иглой. Называется такая игла «кала» (*cala*), обычно ее делают из берцовой кости лошади. Занимаются этим важным делом специально обученные люди, которые по запаху этой иглы, извлеченной из окорока, могут определить степень его готовности.

Как и у вина, у хамона тоже есть оптимальный срок выдержки, после которого его качество уже не будет улучшаться. Как правило, этот срок составляет около двух лет, при-

#### ОБ АВТОРЕ

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



мерно по три месяца на каждый килограмм веса готового продукта. За время такой выдержки окорок сильно усыхает, из первоначального живого веса 12–15 кг остается примерно 7–8 кг. Лопатка, т.е. передняя нога, получается поменьше, около 5 кг, а соотношение мяса и костей в ней менее удачно, чем в задней ноге. Сами производители эти продукты различают, называя *jamonés* и *paletas*, то есть «окорока и лопатки». Так уж сложилось, что именно термин «хамон» (возможно, как более мясистый и сочный благодаря большему объему окорока от задней свиной ноги) стал общепринятым обозначением испанской сыровяленной ветчины вообще.

Настоящий иберийский хамон — это ручная работа от начала до конца, и есть его тоже нужно руками, тонко нарезав полупрозрачными лепестками. Во всяком случае, именно так и поступают испанцы независимо от пола, возраста и социального положения, получая подлинно эстетическое удовольствие от обычного, казалось бы, процесса еды. ■





## Если галактики разбегаются с ускорением, то почему они иногда сталкиваются?

**Отвечает эксперт в области космологии, научный сотрудник Квинслендского университета в Австралии и Центра космологии темной материи в Дании Тамара Дэвис (Tamara Davis)**

Динамика Вселенной определяется действием конкурирующих сил, чье влияние меняется в зависимости от масштаба, так что в отдельных областях локальные силы могут перевешивать космические. В масштабах, превосходящих размеры скоплений галактик, все космические объекты действительно разбегаются с возрастающей скоростью. Взаимное гравитационное притяжение двух галактик на таких расстояниях слишком мало, чтобы оказывать значительное влияние на их поведение, и они удаляются друг от друга в полном соответствии с поведением Вселенной в целом. Другое дело — галактики, находящиеся в относительно близком соседстве. В этом случае гравитационное притяжение доминирует, и взаимодействие может быть весьма значительным.

Темная энергия, которая, по мнению космологов, представляет собой причину ускоренного расширения Вселенной, порождает постоянную, направленную вовне силу, не уменьшающуюся с увеличением размеров Вселенной. Противостоит этому расталкиванию гравитационное притяжение остальной материи. В далеком прошлом плотность вещества во Вселенной была гораздо выше, чем сейчас, и силы гравитации занимали доминирующие позиции — как в больших, так и в малых масшта-



бах. Облака газа под их действием конденсировались, из них формировались звезды и галактики, последние образовывали скопления. Если бы вещества во Вселенной было больше, возможно, она начала бы коллапсировать еще до всякого расширения. Но раз уж расширение началось — а произошло это примерно 6 млрд лет назад, за миллиард лет до возникновения Земли, — вещество и энергия стали «разбавляться», и постепенно темная энергия взяла верх.

И все же «космические танцы» продолжают. Галактики, сблизившиеся до начала расширения, все еще имеют шанс столкнуться. Все вместе они образуют сверхплотную область, где главенствует гравитация, — и такие области разбросаны по всей Вселенной. Наш ближайший сосед, галактика Туманность Андромеды, буквально падает на нас: до близкой встречи нас отделяет всего несколько миллиардов лет.

Помимо Туманности Андромеды в так называемую Местную группу входят Большое и Малое Магеллановы

Облака и еще примерно 35 галактик. Все они принадлежат скоплению под названием Дева и сообще движутся по просторам Вселенной. Сегодня Вселенная разделена на множество гравитационных «гнезд», которые так и будут дрейфовать поодиночке, все более удаляясь друг от друга.

Подобно пассажирам корабля, плывущего в штормовом море, галактики Местной группы будут наталкиваться друг на друга, но никогда не встретятся с пассажирами другого корабля, удаляющегося от нас. ■

## Как известно, нормальная температура тела человека равна примерно 37° С. Почему при такой же температуре воздуха нам невыносимо жарко?

**Объясняет Джеффри Уокер (Jeffery W. Walker), профессор физиологии Аризонского университета**

Тело человека — это своего рода машина, которая непрерывно вырабатывает тепло. Оно рассеивается в окружающую среду, причем происходит это тем хуже, чем выше температура воздуха.

Теплота — неизбежный побочный продукт той работы, которую совершают ткани и органы нашего тела: сердце, мышцы, ионные насосы, обеспечивающие распространение электрических импульсов по нервным волокнам, желудок, где переваривается пища, и т.д. Весь этот бурлящий котел просто взорвался бы, если бы тепло не рассеивалось в окружающее нас про-

странство. В этом процессе участвуют кровь, которая циркулирует по всему телу, в том числе и по сосудам, подходящим близко к поверхности тела, выдыхаемый нами воздух и испаряющийся пот.

Комфортнее всего мы чувствуем себя при температуре воздуха 22–23° С, тогда внутри тела поддерживается температура 37° С. Если же снаружи слишком жарко и к тому же влажно, то режим рассеяния тепла нарушается и мы перегреваемся. Влажность воздуха имеет немаловажное значение, поскольку вода на поверхности тела поглощает большое количество тепла и отдает его при испарении. Все, что влияет на процесс испарения (слишком влажный воздух, отсутствие ветра, теплая одежда и т.д.), влияет и на наше самочувствие ■



ОЧЕВИДНОЕ  
  
 НЕВЕРОЯТНОЕ

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

*А. Пушкин*

# ОЧЕВИДНОЕ-НЕВЕРОЯТНОЕ

НА КАНАЛЕ «РОССИЯ» ПО СУББОТАМ В 11:50 ПРОГРАММА С.П. КАПИЦЫ



## Читайте в следующем выпуске журнала

### ЧТО ДЕЛАЕТ НАС ЛЮДЬМИ?

В результате тщательного сравнения геномов человека и шимпанзе были обнаружены особые участки ДНК, которые свойственны только представителям вида *Homo sapiens*

### СПАСЕНИЕ ПЧЕЛ

Таинственное явление, получившее название синдрома коллапса колонии, резко сократило число пчел, опыляющих злаки. Причины этого нарушения жизнедеятельности пчел оказались комплексными, но решение проблемы уже начинает вырисовываться

### ПЛАНЕТЫ ТЕРЯЮТ АТМОСФЕРУ

Многие газы, входящие в состав земной атмосферы, медленно улетучиваются в космос. Станет ли наша планета в результате этих процессов когда-нибудь похожей на Венеру?

### КАК ДВИГАТЬ НАНОРОБОТЫ

Каталитические моторы позволяют крошечным пловцам извлекать энергию из окружающей их среды и преодолевать необычные физические условия мира молекулярных масштабов

### НЕКОНТРОЛИРУЕМАЯ УТЕЧКА

Даже лучшие системы сетевой безопасности не могут защитить от нового вида хищения информации: самим фактом взгляда на секретные данные вы уже можете выдать их миру

### ДВЕНАДЦАТЬ ЗАГАДОК СТАРЕНИЯ

Сегодня наука еще не может четко ответить на вопросы, что такое старение, чем оно вызвано, каковы его механизмы и как его предотвратить. Но эксперименты последних лет позволяют нам узнать об этом явлении больше



## 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](mailto:podpiska@sciam.ru), [info@sciam.ru](mailto:info@sciam.ru);
- по факсу: +7(495) 925-03-72, 727-35-30, 727-35-39

**Стоимость подписки на второе полугодие 2009 г. составит:**

Для физических лиц: **1110 руб. 00 коп.** — доставка заказной бандеролью\*.

Для юридических лиц: **1470 руб. 00 коп.**

Стоимость одного номера журнала: за 2003–2004 гг. — **40 руб. 00 коп.**, за 2005–2006 гг. — **80 руб. 00 коп.**, за 2007 г. — **90 руб. 00 коп.**, за 2008 г. — **100 руб. 00 коп.**; за 2009 г. — **115 руб. 00 коп.** (без учета доставки); стоимость почтовой доставки по России — **70 руб.**

Бланк подписки на журнал размещен на сайте [www.sciam.ru](http://www.sciam.ru); также направляем бланк по факсу или e-mail.

**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
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» на _____ номеров		
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» на _____ номеров		
Плательщик		

**ПОМИМО ЭТОГО ОФОРМИТЬ ПОДПИСКУ НА ЖУРНАЛ «В МИРЕ НАУКИ» ВОЗМОЖНО:**

■ в интернет-магазинах [www.subscribe.ru](http://www.subscribe.ru), [www.russische-presse.de](http://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.





# 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<br>и иностранных языков    |
| государственный диплом      | психологии и педагогики                            |
| трудоустройство выпускников | информационных систем<br>и компьютерных технологий |
|                             | отраслевых специализаций                           |
|                             | второго высшего образования                        |

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

### Адрес приемной комиссии:

ул. Радио, д. 22. **Тел.: (495) 727-35-35**  
Проезд: от метро «Бауманская» — трамваи №37, 45, 50,  
от метро «Курская» и «Чкаловская» — трамвай №24,  
от метро «Авиамоторная» — трамвай №24, 37, 50  
до остановки «Лефортовская набережная, РосНОУ»

Сайт в Интернете: [www.rosnou.ru](http://www.rosnou.ru)

Российский новый университет —  
учредитель журнала «В МИРЕ НАУКИ»