

ежемесячный научно-информационный журнал

# В мире науки

scientific american

тема номера:

№11 2005

Хорошо ли настроена

## Вселенная?

Пuls смерти

Зубы из пробирки

Полиморфная архитектура

Ранняя эволюция животных

В мире символов

Нанотела

ISSN 0208-0621



9 770208 062001 >

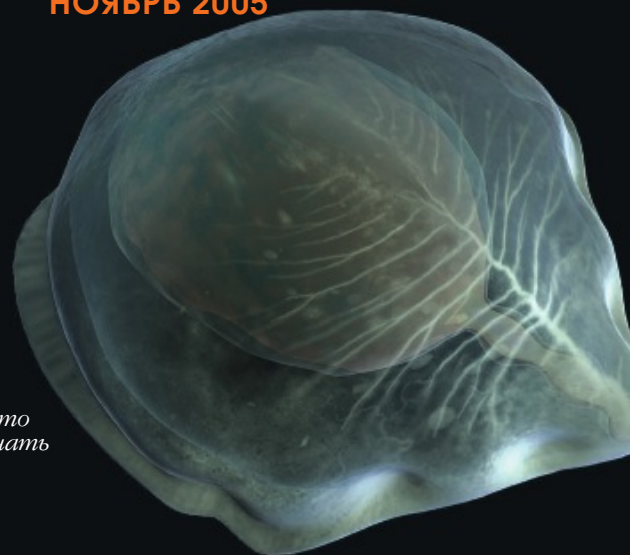
[www.sciam.ru](http://www.sciam.ru)

В МИРЕ НАУКИ

№11 2005

# содержание

НОЯБРЬ 2005



## ГЛАВНЫЕ ТЕМЫ НОМЕРА:

- 14** **БИОТЕХНОЛОГИИ**  
**ЗУБЫ ИЗ ПРОБИРКИ**  
Пол Шарп, Конан Янг  
*Специалисты в области тканевой инженерии считают, что работы по регенерации внутренних органов следует начинать с восстановления зубов.*
- 22** **ПАЛЕОНТОЛОГИЯ**  
**РАННЯЯ ЭВОЛЮЦИЯ ЖИВОТНЫХ**  
Дэвид Боттджер  
*Никто не сомневался, что билатеральные животные впервые появились примерно 555 млн. лет назад, пока не были получены новые данные.*
- 28** **КОСМОЛОГИЯ**  
**ХОРОШО ЛИ НАСТРОЕНА ВСЕЛЕННАЯ?**  
Гленн Старкман, Доминик Шварц  
*Стандартная модель помогает ученым понять многие свойства Вселенной.*
- 36** **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**  
**ПОЛИМОРФНАЯ АРХИТЕКТУРА ПРОЦЕССОРА**  
Райнхольд Кох  
*Цифровые устройства на основе магнитных логических элементов смогут в мгновение ока адаптироваться для решения различных задач.*
- 44** **МЕДИЦИНА**  
**ПУЛЬС СМЕРТИ**  
Джон Элефтеридис  
*Аневризмы аорты называют «бесшумными охотниками», они смертоносны и бессимптомны.*
- 54** **ПСИХОЛОГИЯ**  
**В МИРЕ СИМВОЛОВ**  
Джуди Делоачи  
*Люди отличаются от других живых существ, в частности, и тем, что способны создавать и понимать самые разные символы.*
- 60** **ИННОВАЦИИ**  
**НАНОТЕЛА**  
Уэйт Гиббс  
*На протяжении многих лет ученые пытаются создать искусственные антитела, которые могли бы корректировать ошибки иммунной системы.*
- 66** **АНТРОПОЛОГИЯ**  
**МИГРАНТЫ ИЗ АФРИКИ**  
Нани Асланикашвили, Аслан Суладзе  
*Сенсационные находки останков ископаемых гоминид за пределами Африки заставили ученых пересмотреть многие теории.*

Учредитель и издатель: ЗАО «В мире науки»

Главный редактор: С.П. Капица

Заместитель главного редактора: В.Э. Катаева

Зав. отделами:  
фундаментальных исследований А.Ю. Мостинская  
естественных наук В.Д. Ардаматская

Редакторы: Ю.Г. Юшквичюте,  
А.А. Приходько

Спецкорреспондент: Д.В. Костикова

Ответственный секретарь: О.И. Стрельцова

Секретарь редакции: О.А. Флакова

Научные консультанты:  
доктор физ.-мат. наук М.В. Сажин,  
доктор физ.-мат. наук А.Д. Чернин,  
кандидат медицинских наук Р.Г. Юсифов,  
профессор М.В. Конотопов

Над номером работали:  
Н.А. Асланикашвили, А.В. Банкрашков, А.В. Ващенко,  
А.М. Иваницкий, Д.В. Кислов, Ф.С. Капица, Ю.В. Кислова,  
Д.А. Мисюров, Т.А. Митина, И.П. Потемкин, К.Р. Тиванова,  
Т.М. Колядич, В.Г. Сурдин, А.И. Суладзе, А.П. Худолей,  
Т.В. Черний, Б.В. Чернышев, Н.Н. Шафрановская

Корректурa: Ю.Д. Староверова

Генеральный директор  
ЗАО «В мире науки»: С.А. Бадиков

Главный бухгалтер: Т.М. Братчикова  
Помощник бухгалтера: С.М. Амелина

Отдел распространения:  
С.М. Николаев, Л.В. Старшинова

Старший менеджер  
по связям с общественностью: А.А. Рогова

Менеджер по рекламе: В.П. Мостинская

Адрес редакции:  
105005, Москва, ул. Радио, д. 22, к. 409  
Телефон: (095) 727-35-30, тел./факс (095) 105-03-72  
e-mail: edit@sciam.ru; www.sciam.ru

Размещение рекламы: Рекламное агентство  
ООО «Видео Интернешнл-пресс ВИ»  
тел. (095) 956-33-00, факс 737-64-87  
адрес: 121522, Москва, ул. Оршанская, д. 3

Препресс: Up-studio

Иллюстрации предоставлены Scientific American, Inc.  
В верстке использованы шрифты **ParaType**  
AvanteGuardGothic и Garamond

Отпечатано: ОАО «АСТ-Московский полиграфический  
дом»  
748-6733 Заказ №611

© В МИРЕ НАУКИ РoсHOУ, 2004

Журнал зарегистрирован в Комитете РФ по печати.  
Свидетельство ПИ №ФС-77-19285 от 30.12.2004

Тираж: 40 000 экземпляров  
Цена договорная.

Перепечатка текстов и иллюстраций только с письменного  
согласия редакции. При цитировании ссылка на журнал  
«В мире науки» обязательна. Редакция не всегда разделяет  
точку зрения авторов. Редакция 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,  
Graham P. Collins, Steve Mirsky,  
George Musser, Christine Soares

News Editor: Phillip M. Yam

Contributing editors: Mark Fichetti,  
Marguerite Holloway, Phillip E. Ross,  
Michael Shermer, Sarah Simpson, Carol Ezzell Webb

Art director: Edward Bell

Vice President and publisher: Bruce Brandfon

Chairman emeritus: John J. Hanley

Chairman: John Sargent

President and chief executive officer:  
Gretchen G. Teichgraeber

Vice President and managing director,  
international: Dean Sanderson

Vice President: Frances Newburg

© 2004 by Scientific American, Inc.

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

## РАЗДЕЛЫ:

- 3 **ОТ РЕДАКЦИИ**  
**ПРИЗРАК ВЕЛИКОГО ТЕЛЛЕРА**
- 4 **50, 100 И 150 ЛЕТ ТОМУ НАЗАД**

## 6 **СОБЫТИЯ, ФАКТЫ, КОММЕНТАРИИ**

- Соколы под угрозой
- Хитрая малярия
- Бесполое муравьи
- Где жили мамонты?
- Опасные контактные линзы
- Искусственное мясо
- «Никитский клуб» об энергетике

## 12 **ПРОФИЛЬ** **«КАРТОГРАФ» МУЖСКОГО ГЕНОМА**

Гэри Стикс  
*Биолог Дэвид Пэйдж попытался секвенировать  
Y-хромосому.*

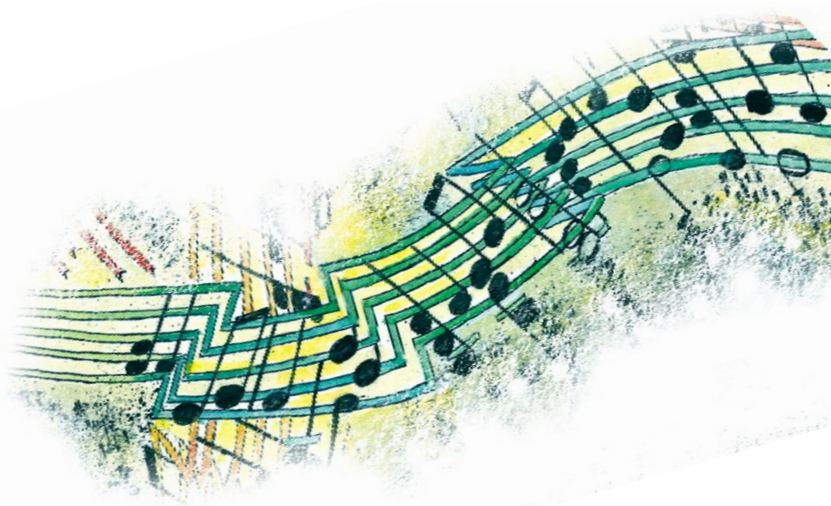
## 82 **КНИЖНОЕ ОБОЗРЕНИЕ**

## 84 **ОЧЕВИДНОЕ—НЕВЕРОЯТНОЕ** **СОЗНАНИЕ И МОЗГ**

Алексей Иваницкий  
*Наука вплотную подошла к решению загадки  
сознания. Каков же современный взгляд  
на соотношение сознания и процессов,  
происходящих в мозге?*

## ОБЗОРЫ:

- 94 **СПРОСИТЕ ЭКСПЕРТОВ**  
*Как остановить мастопатию?  
Почему электрогитары и микрофоны иногда  
издают громкое гудение или свист?*



# призрак ВЕЛИКОГО ТЕЛЛЕРА

«Занимайте высоты!» Такой совет американские офицеры давали своим солдатам на протяжении всей военной истории США. Следуя ему, равнодушная к ВВС администрация Джорджа Буша, похоже, решила занять самые высокие рубежи. Десятилетиями использование космического пространства в военных целях сводилось к выведению на орбиту связных, навигационных и разведывательных спутников. Теперь американский президент взял курс на дальнейшую милитаризацию космоса и вывод в околоземное пространство как оборонительного, так и наступательного оружия. С технической, геополитической и экономической точек зрения такая политика лишена здравого смысла.

В 2001 г. комиссия, возглавляемая нынешним министром обороны США Дональдом Рамсфелдом, опубликовала отчет, согласно которому Соединенные Штаты должны поддерживать абсолютное превосходство в космосе, защищая свои спутники, пресекая использование космического пространства потенциальными противниками и сохраняя возможность атаковать с орбиты наземные и космические цели. Эти рекомендации были учте-

ны при составлении плана развития ВВС США.

За последние 10 лет американские военные вложили миллиарды в исследования и разработку космического оружия; все новые и новые проекты ждут финансирования. Перечнем пожеланий мог бы гордиться сам Эдвард Теллер. Взять хотя бы орбитальную лазерную установку для поражения наземных и космических целей. Другой пример – система «Розги господни» (*Rods from God*), обстреливающая из космоса подземные и укрепленные сооружения противника стержнями из вольфрама или урана. К сожалению, практическая целесообразность подобных технологий так и не была доказана хоть сколько-нибудь убедительным способом.

Ввод такого оружия в эксплуатацию может привести к бессмысленной гонке космических вооружений и подрыву безопасности США. Россия уже дала понять, что незамедлительно примет ответные меры, если какое-либо государство разместит в космосе свое оружие. А ведь со сложнейшими орбитальными лазерами можно бороться низкотехнологичными средствами, например, шестидолларовыми гранатами, создающими светонепро-

ницаемую дымовую завесу. Кроме того, для эффективной защиты средств связи и разведки вовсе не требуется астрономических вложений: достаточно иметь в резерве несколько беспилотных самолетов, готовых взять на себя роль сбитых противником спутников.

С нынешней позиции силы для США выгоднее было бы инициировать процесс, гарантирующий демилитаризацию всего космического пространства за пределами мезосферы, т.е. на высотах более 80 км. Несмотря на выход в 2002 г. из договора по ПРО, Соединенные Штаты тем не менее могли бы поддержать один из его пунктов, запрещающий построение космической системы противоракетной защиты. Иначе развитию нового эпизода программы «Звездных войн» будут препятствовать только астрономические расходы (сотни миллиардов долларов), которые придется нести федеральному правительству, несмотря на нехватку средств, например, на защиту американских портовых городов. Остается только надеяться, что непомерные финансовые требования еще долго будут удерживать «Розги господни» в проектных отделах военных НИИ и в мечтах неумных вояк. ■



Орбитальная лазерная установка уничтожает вражеский спутник-шпион.

■ До тектоники ■ До ракет ■ До кино

### НОЯБРЬ 1955

**ТЕОРИЯ ПРОВАЛОВ.** Размеры и форма тихоокеанских впадин поражают воображение. Какими чудовищными силами были созданы столь крупные искажения морского дна? Имеет ли значение тот факт, что они расположены вдоль «Огненного кольца» заснувших и действующих вулканов, окружающего огромный океан? Опираясь на современные знания, можно предположить, что силы, сокрытые внутри Земли, вызывают опускание морского дна и появление V-образных впадин. Глубина стабилизируется на отметке 10 км, но кора, в том числе осадочные породы, может и дальше погружаться в недра планеты. Об этом свидетельствует практически полное отсутствие осадочных пород в самых глубоких впадинах.

### НОЯБРЬ 1905

**СИЛА ВЕТРА.** В течение нескольких лет датское правительство испытывало ветряные установки, пытаясь определить, сколько электричества можно получить с их помощью. Хотя в США было проведено всего несколько подобных экспериментов, полученные данные свидетельствуют о перспективности такого источника энергии. Особенно это касается западных сельскохозяйственных районов, где за последние 10 лет было построено множество поливных машин с ветряным приводом.

**КАРИБСКИЕ ПРОБЛЕМЫ.** Индейцы (см. фото) настолько запуганы венесуэльцами и их правительством, что предпочитают передвигаться по мелким речушкам Гвианы и девственным джунглям, стараясь не появляться на полноводной реке Ориноко. Исчезновение аборигенов сильно препятствует сбору каучука, бобов тонка и других натуральных продуктов. Поскольку Венесуэла не жалует эмигрантов, а в результате частых революций погибли или разбежались многие колонисты европейского и смешанного происхождения, стране угрожает полная деградация.

**ПРОМАХ ТОРПЕДЫ.** Наверное, ни одно оружие так не повлияло на кораблестроение и тактику морского боя, как



Карибские индейцы, издревле селившиеся в нижнем течении реки Ориноко, 1905 г.

торпеды Уайтхеда. Впрочем, нельзя не признать, что иногда их сильно переоценивают. Опыт последней войны показал, что торпедам удастся поразить свою цель лишь в исключительных случаях и только при самых благоприятных условиях. Кроме того, во время боя в открытом море наличие торпед практически не влияет на боевой порядок кораблей. Поэтому мы сильно сомневаемся в том, что военные корабли будущего будут оснащаться торпедными установками.

### НОЯБРЬ 1855

**ЖЕЛТАЯ ЛИХОРАДКА.** На последнем заседании Нью-Йоркской медицинской академии выдающийся хирург из Нового Орлеана д-р Стоув поделился важными сведениями о желтой лихорадке. Он считает, что эта болезнь везде одинакова и не подвержена влиянию географических или климатических особенностей. Как и в случае с холерой, многочисленные попытки выявить источник желтой лихорадки не увенчались успехом. Похоже, для ее возникновения наиболее благоприятен жаркий климат; влажность же не имеет никакого значения. Временами в Новом Орлеане ежедневно идут ливневые дожди, однако вспышек лихорадки не наблюдается. В этом году эпидемия вспыхнула, когда стояла настолько сухая погода, что от недостатка влаги погибли посевы сахарного тростника.

**ТРИУМФ ТОЛБОТА.** Световые рисунки на бумаге или стекле теперь называют фотографиями, чтобы отличать их от дагеротипов, выполняемых на металлических пластинках. Изобретатель фотографии, англичанин Фокс Толбот, получил британский и американский патенты, но сделал их общедоступными. Нет никаких сомнений, что новой технологии получения реалистичных изображений суждено вытеснить искусство Луи Дагера: на Большой промышленной выставке в Париже была представлена огромная коллекция фотографий и лишь несколько дагеротипов, которые уже можно считать достоянием истории.

# энергетика XXI ВЕКА



Пятый сезон заседаний «Никитского клуба» открылся обсуждением одной из ключевых проблем современности – стратегии развития энергетики в XXI в. В дискуссии приняли участие ученые, представители государственных структур и крупнейших нефтегазодобывающих компаний. Открывая собрание, председатель клуба С.П. Капица предложил обратить особое внимание на два аспекта проблемы: внедрение новых технологий и взаимосвязь энергетики с экономикой. Большинство докладчиков обратились к проблемам рационального использования национальных ресурсов, прежде всего нефти и газа, добыча которых постоянно растет.

Крупнейшие монополии, работающие в данной сфере, вовсе не стремятся вкладывать деньги в модернизацию технологий добычи и переработки. Руководители отрасли не предлагают никаких «рецептов» перспективного развития, полагая, что проблемы разрешатся сами собой. Между тем сегодняш-

ние инвестиции в инновации – залог будущего процветания страны. Вложение средств в организацию и работу исследовательских лабораторий, подготовку специалистов, финансирование новых разработок и т.д. не интересует российских бизнесменов, т.к. они знают, что отдача будет еще не скоро. Гораздо проще наращивать темпы добычи, повышать тарифы, а соответственно, и прибыли от продажи нефти и газа, не задумываясь о будущем. Именно поэтому представители бизнеса, присутствовавшие на заседании, не стали обсуждать вопросы о сокращении нецелевых расходов, развитии технологий, затратах на собственные нужды компаний, об увеличении числа рабочих мест, о снижении тарифов или их стабилизации за счет резервов.

Участники дискуссии считают, что необходима единая государственная энергетическая стратегия, а также долгосрочная программа. По мнению ученых, сегодня целесообразно было бы развивать энергетику малых форм: она не

требует больших капиталовложений, быстро вводится в эксплуатацию и окупается, а также позволяет оперативно решать насущные проблемы.

Некоторая полемика завязалась вокруг роли государственных институтов в судьбе энергетики. Участники конференции согласились с тем, что существует ряд областей, в которых нельзя обойтись без централизованного регулирования, которое, однако, должно быть гибким, основанным на конкуренции, а не на монополии государства. Для успешного развития отрасли нуждается в привлечении дополнительных средств, соответственно, необходим нормальный инвестиционный климат. В Норвегии, например, подсчет природных ресурсов показал, что в ближайшее столетие они иссякнут, поэтому страна предпочитает их продавать и вкладывать деньги в социальные программы. Собственные же ее потребности удовлетворяются за счет энергии воды и других возобновляемых природных ресурсов. У наших же производителей стратегический подход пока подчиняется коммерческим интересам.

Хотя «Никитский клуб» представляет собой совещательную организацию, где ставятся и обсуждаются злободневные проблемы времени, итогом заседания стало предложение обобщить наметившиеся выводы и предложить их правительству, поскольку от решения энергетической проблемы зависит благосостояние и независимость страны в будущем. Ресурсный национализм более не должен определять лицо России. Ведь сейчас всего 1% населения занят в производстве нефти, дающем 50% доходов бюджета.

Сергей Федоров

## МАМОНТОВЫЕ тундростепи

Результаты анализа содержимого 66 ископаемых нор, сохранившихся в мерзлотных областях крайнего северо-востока Азии, могут изменить представления о так называемых мамонтовых тундростепях, реликтами которых, как считалось, стали современные узколокальные степные комплексы.

Ученые из Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН (старший научный сотрудник Максимович Станислав Владиславович, ведущий научный сотрудник доктор биологических наук Губин Станислав Викторович, младший научный сотрудник Занина Оксана Геннадьевна) утверждают, что нужно говорить не о реликтовости,

а, скорее, о перманентности степной флоры. Анализ содержимого нор сусликов и других зверьков, при наличии семян в кормовых запасах, позволил реконструировать природные условия позднего плейстоцена для части Нижнеколымской низменности. Так, в норе суслика из обнажения Зеленый мыс (возраст  $32800 \pm 1400$  лет) обнаружили 650 г семян (около 845 тыс. штук). Копрологический и ботанический анализ содержимого других нор, имеющих подстилку из травы и семян, также говорит о безусловно тундровых или лесотундровых условиях (мхи, лишайники, ива полярная, дриада, брусника маленькая, лиственница, иногда и др.), но с вкраплениями по нарушенным

местообитаниям сообществ пионерных (подорожник, гулявник, одуванчик и др.) и степных (лук торчащий, мятлики кистевидный и оттянутый, овсяница ленская, смолевка узколистная и др.) растений. Таким образом, существовали сообщества влажных и суховатых тундр, лесотундровых редколесий и тундровых болот (семена болотных растений также обнаружены в норах) с включением местообитаний, занятых пионерной и степной растительностью. Видовой состав растительности говорит о низкой продуктивности этих фитоценозов. Похожую картину мы наблюдаем и в современности.

Дмитрий Мисюров

## КОНТАКТНЫЕ ЛИНЗЫ и кератит

Спать в контактных линзах опасно, так как повышается риск заболевания кератитом.

Группа ученых из Манчестерского университета (Англия) считает что использование линз из силиконового гидрогеля минимизирует клинические проблемы, связанные с роговичной гипоксией, так как в этом случае атмосферный кислород передается на поверхность глазного яблока.

В течение года в центральную больницу Манчестера, где проводилось исследование, доставляли всех владельцев контактных линз, у которых наблюдались клинические признаки инфильтративного язвенного кератита. На основе полученных данных была создана клиническая матрица состояний, характеризую-

щая взаимосвязь выраженности повреждения роговицы со степенью тяжести заболевания.

Было обследовано 80 человек с легким и 38 с тяжелым кератитом. Выяснилось, что у пациентов, использующих линзы из обычного гидрогеля, у тех, кто спит, не снимая линз, чаще наблюдается тяжелая форма кератита.

Применение клинической матрицы оценки степени тяжести повреждения роговицы и высокий уровень организации позволили получить более точные данные по сравнению с исследованиями, проводившимися ранее.

Результаты исследования опубликованы в *British Journal of Ophthalmology*.

Юлия Кислова

### НЕФТЬ ИЗМЕРЯТ ЛАЗЕРОМ

Новый способ определения толщины пленки нефтепродуктов, разлитых на поверхности воды, предложили ученые научно-исследовательского института «Радиоэлектроника и лазерная техника» (НИИ РЛ) МГТУ им. Н.Э. Баумана. Создан измерительный лазерный комплекс, включающий два приемника излучения: один – для контроля выходной мощности источника передающей системы, второй – для измерения величины лазерного сигнала, отраженного от пленки нефти на поверхности воды. Источник снабжен системой автоподстройки, стабилизирующей частоту выходного зондирующего лазерного излучения. В качестве излучателя используется непрерывный перестраиваемый CO<sub>2</sub> лазер с ВЧ-накачкой и выходной мощностью 1–3 Вт, имеющий около 70 линий генерации в диапазоне 9,2–10,8 мкм. Одиночные измерения могут быть проведены всего за несколько минут.

Результаты математического моделирования и обработки экспериментальных данных показывают, что используемый алгоритм позволяет определять толщину нефтяной пленки с высокой точностью.

Дмитрий Михайлов

## ТЕХНОЛОГИИ РОБОТОТЕХНИКИ

Российские специалисты предложили новые конкурентоспособные разработки в робототехнике. В частности, учеными предложена уникальная СВ-технология, в основе которой лежит комбинация стекловолоконной и пленочных принципов микроэлектроники. В отличие от уже известных технологий она не требует применения дорогостоящей рентгенолитографии. Новые

методы позволяют получать капилляры, внутренние размеры которых минимальны – вплоть до нескольких нанометров, а также контролировать размеры отверстий. Об этом сообщил в своем докладе генеральный директор МНТК РОБОТ В.П. Степанов на VI Международном форуме «Высокие технологии XXI века».

Кроме того, в МНТК РОБОТ созданы трехфазные микромо-

торы с внешними габаритами 1,0 и 2,0 мм, причем их диаметр может составлять всего несколько десятков микрон. Разработаны также транспортные микро-модульные платформы на базе электромагнитного привода для осуществления движения внутри трубопровода диаметром до 2 мм. Технологии продолжают совершенствоваться.

Дмитрий Мисюрлов

## БИТВА ПОЛОВ

Нужен ли секс? Только не самцам и самкам этих муравьев – они могут размножаться путем самоклонирования.

Специалисты по изучению взаимоотношений между полами часто не без сарказма замечают, что мужчины и женщины – обитатели разных планет. По крайней мере, в одном случае они правы. Речь идет, правда, не о человеке, а о муравьях, самки и самцы которых могут быть отнесены к разным видам. Ученые из Франции, Швейцарии, Бельгии и Японии исследовали

колонии муравьев *Wasmannia auropunctata*, обитающих во Французской Гвиане и Новой Каледонии, и обнаружили, что королева, в отличие от своих сородичей по колонии, успешно размножается, клонируя саму себя. Она вылупляется из неоплодотворенного яйца и получает исключительно материнские гены. Чтобы не ударить в грязь лицом, самцы проделывают то же самое, но другим путем: они устраняют из генома оплодотворенного яйца все материнские гены до одного, и в результате вылупившийся из такого яйца муравей является точной копией своего отца. Гены обоих родителей наследуют только стерильные рабочие муравьи. Это значит, что генные пулы самцов и самок – это две независимые ветви на генеалогическом древе муравьев одного вида.

Чарлз Чой

### ОБХОДНОЙ ПУТЬ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Нервные клетки могут обмениваться сигналами не только через синапсы. Исследуя с помощью электронного микроскопа синапсы куриного эмбриона, Терренс Сейновски (Terrence J. Sejnowski) из Института биологических исследований Солка (Сан-Диего, шт. Калифорния) построил трехмерную компьютерную модель этой структуры с точностью до девяти нанометров. Он смоделировал высвобождение нейромедиаторов в синаптическую щель и сравнил полученные данные с таковыми для живой клетки. Совпадение с экспериментом наблюдалось только в том случае, когда в модели целых 90% нейромедиаторов высвобождалось вне синапса. Они активировали рецепторы постсинаптического нейрона, тоже находившиеся вне синапса. Это означает, что у нервных клеток есть другие каналы общения, возможно, играющие бо́льшую роль, чем синапсы.

Чарлз Чой



## корпорации помогут ОБРАЗОВАНИЮ

Министерство образования и науки России намерено укреплять сотрудничество с *Intel* и *IBM*. Федеральное агентство по образованию России и корпорация *Intel* заключили договор о претворении в жизнь целого ряда совместных проектов. Стороны намерены вместе проводить научно-технические конкурсы для школьников и студентов с целью выявления юных дарований, премировать наиболее отличившихся, реализовывать программу «Обучение для будущего», в рамках которой будет осуществляться индивидуальная подготовка школьных преподавателей и студентов педагогических вузов. Кроме того, недавно была достигнута договоренность о дальнейшем сотрудничестве на уровне специалистов из Министерства образования и науки РФ и корпорации *IBM*, которые собираются инвестировать в образовательную систему финансовые и человеческие ресурсы, а также внедрять в России образовательные бизнес-проекты. *IBM* готова вкладывать средства в программы повышения квалификации педагогического состава и реформу высшего образования.

Михаил Дмитриев

## мясо *in vitro*



Группа американских ученых предложила способ получения мяса прямо в лаборатории. Для этого вы берете животное, мясо которого вам по вкусу, и экстрагируете предшественники мышечных клеток (миобласты), а также

миосателлиты, и культивируете их на рифленой пленке из биоматериала или на небольших коллагеновых шариках, которые при нагревании раздуваются. Если растягивать пленку или раздувать шарики, то нанесенные на них клетки сливаются и начинают образовываться мышечные волокна. Таким способом уже получены скелетные мышцы для применения в клинике, а один из членов группы, Владимир Миронов из Медицинского университета в Северной Каролине, пытается вырастить на коллагеновых шариках мышцы курицы. «Несколько животных могут обеспечивать мясом все население Земли, причем для этого их даже не придется убивать», – говорит ученый.

Дж. Минкель

## ЗАМАСКИРОВАННАЯ малярия

Малярийные плазмодии – мастера маскировки. Они внедряются в иммунную систему жертвы, постоянно активируя белок, помогающий им избежать уничтожения в селезенке. У плазмодий есть 60 генов, кодирующих этот белок, причем в каждый момент времени активен лишь один из них. Поняв, каким образом паразиты «переключают» активность своих генов, ученые надеются создать лекарство, которое будет одновременно активировать все 60 генов, давая организму возможность находить и уничтожать малярийные плазмодии. Паразитологи Вальтер и Эли-

за Холл из Института медицинских исследований в Мельбурне (Австралия) обнаружили, что паразиты подавляют активность собственных генов, «обертывая» их протеином *Sir2*. Гены активируются только тогда, когда плазмодий сливается с клеткой иммунной системы жертвы. Как сообщили ученые, разрушение *Sir2* активирует примерно две трети генов. В дальнейшем исследователи планируют разобраться в механизмах подавления остальных двух десятков генов.

Чарлз Чой



# спасти российских соколов

Российские орнитологи предложили программу по спасению диких популяций соколов-балобанов, которые оказались под угрозой уничтожения из-за нелегального экспорта и распространения межвидовых гибридов. Балобаны – перелетные птицы, они гнездятся у нас, а на зимовку отправляются в Пакистан, Афганистан, Иран, на Средний Восток. Властители этих стран веками увлекались соколиной охотой, традиции которой сильны и по сей день. Арабские сокольники платят за российских птиц большие деньги, которые, к сожалению, идут на поддержание теневого бизнеса. По экспертным оценкам, нелегальный экспорт соколов приносит ежегодно около \$100 млн. Многие пернатые гибнут при транспортировке. Хищническое уничтожение балобанов в природе может привести к тому, что уже через 15 лет данный вид может полностью исчезнуть.

Для сохранения и восстановления диких популяций необходимы специализированные питомники, расположенные в местах их гнездования, например, в Татарстане, где существует достаточно сильная научная база и по-прежнему остались любители соколиной охоты. Балобаны без труда размножаются в неволе, уже на первом году жизни одна самка может вывести до 15 птенцов. Выращенных в неволе питомцев можно возвращать в природу, но как обеспечить пернатых хищников пищей? Чтобы решить эту задачу, биологи из Пензы разрабатывают схемы управления популяциями крупных грызунов на модельных территориях.

Осенью всем выпущенным в природу балобанам предстоит очень трудный перелет на юг, который способны выдержать лишь самые сильные. В арабских странах



могли бы использовать гостящих в странах Персидского Залива российских соколов для охоты. Но что делать с ними после окончания охотничьего сезона? Ловчие птицы отвыкают от жизни в дикой природе, и, если выпустить их в пустыне, они погибнут, т.к. ни прокормиться, ни самостоятельно вернуться обратно в Россию они не смогут. Арабские сокольники готовы собирать балобанов и самолетами отправлять их в места гнездования. Здесь птиц после реабилитации можно будет снова выпускать на

волю. При таком подходе, считает Валерий Мосейкин из Союза охраны птиц России, популяции могут быть постепенно восстановлены.

Альтернативный путь предлагают западные селекционеры, которые ратуют за разведение соколов в неволе и получение гибридов, в том числе межвидовых, с улучшенными охотничьими качествами. По их мнению, использование искусственно выведенных популяций снизит нагрузку на дикие. Одновременно они стремятся ограничить экспорт соколов из стран СНГ, что приведет к ликвидации специализированных питомников, а значит, к росту цен на птиц и увеличению потока неконтролируемой контрабанды. Внедрение же межвидовых гибридов в природу создаст реальную угрозу для генофонда популяций балобанов, поэтому такая интродукция запрещена Международной конвенцией «О сохранении биологического разнообразия» и Законом РФ «О животном мире». Орнитологи из Союза охраны птиц России тоже выступают против подобного подхода.

Татьяна Черный

## ЕВРОПЕЙСКИЙ ПОЛИМЕРНЫЙ КОНГРЕСС

В этом году МГУ им. М.В. Ломоносова принял участников Европейского полимерного конгресса, на который прибыли ученые более чем из 50 стран мира. Одним из наиболее перспективных направлений признана разработка систем, позволяющих осуществлять направленный перенос в организм веществ, необходимых для лечения больных органов.

В основе любой живой системы лежат полимерные молекулы, поэтому, как подчеркивают ученые, изучение и создание биополимеров стало одним из важнейших направлений в современной науке. Оживленные дискуссии вызвали и вопросы полимерного синтеза. Актуальна также проблема развития компьютерного моделирования полимеров. Примечательно, что на конгрессе имели возможность выступить не только знаменитые ученые, но и студенты, аспиранты. Конгресс, проводимый раз в два года, состоялся в Москве в связи с председательством в Европейской полимерной федерации академика РАН А.Р. Хохлова.

Дмитрий Мисюров

## ВАЖНЫЕ МЕЛОЧИ

Прежде чем приступить к созданию молекулярных микросхем, инженеры хотели бы научиться управлять прохождением заряда по единичным органическим молекулам, т.к. их можно было бы использовать в качестве проводников электрического тока. Как правило, дело усложняют довольно крупные контакты, которые должны соединиться к молекулярным нитям. Канадские ученые из Университета Альберты сообщают, что разорванные валентные связи (неспаренные электроны) на кремниевых электродах позволяют управлять электрическим током, протекающим по примыкающим молекулам.

Исследователи наносили углеродные молекулярные нити на кремниевую поверхность таким образом, чтобы на их концах оказывались неспаренные электроны. С помощью сканирующего зондового микроскопа удалось установить, что вблизи разорванных валентных связей на молекулах скапливался электрический заряд. Таким образом, с помощью несвязанных валентных электронов можно точно регулировать проводимость единичных молекул. Подробности смотрите в журнале *Nature* от 2 июня.

Дж. Минкель

### СОБЫТИЯ В НОЯБРЕ:

**ноябрь 2005**

Международная конференция «Теоретические и прикладные аспекты социальной педагогики и психологии».  
**Саратов**

**16.11 2005**

Научно-практическая конференция «Актуальные вопросы офтальмогенетики».  
**Москва**

**17–18.11 2005**

Научно-практическая конференция «Физико-технические проблемы получения и использования пучков заряженных частиц, нейтронов, плазмы и излучения».  
**Томск**

**21–25.11 2005**

Российский национальный конгресс «Человек и его здоровье».  
**Санкт-Петербург**

# ВСЕЛЕННАЯ

## ПРОСТРАНСТВО \* ВРЕМЯ

**Научно-популярный журнал по астрономии и космонавтике**

(издается 1 раз в месяц, полноцветный, 48 стр.)

#### ПОСТОЯННЫЕ ТЕМЫ НАШЕГО ЖУРНАЛА:

- ☞ астрономия, исследования космоса в пространстве и во времени, от Большого взрыва и до наших дней, космологические теории, "темные" компоненты мироздания, гравитация, время, галактики и звезды, самые последние достижения мировой астрономической науки;
- ☞ космонавтика, пилотируемые полеты, изучение и ближайшие перспективы освоения человеком Солнечной системы, прошлые, настоящие и готовящиеся к осуществлению миссии, Солнце, планеты, их спутники и астероиды;
- ☞ астероидная опасность и глобальные катастрофы в истории развития Земли;
- ☞ возникновение и развитие жизни на нашей планете, загадки геологи-

ческих эпох, возникновение и парадоксы разума, загадки цивилизаций, сравнение космогонических модели;

- ☞ разум во Вселенной, поиск внеземных цивилизаций, НЛО — миф или реальность, настоящее и будущее человечества;
- ☞ фотогалереи, космическая живопись, фантастика;
- ☞ наблюдения звездного неба.

**ДЛЯ ВАС ПИШУТ** профессиональные астрономы, выдающиеся популяризаторы, астрономы-любители, посвятившие свой досуг одной из самых интригующей и захватывающей области человеческих занятий,

**На ваш суд представляют** свои работы талантливые художники, фотографы и писатели-фантасты.

#### ПОКУПАЙТЕ свежие и ЗАКАЗЫВАЙТЕ

все ранее изданные номера в Москве по предоплате или наложенным платежом в магазинах

- ✓ «Звездочет», Москва, Тихвинский пер., 10/12, к. 9, тел. (095) 978-43-00, 506-33-93, <http://www.astronomy.ru/>
- ✓ «Телескоп», Москва, ул. Старая Басманная, 15, строение 15, тел. (095) 208-67-01, <http://www.telescope.su/>

#### ПОДПИШИТЕ

наш журнал на любом почтовом отделении в России и странах СНГ.

Почтовые индексы:

- 46525 – в каталоге «Роспечать»
- 12908 – в каталоге «Пресса России»
- 24524 – в каталоге «Почта России» (агентство «МАП»)



Гэри Стикс

# «картограф»

## МУЖСКОГО ГЕНОМА



**ДЭВИД ПЕЙДЖ:  
АВТОР ДОСЬЕ У-ХРОМОСОМЫ**

- Предпринял попытку секвенирования У-хромосомы (процесс, сходный с составлением чертежа здания с зеркальными стенами).
- Секвенирование показало, что женщина и мужчина различаются по своему генетическому статусу так же, как особи мужского пола у человека и шимпанзе.
- Ответ на различные предположения о неполноценности У-хромосомы: «Все это политика чистой воды, намеки на то, что мужчины ни на что не годные существа».

С тех пор как в 1979 г. Дэвид Пейдж (David C. Page) выделил и исследовал случайный фрагмент ДНК, а также обнаружил в нем кусочки У-хромосомы, он посвятил все свое время изучению этой генетической структуры, определяющей принадлежность организма к мужскому полу. Сама мысль исследовать У-хромосому оскорбляла чувства феминисток: они считали идею не чем иным, как замаскированным способом реабилитации представителей мужского пола. Да и некоторые авторитетные ученые, по мнению Пейджа, «подыгрывали» феминисткам, заявляя в прессе о грядущем исчезновении с лица земли обладателей У-хромосомы.

Так Пейдж стал защитником самой маленькой хромосомы в геноме человека. Его работы опровергали различные измышления об У-хромосоме – например, что она представляет собой хилое погибающее «создание», поскольку из-за малого размера имеет ограниченные возможности обмена генетической информацией с Х-хромосомой. Пейдж мог привести длинный список научных публикаций, из которых следовало, что У-хромосома – это гораздо более сложный член генома, чем кто-либо может вообразить.

Сам Пейдж, стройный молодой 48-летний человек, своим обликом нисколько не походит на мачо. Дома его окружает исключительно женская компания: жена, три дочери, кошка, морская свинка. В 1974 г. он начал работать в Соуртморском колледже, в начале 1980-х гг. сконструировал молекулярный зонд. Позже Пейдж использовал его для того,

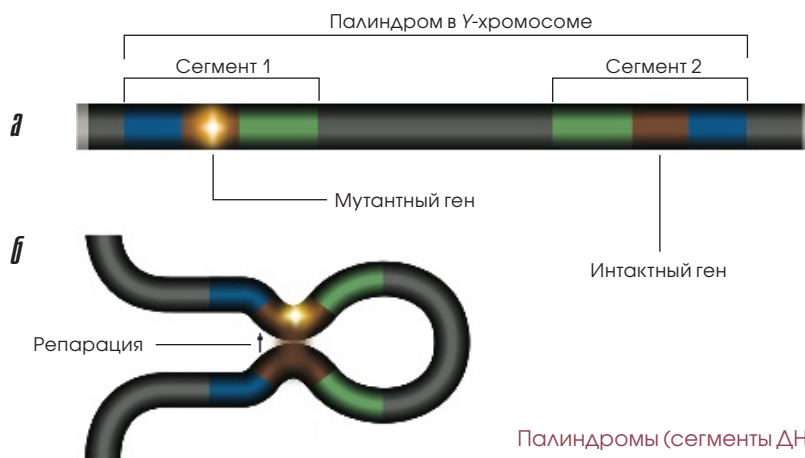
чтобы отыскать ген, кодирующий белок, который, по мнению ученого, запускает процесс формирования зародыша именно мужского пола. Опубликованные результаты наделали много шума. Молодого специалиста приглашали на телевидение, о нем писали на первых полосах газет. Как раз в это время Пейдж получил крупную денежную премию от Фонда Макартуров и приглашение на работу в Институт Уайтхеда при Массачусетском технологическом институте.

Но вот ужас – открытие оказалось ошибочным! В 1990 г. британские ученые сообщили, что искомым ген на самом деле находится в части хромосомы, примыкающей к той, которую идентифицировал Пейдж. Так, в возрасте 34 лет ему вновь пришлось решать, чем заняться. Оглядываясь назад, можно сказать, что ситуация имела и положительную сторону – Пейдж занялся

поисками других генов в Y-хромосоме. В 1995 г. он выявил мутацию в Y-хромосоме, которая была основной причиной генетически обусловленного мужского бесплодия.

В прошлом году Пейдж вместе с учеными из Медицинской школы при Вашингтонском университете опубликовал полную нуклеотидную последовательность генодержательной части Y-хромосомы человека, оказавшейся наиболее трудной для расшифровки. На секвенирование остальных 45 хромосом, включая X-хромосому, были брошены силы молекулярных генетиков всего мира. Y-хромосома осталась в стороне, поскольку казалось, что ее бесконечные повторы не несут никакой генетической информации. Процедура секвенирования Y-хромосомы, которую Пейдж охарактеризовал как «экстремальную геномику», состояла в поисках ориентиров среди миллионов нуклеотидов. Эти «указательные столбы» представляли собой едва заметные различия между повторяющимися сегментами ДНК. «Представьте две почти идентичные копии Манхэттена, различающиеся лишь тем, что почтовые ящики и пожарные гидранты расположены у них в разных местах. Если вас каким-нибудь чудесным образом «транспортируют» из копии А в копию В, то вероятность, что вы заметите это перемещение, будет чрезвычайно мала. Нашей задачей было определить, в какой из почти идентичных частей Y-хромосомы мы находимся», – поясняет Пейдж.

В результате секвенирования было выявлено 80 генов – при том, что 20 лет назад рассчитывали найти не более одного. И Y-, и X-хромосомы начали свою эволюцию 300 миллионов лет назад. В отличие от всех других хромосом, всегда представленных двумя копиями (в том числе и X-), Y-хромосома копии не имела и обладала ограниченной возможностью заменять дефектные гены полноценными. Со временем примерно тысяча ее генов были элиминированы.



Палиндромы (сегменты ДНК, являющиеся зеркальным отражением друг друга) создают предпосылки к саморепарации Y-хромосомы. Если в одном из ее сегментов возникает ошибка (а), то молекула образует шпильку, сегмент, содержащий ошибку, спаривается со своим зеркальным отражением и использует его в качестве матрицы для синтеза правильной версии (б).

Но гораздо более интересными оказались результаты, свидетельствующие о живучести Y-хромосомы. Миф о ее нежизнестойкости вызывал различные опасения о судьбе мужчин. Высказывались предположения о «кончине» Y-хромосомы через 125 тыс. – 10 млн. лет. Однако работы Пейджа показали, что никакой реальной угрозы не существует. Y-хромосома содержит участки – зеркальные отражения друг друга, которые называют палиндромами. (Палиндромом является, например, такой текст: РИСЛИНГСНИЛСИР или совсем уж простой: ИСКАТЬТАКСИ. Читайте хоть слева, хоть справа – получите одно и то же.) Если один из таких участков спарится со своим отражением, образовав так называемую шпильку, то в этом месте Y-хромосома сможет заменять дефектные гены точно так же, как это делают остальные 45. По существу, у нее есть механизм саморепарации, основанный на генной конверсии, а поэтому слухи о ее близкой кончине сильно преувеличены.

Конечно, споры о таком интересном объекте, как Y-хромосома, не закончатся никогда. Биолог Дженифер Маршалл Грейвс (Jenifer A. Marshall Graves) из Австралийского нацио-

нального университета в Канберре полагает, что генная конверсия в палиндромах непродуктивна – она может оказаться не только неспособной к устранению вредных мутаций, но и привести к ускорению процесса дегградации хромосомы. На что Пейдж парирует: «Все это – сплошная риторика, под которой нет никакой экспериментальной базы».

К настоящему времени Пейдж идентифицировал большинство (а возможно, и все) белок-кодирующих генов в Y-хромосоме. Он даже представил ее причудливую карту, испещренную точками, которые обозначают различные гены. Теперь его занимают другие вопросы, в частности, роль половых клеток (яйцеклеток и сперматозоидов) в инициации процесса, приводящего к формированию особи женского пола.

Но и интерес к Y-хромосоме не утрачен. Навыки и опыт Пейджа пригодятся для исследования других геномов. На сегодня секвенированы сотни бактериальных геномов и более дюжины геномов животных – и всего одна Y-хромосома. Независимо от того, как оценивает себя сам Пейдж, он сделал очень много для восстановления подмоченной репутации Y-хромосомы. ■

Пол Шарп, Конан Янг

# зубы из пробирки





Зуб человека устроен гораздо сложнее, чем может показаться на первый взгляд. Если специалисты в области тканевой инженерии сумеют сконструировать полноценные зубы для замены утраченных, то в дальнейшем удастся добиться успехов и в регенерации более крупных органов.

**Т**е или иные проблемы с зубами возникают в течение жизни у 85% взрослых европейцев. К 17 годам 7% людей теряют один-два зуба, а после 50 лет мы лишаемся в среднем 12 зубов.

Идеальной заменой выпавшего зуба был бы новый, выращенный в том же месте из ткани самого пациента. Однако долгие годы о решении такой биоинженерной задачи оставалось только мечтать. Ситуация изменилась лишь недавно, благодаря детальному изучению начальных этапов формирования зубов и успехам в области биологии стволовых клеток и тканевой инженерии.

Помимо тех благ, которые сулит больным новый метод, его дальнейшая разработка позволит решить и общие проблемы замены вышедших из строя органов. Зубы представляются очень удобным «испытательным полигоном»: они не относятся к числу жизненно важных органов, а потому неудача не грозит катастрофическими последствиями. Звучит, возможно, не очень гуманно, но опыты на зубах могут проложить дорогу к разработке аналогичных операций на тех органах, где врачебная ошибка недопустима.

Все вышесказанное не означает, что «зубная» инженерия – дело простое. Сложившийся за миллионы лет эволюции механизм формирования любых органов начинает-

ся еще на эмбриональном уровне. Задача специалистов в области тканевой инженерии – воспроизвести все этапы процесса с их изолированной системой контроля. И прежде чем приступить к ее решению, целесообразно разобраться в том, что задумала сама природа.

### Тайные переговоры

Шестинедельный человеческий эмбрион не превышает в длину 2,5 см, формы будущего тела едва заметны. Однако его клетки непрерывно обмениваются информацией, в том числе и относительно формирования зубов. Процесс передачи сигналов крайне сложен, поэтому органы нельзя вырастить от начала и до конца *in vitro*. Ученым вряд ли удастся когда-нибудь полностью воспроизвести условия естественного образования тканей. Но чем больше они узнают о самых ранних этапах их развития, тем скорее сумеют создать «ростки» зубов, имплантировать их в организм и предоставить природе возможность довершить остальное.

Зарождение зубов происходит в результате взаимодействия между двумя разными типами эмбриональных клеток: эпителиальных и мезенхимных. На первых стадиях существования зародыша эпителиальные клетки ротовой полости (из них образуется ее выстилка) посылают первые сигналы клеткам

мезенхимы (они строят костную структуру челюсти и мягкие ткани) к началу одонтогенеза (формирования зубов). Последние сообщают эпителиальным клеткам, что «задача ясна», далее начинается своеобразный диалог между участниками процесса «возведения» зубов.

Вначале будущий зуб представляет собой не более чем утолщение эпителия ротовой полости эмбриона. Из него в глубь подлежащей мезенхимы врастает эпителиальный пласт, вокруг которого, в свою очередь, происходит уплотнение мезенхимы. В результате к седьмой неделе у эмбриона образуется зубной зачаток. Прорастая все глубже, он принимает форму перевернутой чаши. Эта структура образует так называемый эмалевый орган, в полость которого снизу начинает врастать мезенхима. В дальнейшем из ее клеток формируются внутренние части зуба: дентин, пульпа, цемент, периодонтальная связка, удерживающая зуб в костной ткани челюсти. Из эпителиальных клеток образуется наружная часть, которая прорезывается из десны на 6–8-й месяц после рождения ребенка.

Форма будущего зуба определяется его местоположением. Некоторые посылаемые эпителиальными клетками сигналы, которые запускают процесс одонтогенеза, участвуют в регуляции работы важной категории генов мезенхимы. Все они содержат специфическую нуклеотидную последовательность (так называемый гомеобокс) и способствуют развитию различных органов. При формировании челюсти в определенных ее участках активизируются разные гомеобокс-гены, предопределяющие закладку и формирование моляров, премоляров, клыков и резцов.

Так, гомеобокс-ген *Barx1* экспрессируется в тех клетках мезенхимы, где в будущем появятся моляры. В ходе опытов на животных ученые вынудили этот ген проявиться там, где должен был быть резец.

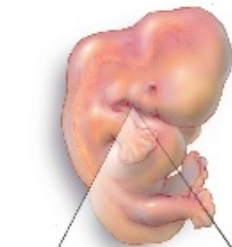
### ОБЗОР: НА ПЕРЕДНЕМ КРАЕ ЗУБНОЙ ИНЖЕНЕРИИ

- Работая над созданием полноценных зубов, способных заменить утраченные, некоторые специалисты по тканевой инженерии имитируют процессы, происходящие на эмбриональном уровне.
- Альтернативный подход состоит в создании зубов из уже существующих клеток зубной ткани или выращивании таких клеток из тканей-предшественников. Оба метода уже дали результат: с их помощью получены правильные в структурном отношении зубы.
- Нерешенными остаются проблемы образования корней и идентификации идеального исходного материала для биоконструирования зубов человека. Однако прогресс в данной области столь стремителен, что, возможно, полноценный зуб станет первым органом, выращенным в пробирке.



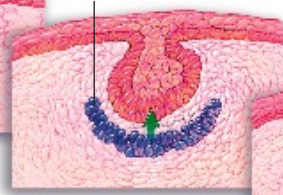
**З**уб – настоящее чудо дизайнерского искусства, сотворенное природой. У человека на его формирование уходит минимум 14 месяцев. В закладке зубов у эмбриона участвуют ткани двух типов; между их клетками происходит непрерывающийся диалог. Специалисты по тканевой инженерии тщательно исследуют этот поток информации, чтобы использовать полученные данные при создании функциональных искусственных зубов.

Эмбрион в возрасте 6 недель



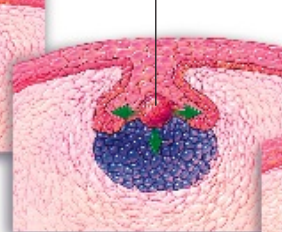
42–48 суток:  
уплотнение эпителия

Уплотняющаяся  
мезенхима



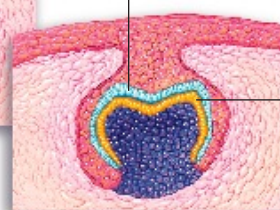
7 недель: зачаток

Эмалевый «узелок»



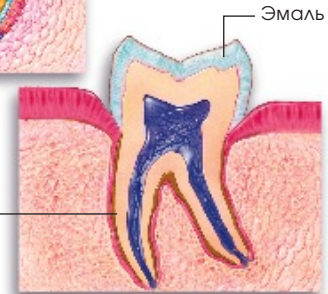
9 недель:  
перевернутая «чаша»

Амелобласты

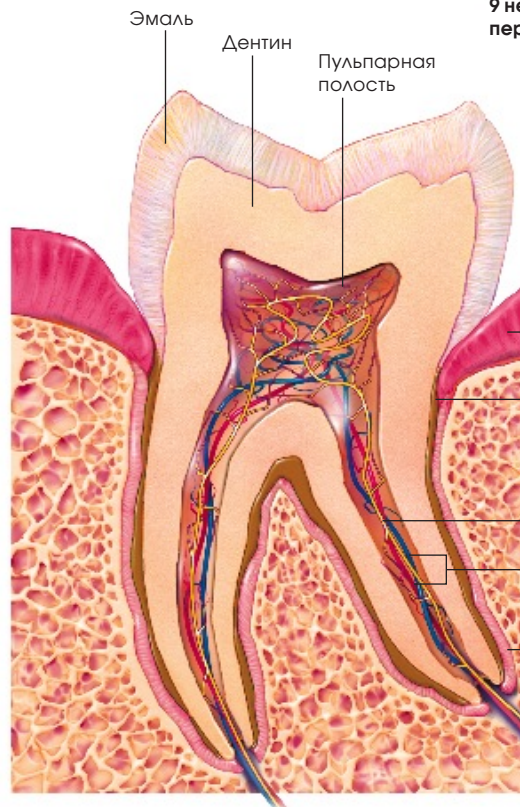


14 недель:  
«колокол»

Одонтобласты



6–12 мес. после рождения:  
прорезывание зубов



Десна

Цемент

Костная  
ткань

Нерв

Кровеносные  
сосуды

Периодонтальная  
связка

Эмаль

Дентин

Ппульпарная  
полость

Эмаль

Корень

**ОБРАЗОВАНИЕ ЗУБОВ**

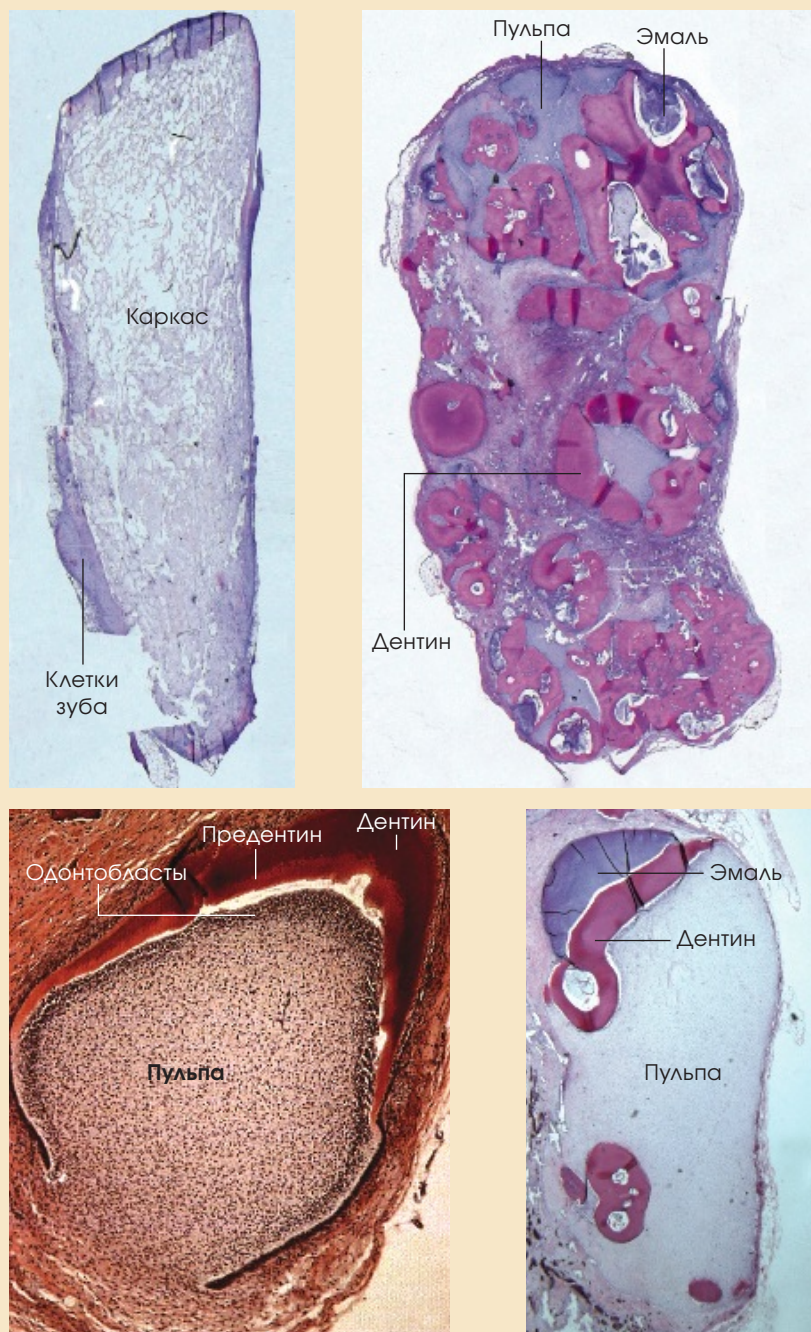
Первые намеки на зубы у эмбриона человека появляются на 6–7-й неделе после зачатия, когда начинает угадываться форма головы. На месте образования будущего зуба происходит небольшое уплотнение эпителиальной ткани ротовой полости, и эпителиальные клетки начинают посылать сигналы клеткам подлежащей мезенхимы. По мере прорастания эпителия в ткань мезенхимы клетки последней посылают ответные сигналы и концентрируются вокруг эпителиального выроста, образуя зачаток зуба. К 9-й неделе слой эпителиальной ткани образует структуру в форме перевернутой чаши, которую заполняет мезенхима. В центре чаши появляется эмалевый «узелок», который теперь служит основным «командным пунктом», откуда отдаются приказы клеткам эпителия и мезенхимы. К 14-й неделе формируется «колокол», состоящий из слоя дифференцирующихся клеток, называемых амелобластами (из них позже образуется эмаль) и слоя одонтобластов (прародителей дентина). Последними появляются корни, формирование которых завершается к моменту прорезывания зубов (6–12 мес. после рождения).

**КОНЕЧНЫЙ РЕЗУЛЬТАТ**

Зуб – не просто кость, а самый настоящий орган. Он состоит из тканей разного типа, каждая из которых выполняет свою функцию. Эмаль, самый твердый материал в организме человека, защищает внутренние части зуба. Дентин, одна из разновидностей костной ткани, заполняет полость зуба и служит своего рода демпфером, смягчающим воздействие пищи во время ее пережевывания. В пульпарной полости располагаются нервы и кровеносные сосуды. Цемент защищает часть зуба, не покрытую эмалью. Периодонтальная связка представляет собой соединительную ткань, скрепляющую между собой цемент и кость десны и в то же время обеспечивающую некоторую пластичность всей конструкции.

## ОБЪЕДИНЕНИЕ ИЗОЛИРОВАННЫХ КЛЕТОК

В ходе исследований зубы поросят измельчили в порошок и обработали ферментами. Полученные изолированные клетки поместили в биodeградируемый каркас. После недельной инкубации по периметру формы образовалось скопление клеток – синяя полоска (рисунок вверху слева). В последующие 25 недель (рисунок вверху справа) каркас растворился, зато появились пульпа, эмаль и дентин. Результатом таких экспериментов стало образование крошечных структур, похожих на зубы. Однако правильная организация тканей новообразования (внизу слева) отмечалась лишь в 15–20% случаев. Чаще «зуб» не имел упорядоченной структуры (внизу справа). Тем не менее подобные эксперименты свидетельствуют о способности изолированных клеток зубов к самоорганизации и образованию островков тканей зуба.



Однако вместо него сформировался моляр. Способность контролировать и предопределять форму зуба крайне важна для зубной инженерии, и ключевую роль здесь играет регуляция активности таких генов, как *Barx1*. Кроме того, каждый сигнал должен поступать клеткам развивающегося зуба в определенное время.

Первые эксперименты по воспроизведению зубов животных были проведены в Англии в начале 1960-х гг. В последующие тридцать лет ученые пытались вырастить зуб, соединив вместе крошечные кусочки эпителиальной ткани и мезенхимы из области зубного зачатка, взятого у эмбрионов мышей. Такую конструкцию помещали в культурную среду или имплантировали в ту область тела животного, которая хорошо снабжалась кровью. Оказалось, что эмбриональные зубные зачатки до поры до времени развивались нормально, однако образования дентина и эмали не происходило, и дальше процесс не шел.

Для завершения формирования зубов необходимы определенные факторы роста и сигналы, поступающие эмбриону от клеток челюсти. Казалось бы, в таком случае нужно просто трансплантировать зубной зачаток в челюсть – и из него разовьется нормальный зуб. Однако ткань челюсти взрослого человека существенно отличается от эмбриональной, и нет никакой уверенности, что посылаемые ею сигналы будут адекватными.

Кроме того, важно, чтобы искусственный зачаток имел правильное соотношение разных клеток, иначе в нем не образуются нужные вещества и структуры. Лучше всего было бы использовать в качестве исходного материала ткани самого пациента (в этом случае они не воспринимаются организмом как чужеродные и не вызывают отторжения). Итак, чтобы добиться успеха в зубной инженерии, нужно выполнить три условия. Во-первых,

использовать клетки самого пациента, во-вторых, добиться того, чтобы будущий зуб правильно развивался в окружении ткани челюсти взрослого организма, образуя корни, прочно фиксирующие его на месте с помощью периодонтальной связки. И в-третьих, чтобы форма и размер новой структуры были такими же, как у настоящей.

### Разрушить, чтобы воссоздать

В конце 1980-х гг. специалист по трансплантации органов Джозеф Ваканти (Joseph P. Vacanti) из Гарвардской медицинской школы и химик-полимерщик Роберт Лангер (Robert S. Langer) из Массачусетского технологического института провели следующий эксперимент. Они поместили клетки определенной части тела в заранее изготовленную биodeградируемую форму, намереваясь вырастить в ней орган для трансплантации. Ученые опирались на тот факт, что клетки, формирующие ткани живого организма, постоянно обмениваются сигналами и часто перемещаются с места на место в пределах некой образуемой ими трехмерной структуры. Каждая клетка заранее «знает» свое место и роль в будущем организме. Следовательно, если поместить правильно подобранный набор отдельных клеток, полученный путем дезинтеграции ткани, в каркас подходящей формы, то они самоорганизуются и воссоздадут искомый орган.

Первые успешные эксперименты по регенерации кусочков ткани печени из отдельных клеток, проведенные Ваканти и Лангером, послужили стимулом к разработке аналогичных методик для получения других сложных органов – сердечной мышцы, костной ткани и зубов. В 2000 г. Памела Йелик (Pamela C. Yelick) и Джон Бартлет (John D. Bartlet) из Института Форсайта в Бостоне попытались вместе с Ваканти реконструировать зубы свиньи. (У этих животных, как и у че-

ловека, закладываются два набора зубов – молочные и постоянные).

В работе принимал участие и один из авторов статьи (Янг). В качестве исходного материала были взяты непрорезавшиеся третьи моляры шестимесячных поросят. Чтобы получить однородную смесь клеток зубной эмали (происходящих из эпителия) и пульпы (происходящих из мезенхимы), зубы раздробили как можно мельче и затем обработали ферментами. Каркас в форме зуба изготовили из биodeградируемого полиэфирного материала и покрыли веществом с хорошими адгезивными свойствами, чтобы клетки легко на нем адсорбировались. Затем в емкость поместили набор клеток и имплантировали его в сальник крысы (хорошо снабжаемую кровью жировую ткань, окружающую кишечник). Выбор места трансплантации крайне важен, поскольку развивающиеся зубы должны иметь необходимые питательные вещества и кислород.

Спустя какое-то время после операции каркас рассосался, вместо него образовалась новая ткань, а через 20–30 недель появилась структура, сходная по форме и составу с настоящим зубом (причем развились все основные его компоненты: эмаль, дентин, пульпа и зачатки корней).

Казалось очевидным, что «зубы» сформировались в организме крысы в результате самоорганизации соответствующих клеток внутри каркаса. Но чтобы исключить элемент случайности, было решено провести еще один эксперимент. Группа ученых из Института Форсайта использовала гомогенат зубной ткани – эпителиальные и мезенхимные клетки, полученные из первых и вторых зубов, а также моляров крыс. На этот раз их культивировали в течение шести суток, и только затем перенесли в каркас и имплантировали. По прошествии 12 недель сформировавшиеся структуры изъяли и тщательно исследовали. И вновь



обнаружилось, что внутри формы образовалось нечто вроде зубов с эмалью, дентином и пульпой.

Полученные результаты подтвердили предположение о самоорганизации клеток при формировании зубов. Кроме того, они показали, что предварительное культивирование не оказывает отрицательного воздействия на процесс, что очень важно для конструирования зубов человека, предполагающего использование клеток самого пациента. И, наконец, была продемонстрирована возможность регенерации зубов еще одного млекопитающего. ▶

### ОБ АВТОРАХ:

**Пол Шарп** (Paul T. Sharpe) и **Конан Янг** (Conan S. Young) впервые встретились два года назад на конференции по биоинженерии зубов и костей. Шарп, профессор Королевского колледжа (Лондон), возглавляет отдел по изучению развития лицевой части головы в госпитале Гая в Лондоне. В 2002 г. он создал биотехнологическую компанию *Odontis Ltd*, основным направлением работы которой стало выращивание зубов и костей человека путем воспроизведения процессов их формирования у эмбриона. Янг преподает в Гарвардской стоматологической школе и является штатным научным сотрудником Института Форсайта в Бостоне. Он занимается конструированием зубов с использованием биodeградируемых каркасов.



Ученые из Института Форсайта научились воссоздавать большинство типов тканей зуба, используя в качестве исходного материала соответствующие клетки взрослого организма. Однако, будучи предоставлены самим себе, они структурировались правильно только на 15–20%. Поэтому ученые продолжают работать над созданием прецизионных методов размещения различных типов клеток в матрице, с тем чтобы получать полноценные зубы.

В то же время исследователи не исключают возможного участия в формировании зуба стволовых клеток, которые, возможно, содержатся в зачатках третьего моляра, клетки которого используются для образования новой ткани. Если ученые докажут этот факт, то процесс воссоздания челюсти с использованием матрицы значительно ускорится.

### С нуля

Шарп и его коллеги из Королевского колледжа в Лондоне пытаются воспроизвести в лабораторных условиях естественный рост зуба с эмбрионального уровня. Для этого необходимо выяснить принципы регуляции первых этапов формирования зубов и найти источник клеток, образующих эпителий и мезенхиму ротовой полости зародыша.

Исходным материалом для исследований служат клетки (как стволовые, так и обычные) эмбрионов мышей и взрослых особей. С их помощью исследователи намереваются

выяснить роль клеток разного типа в процессе формирования зубов от начала до конца. Как правило, клетки мезенхимы подвергают центрифугированию, пока они не образуют плотный осадок. Последний покрывают слоем эпителиальных клеток и в течение нескольких суток культивируют такой «бутерброд», отслеживая активность различных генов, чтобы уловить первые признаки образования зубов. Затем зачатки имплантируют в хорошо снабжаемый кровью орган взрослого животного (например, в почки) и наблюдают за процессом на протяжении 25 суток.

В таких условиях происходит формирование зубов, однако только в том случае, если эпителиальные клетки взяты от эмбриона, а среди клеток мезенхимы имеется хотя бы небольшое количество стволовых. Когда вместо клеток мезенхимы были взяты стволовые клетки костного мозга взрослого животного, из трансплантированного материала также сформировался правильный в структурном отношении зуб. Следовательно, при конструировании зубов эмбриональные клетки мезенхимы можно заменить стволовыми клетками взрослого организма.

С заменой эпителиальных клеток эмбриона дело обстоит сложнее. Дело в том, что они содержат уникальный набор необходимых для одонтогенеза сигнальных молекул, которые после рождения исчезают из тканей полости рта. Шарп и его сотрудники пытаются найти во взрослом организме эффективные заменители. Они уже получили обнадеживающие результаты, используя комбинацию стволовых клеток взрослых животных и эпителиальные клетки полости рта эмбриона.

Очень важно, что образующиеся таким образом зубы имеют нормальный для мышей размер, они окружены костной и соединительной тканями и проявляют первые признаки образования корней. Теперь нужно попробовать получить такие же ре-

зультаты *in vivo*, т.е. вырастить зубы там, где им положено быть. У эмбриона челюсти, мягкие ткани, костное вещество и сами зубы развиваются одновременно, не подвергаясь никаким аномальным внешним воздействиям. Однако рот взрослого животного представляет собой уже сформировавшуюся конструкцию, и неизвестно, будут ли в таких условиях поступать сигналы, необходимые для развития имплантата.

Чтобы прояснить все сомнительные моменты, Шарп изъясил зачатки зубов у эмбриона мыши и трансплантировал их в мягкую ткань верхней челюсти взрослого животного между молярами и резцами, где зубы, по идее, не растут. Трансплантант зафиксировали в небольшом надрезе с помощью хирургического клея. После операции мышам давали только мягкую пищу. Через три недели в диастеме прорезались зубы. Они росли в правильном направлении, имели надлежащий размер и прикреплялись к кости с помощью мягкой соединительной ткани (см. рис. на следующей странице).

Таким образом, условия, в которые попадает зачаток зуба при трансплантации в ткань взрослого животного, вполне приемлемы для его нормального развития. Однако на пути к искусственному выращиванию человеческого зуба нас, несомненно, ждет еще не один крутой поворот.

### Перспективы

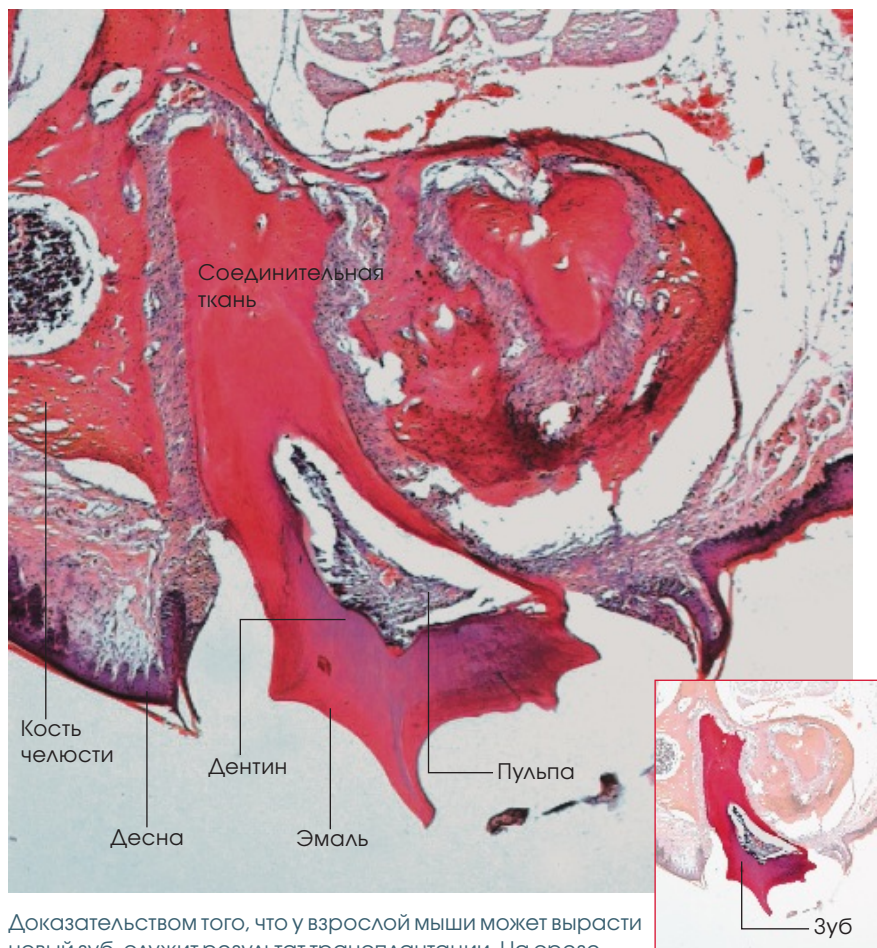
Для успешного конструирования зубов требуется гораздо меньше времени, чем для воссоздания других органов. Разработка простых методов отслеживания процесса остается пока проблемой.

Другая задача – предсказание и контроль формы и размера зубов – близка к решению. Зачатки моляров и резцов, выращенные в культуре, легко различимы как по внешнему виду, так и по активности их генов, чего нельзя сказать о пре-молярах и клыках.

Зубы, формирующиеся у взрослых мышей из трансплантированных зачатков зубов эмбрионов, соответствовали по форме тем, которые должны были вырасти у них на том же месте. Это свидетельствует о том, что информация о форме будущего зуба уже заложена в нем изначально. Специалистам по тканевой инженерии нужно в деталях разобраться в природе формирующих сигналов, чтобы использовать их при конструировании зубов человека.

Несмотря на успехи исследователей, все зубы, выращенные в лабораторных условиях, не имели полноценных корней (они образуются в последнюю очередь, уже в ходе прорезывания зубов). Остается еще один неясный момент – сколько времени понадобится на то, чтобы у человека вырос полноценный зуб из имплантата. Известно, что не только молочный, но и второй набор зубов тоже закладывается в период эмбрионального развития, они прорезываются на 6–7-м году жизни, а зубы «мудрости» – на 20-м. Опыты с регенерацией зубов у животных свидетельствуют, что все происходит гораздо быстрее, однако неизвестно, когда процесс завершается, и эмаль полностью затвердевает.

Серьезной задачей представляется также поиск легкодоступного источника клеток пациента, которые стали бы приемлемым исходным материалом для будущего зуба. Нужно, чтобы имплантат не вызывал иммунного ответа, кроме того, протезы должны обладать теми же характеристиками. Шарп и его сотрудники обнаружили, что вместо эмбриональных клеток мезенхимы могут быть использованы и соответствующие стволовые клетки из костного мозга взрослого организма. Заменитель эмбриональных эпителиальных клеток пока не идентифицирован. Обнадешивает то, что стволовые клетки обнаружены и в других тканях взрослого организма, которые имеют эпителиальное происхождение (например, в коже



Доказательством того, что у взрослой мыши может вырасти новый зуб, служит результат трансплантации. На срезе области диастемы в верхней челюсти животного виден зуб, выступающий из десны (второй зуб, расположенный на рисунке выше и правее первого, только формируется). Видна пульпа прорезавшегося зуба. Красным окрашены твердые ткани, эмаль и дентин. Корней у зуба нет, он фиксируется в челюсти с помощью мягкой соединительной ткани.

и волосах). Вероятно, их можно будет генетически видоизменить так, чтобы они индуцировали сигналы к одонтогенезу.

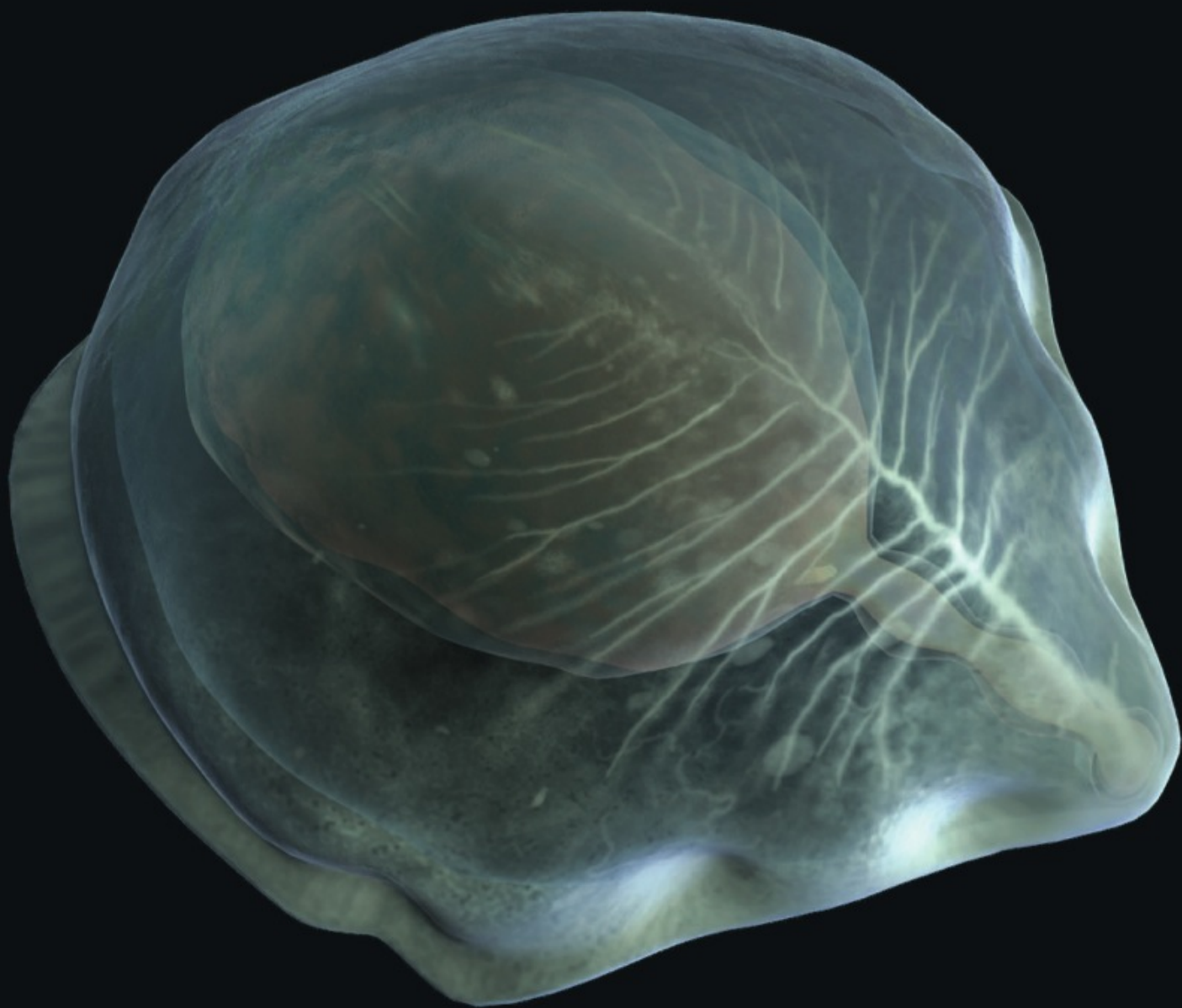
Наиболее подходящим источником необходимых клеток являются сами зубы. Возможно, в них содержатся стволовые клетки, способные давать начало разнообразным тканям зуба, в том числе и эмали. Об этом свидетельствуют и такие факты: при повреждении зуба происходит естественная частичная регенерация дентина и других тканей. Так что можно предположить, что когда-нибудь новые зубы будут делать путем перекраивания старых. ■

**ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

**Tissue Engineering of Complex Tooth Structures on Biodegradable Polymer Scaffolds.** Conan S. Young, Shinichi Terada, Joseph P. Vacanti, Masaki Honda, John D. Bartlett and Pamela C. Yelick in *Journal of Dental Research*, Vol. 81, No. 10, pages 695–700; October 2002.

**Bioengineered Teeth from Cultured Rat Tooth Bud Cells.** Monica T. Duailibi, Silvio E. Duailibi, Conan S. Young, John D. Bartlett, Joseph P. Vacanti and Pamela C. Yelick in *Journal of Dental Research*, Vol. 83, No. 7, pages 523–528; July 2004.

**Stem Cell Based Tissue Engineering of Murine Teeth.** A. Ohazama, S.A.C. Modino, I. Miletich and P. T. Sharpe in *Journal of Dental Research*, Vol. 83, No. 7, pages 518–522; July 2004.



Самое древнее известное  
нам ископаемое животное  
с билатеральным планом строения  
тела, *Vernanimalcula*, жило в морях  
примерно 580–600 млн. лет  
назад. На данной реконструкции  
оно увеличено, чтобы показать  
сложность его строения.  
В реальности оно было размером  
с точку в конце этого предложения.

Дэвид Ботджер

# РАННЯЯ ЭВОЛЮЦИЯ ЖИВОТНЫХ

Животные со сложным строением тела появились раньше, чем мы думали, – по меньшей мере, на 50 млн. лет.

В 2002 г. ЮньЮаньчен (Jun-Yuan Chen), палеонтолог Китайской академии наук из Нанкина, Стивен Дорнбос (Stephen Q. Dornbos) из Университета Южной Калифорнии и прибыли в Гуанчжоу. Мы занимались поиском микроскопически ископаемых остатков самых первых животных на Земле. Исследуя черные камни изотложений возрастом в 580–600 млн. лет, мы надеялись обнаружить билатерально-симметричное животное. Появление билатеральной симметрии (зеркального сходства конечностей и органов на правой и левой сторонах тела) стало переломным моментом в истории развития жизни. Первые многоклеточные организмы представляли собой асимметричные комочки – такие, как морские губки, которые отфильтровывают частички пищи, прокачивая воду через свое тело. Радиально-симметричные обитатели моря, кишечнорастворимые, устроены несколько сложнее, у них есть стрекательные клетки, благодаря которым они могут бездвигаться добычу. А билатерально-симметричные существа – все остальные, от червей до человека. Все они не только обладают зеркальным сходством левой и правой сторон, но еще и многослойным

телом, которое, как правило, снабжено ртом, кишечником и anusом.

Еще несколько лет назад никто не сомневался, что билатеральные животные впервые появляются в отложениях возрастом в 555 млн. лет, хотя большая их часть возникла в результате появления новых форм, начавшегося примерно 542 млн. лет назад, который называют кембрийским взрывом. Отсутствие отложений более раннего периода не позволяло узнать, что именно стало его причиной и происходил ли он на самом деле. Однако последние исследования подтвердили, что организмы со сложным строением тела появились по крайней мере на 50 млн. лет раньше кембрийского взрыва.

## Молекулярные часы

Молекулярные методы (они же часы) позволили по-новому взглянуть на время появления первых живых существ. Идея часов основана на предположении, что некоторые эволюционные изменения происходят в постоянном темпе. Например, мутации могут накапливаться в генах с одной и той же скоростью. В таком случае различия в ДНК организмов могут служить хронометром, показывающим время, когда две линии произошли от одного общего предка, после чего каждая пошла своим путем ▶



Ископаемые отложения в Китае сохранили остатки мягкотелых организмов, которые дают новую информацию о ранней эволюции животных. В 2004 г. автор со своими коллегами обнаружили самое древнее известное билатеральное животное в камнях из формации Доушаньтуо возрастом в 580–600 млн. лет, неподалеку от Вэньчжоу. Ископаемые из отложений возрастом примерно в 525 млн. лет, найденные около Чжецзяна, расширили наши представления о кембрийском взрыве.

и начала накапливать свои собственные характерные мутации.

Чтобы оценить время происхождения важнейших систематических групп животных, Грегори Рэй (Gregory Wray) из Университета Дьюка воспользовался скоростью хода молекулярных часов, известной для позвоночных. Как показывают результаты их работы, опубликованные в 1996 г., билатерально-симметричные животные разошлись в эволюции с более примитивными собратьями еще в докембрии, примерно 1,2 млрд. лет назад.

Последующие исследования с применением молекулярных часов давали различные оценки времени такого расхождения, начиная от миллиарда лет назад и заканчивая моментом непосредственно перед началом кембрийского периода. Естественно, такая разногласия породили сомнения в том, насколько применим данный метод.

Кевин Петерсон (Kevin Peterson) из Дармутского колледжа и его сотрудники использовали в своей работе молекулярные часы, применимые для беспозвоночных животных, которые идут медленнее, чем у позвоночных. Исследователи поместили последнего общего предка билатеральных в гораздо более позднее время, но раньше кембрийского взрыва, между 573 и 656 млн. лет назад. Но даже эта дата вызывала споры. Стало ясно, что лишь только настоящие ископаемые остатки дадут неоспоримое доказательство времени появления билатерально-симметричных организмов. Поэтому палеонтологи решили обратиться в поле и найти докембрийские ископаемые. Я оказался среди тех, кого увлекла идея разыскать неуловимые создания.

Таких животных трудно обнаружить, поскольку они не обладали твердым скелетом, который может минерализоваться и превратиться в ископаемые. Поэтому мы могли лишь рассчитывать найти такие отложения, которые благодаря особенностям горных пород и характеру химических процессов их формирования сохраняют тонкие детали строения остатков. Горные породы, сохранившие мягкие ткани, встречаются редко. Мы знаем лишь несколько десятков подобных находок. Широко известен зонхофенский известняк, найденный в Германии, в котором хорошо сохранились остатки пернатого существа возрастом в 150 млн. лет – археоптерикса (*Archaeopteryx*), самой древней ископаемой птицы. Более древ-

### ОБЗОР: СТАРШЕ, ЧЕМ МЫ ДУМАЛИ

- Развитие билатеральной симметрии стало переломным моментом ранней эволюции животных.
- Генетический анализ указывает на то, что билатеральная симметрия возникла 573–656 млн. лет назад, однако эта дата остается спорной. Вплоть до недавнего времени самые древние известные ископаемые остатки билатеральных существ датировались всего 555 млн. лет.
- Автор и его коллеги обнаружили ископаемые, свидетельствующие в пользу более ранней даты: микроскопическим существам из китайских отложений от 580 до 600 млн. лет.
- Миниатюрные ископаемые существа не только служат доказательством более раннего появления организмов со сложным строением тела, но также указывают на то, что сложное внутреннее строение возникло раньше, чем крупные размеры тела.



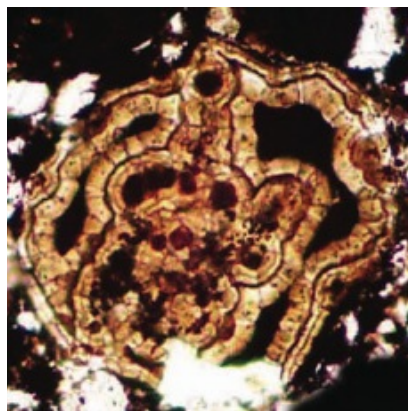
ние отложения из Британской Колумбии, бёрджесские сланцы, прославились благодаря Стивену Гульду (Stephen Jay Gould) – в них обнаружился сущий рогазобилия удивительных мягкотелых (бескелетных) организмов из древних океанов кембрия.

Еще более древние отложения из области Чанцзян провинции Юньнань принесли множество важнейших открытий мягкотелых организмов, характерных для кембрийского взрыва. И в нескольких местах нашей планеты так называемые эдиакарские отложения, названные так по названию Эдиакарских холмов в Австралии, где были найдены первые образцы, содержали статки не обычных докембрийских мягкотелых особей, и в том числе древних билатерально-симметричных животных.

В 1998 г. две группы палеобиологов сообщили о нахождении ископаемых скорлуп сохранивших мисьями мягкими тканями в других докембрийских отложениях формации Доушаньтуо в провинции Гуанчжоу на юге Китая. В них содержатся крошечные незрелые губки и кишечнополостные, а также микроскопические яйца и эмбрионы. Порода, в которой они заключены, состоит по большей части из фосфата кальция (апатита), который заменил сходные мягкие ткани животных. Последние исследования показывают, что данные породы старше, чем эдиакарская фауна, скорее всего, насчитывают 580–600 млн. лет. Следовательно, содержащиеся в ней микроскопические ископаемые жили за 40–55 млн. лет до начала кембрия.

### Отправляемся в Китай

Стало ясно, что формация Доушаньтуо поможет нам исследовать зарождение билатеральной фауны. Осенью 1999 г. по инициативе Эрика Дэвидсона (Eric Davidson), молекулярного биолога из Калифорнийского технологического института, наша группа



Наиболее хорошо сохранившийся образец *Vernanimalcula* показан на микрофотографии (слева). Диагностические признаки билатерального животного очевидны: многослойное тело с парными полостями, называемыми целомами, рот и кишечник. На рисунке (справа) изображены его важнейшие особенности (у данного образца анус не сохранился; показан на рисунке на основе сравнения с другими образцами).

приступила к изучению доушаньтуйских микроскопических ископаемых остатков. В команду также вошли Юаньчен, занимающийся исследованием нижнекембрийских отложений из Чжецзяна, и Чи Вейли, профессор Национального университета Цинхуа – специалист по биоминерализации, первый исследователь, сообщивший о находке яйца эмбриона в Доушаньтуо.

Первые пробы указывали на то, что необходимо исследовать тонкий осадочный слой черного цвета. Некоторые ученые использовали в своих лабораториях кислоту для растворения взятой отсюда породы, высвобождая из нее крошечные ископаемые, насыщенные фосфатами. Но такой метод растворения не годился. Потому мы собрали много черного камня и привезли его в лабораторию Юаньчена в Центре исследований ранних форм жизни в Нанкинском институте геологии и палеонтологии в соседней провинции Юньнань.

Мы распилили образцы на тысячу пластинок – настолько тонких, что те стали прозрачными и их можно было изучать под микроскопом. Мы сделали более чем 10 тыс. таких шлифов. Их кропотливый анализ занял несколько лет и выявил мириады яиц эмбрионов. Он подтвердил присутствие миниатюрных взрослых губки и кишечнополостных. ▶

### ОБ АВТОРЕ:

**Дэвид Боттджер** (David J. Bottjer) – палеонтолог, исследователь происхождения и эволюционной истории животных Земли, применяет междисциплинарный подход к своей работе, который предполагает совместные проекты с коллегами, специализирующимися в биологии развития, молекулярной биологии, информатике и геохимии. Боттджер – доктор геологии в Индианском университете, профессор в Университете Южной Калифорнии, президент Палеонтологического общества и главный редактор журнала *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*.

## МЕСТО МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ИСКОПАЕМЫХ В ИСТОРИИ

Ранее считалось, что эволюция животных со сложным строением тела началась с кембрийского взрыва. Открытие микроскопических *Vernanimalcula*, сделанное в 2004 г., отодвигает момент происхождения этих животных на 50 млн. лет до начала кембрия.



### ДОКЕМБРИЙ

### КЕМБРИЙ

Летом 2003 г. мы занялись изучением одной из разновидностей микроскопических ископаемых со сложным морфологическим строением. На 10 тыс. шлифов мы смогли обнаружить 10 экземпляров такого типа, и в начале 2004 г. стало ясно, что данный крошечный организм

обладал основными характеристиками билатерально-симметричного животного. Это было именно то, что мы искали!

Микроскопические ископаемые организмы, достигая всего 100–200 микрон в поперечнике (толщины нескольких человеческих волос),

на удивление сложно устроены. Они представляют собой характерный образец классического билатерально-симметричного животного, включая присутствие трех основных слоев тканей (энтодерма, мезодерма и эктодерма), наличие кишечника и сортомианусов и пар-

## КЕМБРИЙСКИЙ ВЗРЫВ

Кембрийский взрыв обычно представляется как неожиданное увеличение разнообразия билатерально-симметричных животных, т.е. обладающих одинаковыми конечностями и органами с правой и левой стороны тела. Однако все гораздо сложнее и интереснее. Недавние исследования показали, что резкий всплеск взаимодействия между существами сыграл большую роль в увеличении разнообразия.

Во-первых, животные начали влиять на окружающую их среду, и новые условия создавали как благоприятные, так и неблагоприятные факторы для других обитателей Древнего мира. Например, докембрийские организмы, жившие на морском дне, были адаптированы к перемещению по мягким микробным матам, которые покрывали практически все океанское дно и входили в состав экосистемы с самого момента зарождения жизни. Однако в начале кембрия (который длился с 542 до 488 млн. лет назад) эволюционные благоприятные условия позволили билатеральным животным перемещаться вертикально сквозь осадки. Это нарушило равномерное строение матов и привело к тому, что их поверхность стала нестабильной. Исчезли некоторые организмы, такие как геликоплакоиды, небольшие кеглеобразные животные, погруженные в морское дно, поскольку оно становилось все более неустойчивым. Другие организмы, наоборот, среагировали на изменения, приспособившись к новым условиям.

Во-вторых, в начале кембрия палеобиологи обнаруживают первых билатерально-симметричных хищников, поедавших других животных. Например, Юнь Юаньчен (Jun-Yuan Chen)

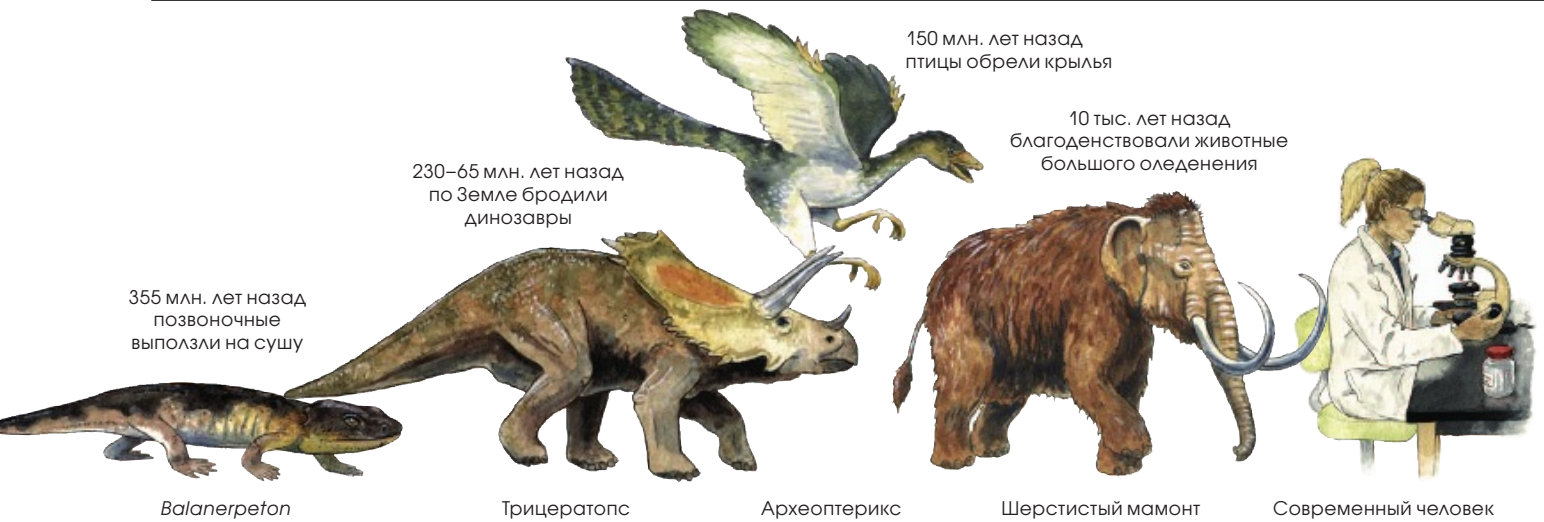
и Ди Ингхуанг (Di-Ying Huang) из Китайской академии наук в Нанкине и другие исследователи сообщают о нескольких новых разновидностях хищников из Чанцзянских отложений в Китае. В их число входят членистоногие со странными передними выростами для ловли добычи (внизу), а также встречавшиеся повсеместно роющие черви, которые перемещались прямо под самой поверхностью морского дна и питались другими мелкими организмами.

Такие биологические взаимодействия играли важную роль в ранней эволюции животных. Однако, как утверждал Чарльз Маршалл (Charles Marshall) из Гарвардского университета и как показывают наши исследования, набор генетических инструментов и формообразующих механизмов, характерных для билатеральных особей, скорее всего, уже существовал к моменту кембрийского взрыва. Таким образом, следует понимать «взрыв» разнообразия как использование новых условий животными, которые уже приобрели генетические инструменты, позволившие им воспользоваться преимуществами новых мест обитания, а не как фундаментальное изменение генетики животных.



Древний хищник *Haikoucaris* (примерно 4 см в длину).

## МЕСТО МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ИСКОПАЕМЫХ В ИСТОРИИ



### ПОСЛЕДУЮЩИЕ ПЕРИОДЫ

ных целомов (полостей тела), окружающих пищеварительный тракт. Вероятно, эти создания вальной формы и чем-то напоминавшие крохотные леденцы деловитосно вали над морским дном в поисках пищи. Их рот, расположенный на одном конце вала, всасывал микробов подобно пылесосу. Ямки по обеим сторонам могли быть сенсорными органами.

Мы назвали нашу находку *Vernanimalcula*, что означает «маленькое весеннее животное» и указывает на длинную зиму «снежной Земли», когда ледники покрывали нашу планету. Камни, содержащие *Vernanimalcula*, располагались выше отметок, оставшихся от последнего наступления ледников.

#### Наследие маленького весеннего животного

Биологическая сложность *Vernanimalcula* свидетельствует о том, что еще задолго до того времени (580–600 млн. лет), когда жили наши крошечные существа, уже шел процесс эволюции, который несразу привел к симметрии и такой степени сложности. Чтобы обнаружить предков, нам надо было найти еще более древние породы сохранившимися мягкими тканями животных.

Также необходимо было узнать, что же стало с их потомками. Имеющимися у нас сведениями о жизни в промежутке между *Vernanimalcula* и существами кембрийского взрыва, жившими на 40–55 млн. лет позже, мы обязаны эдиакарской фауне — отпечаткам слепок мягкотелых организмов более крупного размера, чем *Vernanimalcula*, достигавшим в длину от нескольких сантиметров до метра. Новые открытия, сделанные Гаем Нарбонни (Guy Narbonne) из Королевского университета в Онтарио и его коллегами, подтвердили существование таких животных 575 млн. лет назад. Однако лишь в образце хвостом в 55 млн. лет имоложеным удается найти ископаемые остатки предположительно билатерально-симметричных существ. Вотличие от миниатюрных *Vernanimalcula*, эдиакарские билатерально-симметричные животные были намного крупнее — например, мягкотелые обитатели моря *Kimberella* длиной около 10 см, которые могли быть предками моллюсков, в том числе современных ракушек, улиток и кальмаров. К сожалению, ни одно из найденных нами эдиакарских отложений не формировалось в таких условиях, при которых могли

бысохраниться микроскопические организмы. Чтобы узнать, существовали ли микроскопические билатерально-симметричные существа одновременно с более крупной эдиакарской фауной, мы должны были найти отложения эдиакарского времени такие же условия формирования, как в более древней формации Доушаньту.

Несмотря на то что мы еще не знаем предков и потомков *Vernanimalcula*, эти крохотные ископаемые показывают, что билатерально-симметричные животные обладали сложно устроенным телом еще до того, как приобрели крупные формы. Исследователи размышляют над причинами того, что привело к увеличению их размеров. Вероятнее всего, к этому их подтолкнуло значительное повышение концентрации кислорода, растворенного в воде: большее его количество позволяет иметь более крупное тело.

Изучив *Vernanimalcula*, палеонтологи стремятся отправиться на поиски ископаемых остатков мягкотелых существ. Прделанная работа подтверждает наши подозрения, что животные со сложным строением тела появились гораздо раньше, а следовательно, кембрий стал периодом их расцвета. ■



Гленн Старкман,  
Доминик Шварц

# ХОРОШО ЛИ НАСТРОЕНА ВСЕЛЕННАЯ?

Таинственное несоответствие между теорией и наблюдениями «музыки» космического микроволнового фона напоминает то, как если бы инструменты в большом оркестре играли невпопад. Пока не ясно, ошибочны ли наши наблюдения, или Вселенная сложнее, чем мы думали.

Вообразите фантастически большой оркестр, играющий уже 14 млрд. лет. Сначала вам кажется, что музыка звучит гармонично. Но прислушайтесь: что-то в ней не так. Оказывается, туба и контрабас выводят разные мелодии! Подобный диссонанс «услышали» ученые в музыке космоса, исполняемой микроволновым фоновым излучением, которое обычно называют реликтовым, оно рассказывает о ранней истории Вселенной.

Вскоре после Большого взрыва в силу законов квантовой механики в плотности энергии Вселенной возникли хаотические флуктуации. Они увеличивались в размере и в конце концов стали современными скоплениями галактик. Флуктуации напоминали звуковые волны, и этот «звук», гудевший в космосе 14 млрд. лет назад, отпечатался в реликтовом излучении. Теперь на небе мы видим карту данного «звука» в виде вариаций температуры реликтового излучения.

Как и звуковые волны, флуктуации реликтового излучения можно проанализировать, разложив их на отдельные гармоники, т.е. представив набором чистых тонов различной частоты, что-то вроде разных инструментов в оркестре. Оказывается, некоторые из этих гармоник звучат тише, чем должны, и к тому же выводят неверную мелодию. Либо чрезвычайно успешная во всех остальных вопросах стандартная космологическая модель дает здесь сбой, либо что-то неладно с наблюдаемыми данными.

Последние десятилетия ученые развивали космологическую модель, позволяющую понять многие наблюдаемые свойства Вселенной. Ее сейчас считают стандартной: она верно указывает содержание самых легких элементов (изотопов водорода, гелия и лития) и оценивает возраст Вселенной (14 млрд. лет), согласующийся с оценками возраста наиболее старых звезд. Модель предсказывает существование

и высокую однородность реликтового излучения и объясняет, как и почему возникли многие другие свойства Вселенной.

В названии модели –  $\Lambda$ CDM (*Inflationary Lambda Cold Dark Matter model*), инфляционная модель с  $\lambda$ -членом и холодным темным веществом) – отражены три ее важнейших компонента: процесс инфляции, космологическая постоянная, обозначенная греческой буквой лямбда ( $\lambda$ ), и невидимые частицы, известные как холодное темное вещество (его часто называют скрытой массой).

Согласно модели  $\Lambda$ CDM, инфляция была периодом чрезвычайно ускоренного роста, который начался в первые же доли секунды после рождения Вселенной и закончился вспышкой излучения, благодаря которой Вселенная настолько велика, именно в такой мере заполнена веществом и так близка к однородному состоянию. Модель объясняет также, почему Вселенная не вполне однородна: потому что случайные квантовые флуктуации плотности энергии были раздуты до размера скоплений галактик и даже еще больше.

Модель предсказывает, что после окончания инфляции сила гравитации вызвала сжатие областей повышенной плотности, что привело к формированию галактик и их скоплений. Процессу способствовало холодное темное вещество, образовавшее огромные облака, заметить которые можно только по их гравитационному влиянию. Космологическая постоянная ( $\lambda$ ) – странная форма антигравитации, ответственная за происходящее ныне ускорение космологического расширения (см. «Космическая загадка», «В мире науки», №12, 2004 г.).

### Древний свет

Модель успешно объясняет многие свойства Вселенной, но когда астрономы измерили флуктуации температуры реликта, возникли проблемы. Для космологов реликтовое излучение – важнейший ►

инструмент исследования самых крупномасштабных характеристик Вселенной, самый древний свет, возникший всего через несколько сотен тысяч лет после Большого взрыва, когда быстрое расширение и охлаждение Вселенной привело к превращению плотной непрозрачной плазмы в прозрачный газ. Пропутешествовав 14 млрд. лет, реликтовое излучение показывает нам сегодня картину ранней Вселенной. Придя от самых дальних рубежей, оно представляет снимок Вселенной в ее наиболее крупном масштабе.

В 1965 г. Арно Пензиас (Arno Penzias) и Роберт Вильсон (Robert Wilson) из *Bell Laboratories* первыми обнаружили реликтовое излучение и измерили его температуру. Сегодня ученые заняты выявлением флуктуаций, т.е. различий в температуре (анизотропия) данного излучения, приходящего от разных областей неба. Они и отражают флуктуации плотности в ранней Вселенной.

В 1992 г. спутник *COBE* (*Cosmic Background Explorer*) впервые измерил эти флуктуации; позже спутник *WMAP* (*Wilkinson Microwave Anisotropy Probe*) помог составить карты с высоким разрешением.

С помощью моделей типа  $\Lambda$ CDM невозможно предсказать точную картину флуктуаций, но можно рассчитать их статистические свойства, такие как средний размер и диапа-

зон размеров. Некоторые из этих характеристик дает не только модель  $\Lambda$ CDM, но и другие простейшие инфляционные модели, разработанные физиками в прежние годы в качестве возможной альтернативы. Поскольку такие свойства прогнозируются различными инфляционными моделями, их считают «общими» предсказаниями инфляции. Если теория инфляции в принципе верна, то они должны выполняться независимо от тонких деталей конкретной модели. Если бы одно из таких предсказаний не оправдалось, то теории инфляции был бы нанесен серьезный удар. Проверить это можно, измеряя аномалии реликтового излучения.

Предсказания теории лучше всего видны при разложении температурных флуктуаций в спектр по модам, называемым сферическими гармониками; это напоминает разложение музыкального звука на отдельные ноты (см. врезку на стр. 33). Пока колебания плотности не выросли и не превратились в галактики, их можно рассматривать как звуковые волны во Вселенной. Если разложение на отдельные моды кажется вам загадочным, то вспомните аналогию с оркестром: каждая мода – отдельный инструмент, а вся температурная карта небесной сферы – полное звучание целого оркестра.

Первое из общих предсказаний теории инфляции о флуктуациях

реликтового излучения – их статистическая изотропия. Иными словами, в распределении флуктуаций по небу не должно проявляться предпочтительного направления – ни ранее известного (например, направления земной оси), ни определенного самим излучением.

Теория инфляции предсказывает также, что в диапазоне возможных значений амплитуда каждой моды (по нашей аналогии – громкость каждого инструмента в оркестре) должна быть случайной. В частности, распределение вероятностей имеет колоколообразную форму, называемую гауссианой. Некоторая средняя амплитуда в данном случае наиболее вероятна – это пик кривой. Но есть и отличные от нее амплитуды, правда, чем больше отличие, тем меньше ее вероятность. Каждая мода имеет свое гауссово распределение, ширина которого (т.е. ширина основания колокола) указывает, какая мощность (сколько звука) приходится на данную моду.

Теория инфляции утверждает, что амплитуды всех мод должны иметь гауссово распределение с почти одинаковой шириной, поскольку инфляция, приводящая к экспоненциальному расширению Вселенной, подобно космическому утюгу, разглаживает все следы любых характерных масштабов. Итоговый спектр мощности называют плоским из-за отсутствия у него каких-либо особенностей. Существенные отклонения от плоского спектра должны быть только у тех мод, которые возникли либо в самом начале, либо в конце инфляции.

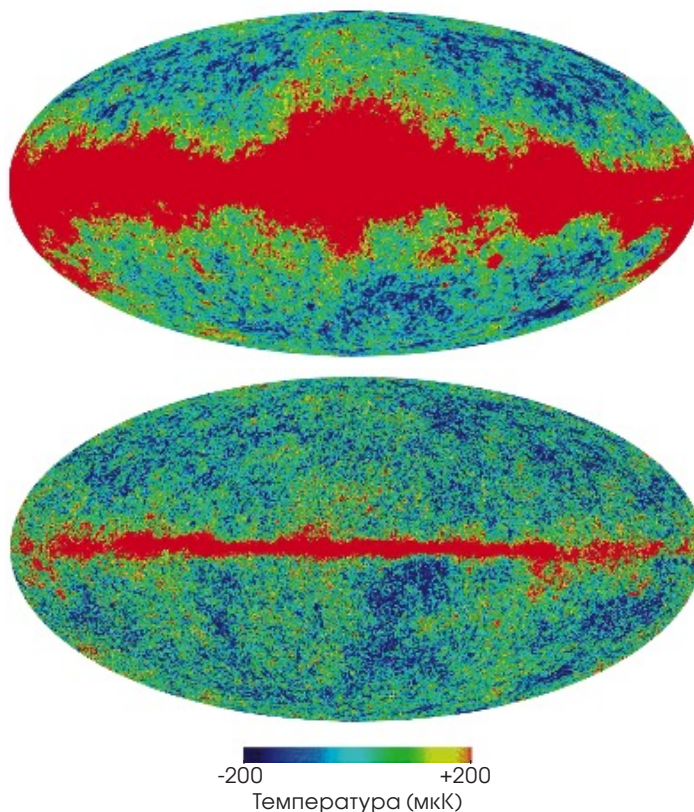
### Потерянные ноты

Сферические гармоники представляют собой различные типы колебания сферы. Если мы присмотримся к ним, то заметим, где наблюдения приходят в противоречие с моделью. Сферическими гармониками удобно пользоваться, поскольку вся наша информация о далеких областях Вселенной проецируется на единую сферу – на небо. Самый

## ОБЗОР: НЕБЕСНЫЙ ДИССОНАНС

- Теория инфляционной модели с  $\lambda$ -членом и холодным темным веществом объясняет многие свойства Вселенной. Но при анализе некоторых наблюдательных данных у нее обнаружили серьезные проблемы.
- При изучении космического микроволнового фона возникли вопросы. Пространственные флуктуации этого реликтового излучения астрономы разделили на отдельные моды, подобно инструментам в оркестре. В рамках этой аналогии оказалось, что в «небесном оркестре» контрабас и туба играют не в лад, да еще и слишком тихо.
- Данные наблюдений могут быть искажены, например, присутствием газа у границ Солнечной системы. Но даже в этом случае некоторые выводы теории инфляции ставятся под сомнение.

Микроволновое изображение неба получено спутником *WMAP* в *K*-полосе (23 ГГц, *вверху*), *W*-полосе (94 ГГц, *внизу*) и в трех других полосах спектра (*не показаны*). Полная небесная сфера в проекции представлена эллипсом, как географическая карта. Горизонтальная красная область – излучение Млечного Пути. Подобное излучение переднего плана изменяется с переходом от одной полосы спектра к другой, что позволяет отделять его от фонового реликтового излучения.



нижний тон ( $l=0$ ) – монополю, когда сфера пульсирует как целое. Монополю реликтового излучения – это его средняя температура, всего лишь 2,725 К выше абсолютного нуля (*см. врезку на стр. 33*).

Следующая по высоте нота ( $l=1$ ) – диполь, у которого температура выше в одном полушарии и ниже – в другом. Диполь возникает из-за эффекта Доплера, поскольку Солнечная система движется относительно реликта; в том направлении, куда движется Солнце, небо выглядит немного теплее.

В общем случае колебание для каждого значения  $l$  (0, 1, 2...) называют мультиполем порядка  $l$ . Любую нарисованную на сфере карту, будь то температура реликта или топография Земли, можно разложить на отдельные мультиполи. На нашей карте температурных вариаций мультиполи нижних порядков представляют обширные области – «океаны» и «континенты». Мультиполи более высоких порядков последовательно представляют области все меньшего размера – горы и долины, холмы и овраги, которые видны на фоне более крупных структур. Вся сложная топография – сумма отдельных мультиполей.

При анализе карт реликтового излучения каждый мультиполюль  $l$  имеет амплитуду  $C_l$ . Образно говоря, это средняя высота и глубина гор и долин, соответствующих этому мультиполю, или средняя громкость данно-

го инструмента в оркестре. Полный набор амплитуд для всех возможных значений  $l$  называется угловым спектром мощности. Космологи рисуют его в виде графика, который начинается с  $C_2$ , поскольку истинная информация о флуктуациях реликта начинается с  $l=2$ . Иллюстрация на *стр. 34* показывает угловой спектр мощности, измеренный спутником *WMAP*, а также прогноз модели  $\Lambda$ CDM, наиболее близко соответствующий этим наблюдениям. Измеренные амплитуды двух мультиполей с наименьшими значениями  $l$ ,  $C_2$  и  $C_3$ , называемых квадруполем и октуполем, значительно ниже модельных. Дефицит мощности у мультиполей с малыми  $l$  впервые отметила команда *COBE*, а недавно подтвердили и специалисты *WMAP*. В терминах топографии: крупнейшие континенты и океаны оказались загадочно низкими и мелкими. В терминах музыки: мы еле слышим контрабас и тубу.

Еще сильнее проявляется этот эффект, если вместо амплитуды сферических функций ( $C_l$ ) рассма-

тривать так называемую угловую корреляционную функцию  $C(\theta)$ . Вообразите, что вы изучаете на небе две точки, разделенные углом  $\theta$ , и сравниваете, обе ли они горячее (или холоднее), или же одна из них горячее, а другая холоднее, чем средняя температура неба. Функция  $C(\theta)$  указывает степень корреляции температурных отклонений, среднюю для всевозможных пар точек на небе, разделенных углом  $\theta$ . Наблюдения показывают, что  $C(\theta)$  в нашей Вселенной почти равна нулю для углов больших приблизительно  $60^\circ$ ; т.е. флуктуации в направлениях, разделенных более чем на  $60^\circ$ , никак не связаны. Это еще раз указывает, что во Вселенной, созданной инфляцией, низкие ноты отсутствуют.

Отсутствие широкоугольных корреляций сначала заметил *COBE*, а теперь подтвердил и *WMAP*. Малость  $C(\theta)$  для больших углов означает не только то, что  $C_2$  и  $C_3$  невелики, но и что отношение первых нескольких амплитуд, по крайней мере, ▶

вплоть до  $C_4$ , также является ненормальным. Слабость спектра мощности при больших углах находится в поразительном противоречии со всеми классическими моделями инфляции.

Здесь возможны три разгадки. Во-первых, необычный результат может оказаться простой статистической случайностью. Скажем, неопределенность в данных может быть больше, чем ее оценивают, что сделало бы результаты наблюдений менее достоверными. Во-вторых, корреляции могли возникнуть при обработке наблюдений, если анализ данных, полученных *WMAP*, был проделан недостаточно аккуратно. Наконец, это может свидетельствовать о недочетах в теории.

Некоторые авторы склоняются к первой возможности. Еще в 2003 г. Джордж Эфстасио (George Efstathiou)

указал на то, что амплитуду соответствующих мод, но также привлечь данные об ориентации каждого мультиполя. Например, диполь указывает направление от «прохладной» к «теплой» половине неба. Мультиполи более высоких порядков содержат еще больше информации о направлениях. Если расхождение в амплитудах действительно вызвано лишь игрой случая, тогда информация о направлениях, выведенная из тех же данных, должна соответствовать прогнозу теории. Однако это оказалось не так.

В 2003 г. Анжелика де Оливейра-Коста (Angelica de Oliveira-Costa) и Макс Тегмарк (Max Tegmark) из Пенсильванского университета, Матиас Залдарриага (Matias Zaldarriaga) из Гарвардского университета и Эндрю Гамильтон (Andrew Hamilton) из Колорадского университета в Боулдере заметили, что

полушарий оказалась в точности разделена эклиптической – той плоскостью, в которой лежит орбита Земли вокруг Солнца.

Это стало первым указанием на то, что флуктуации реликтового излучения, которые считались в основном космологическим и, хотя и с некоторой примесью неоднородностей галактического излучения, на самом деле существенно «загрязнены» излучением Солнечной системы.

Тем временем один из нас (Старкман) вместе с Крэггом Копи (Craig Copi) и Драганом Хатерером (Dragan Huterer) из Университета Западного резервного района в Кливленде, шт. Огайо, развил новый метод представления флуктуаций реликта в векторной форме. Это позволило нам (Шварц, Старкман, Копи и Хатерер) проверить прогноз о том, что флуктуации реликта



### Слабость спектра мощности при больших углах противоречит классической инфляционной теории.

из Кембриджского университета усомнился в точности статистических методов, использованных для выделения квадрупольной составляющей, и заявил, что опубликованные результаты могут быть не столь уж надежны. С тех пор многие другие специалисты критически рассматривали методику, использованную командой *WMAP*, для определения  $C_l$  при малых  $l$ . Они заключили, что учет эффектов, вызванных собственным излучением нашей Галактики, был не столь надежен, как первоначально полагали исследователи.

#### Загадочная ориентация

Чтобы выяснить, действительно ли теория расходится с наблюдениями, несколько групп ученых решили использовать не только информацию о величинах  $C_l$ , представляю-

направления главных осей квадрупольной и октупольной мод очень близки друг к другу и имеют дефицит амплитуды. А ведь большинство инфляционных моделей предсказывает, что между этими модами не должно быть ничего общего.

В том же 2003 г. Ханс Эриксен (Hans Kristian Eriksen) и его коллеги из Норвежского университета в Осло выявили совпадение направлений. Они разделили небо на всевозможные пары полушарий и вычислили относительную амплитуду флуктуаций на противоположных половинах неба. Результат работы полностью противоречил стандартной инфляционной космологии: многие пары полушарий очень сильно различались по спектру мощности. Но самым неожиданным оказалось то, что пара наиболее различающихся

не должны быть связаны с особыми направлениями во Вселенной.

В 2004 г. мы нашли также и неожиданные корреляции, подтвердившие результаты Оливейра-Коста и ее коллег. Некоторые из векторов оказались лежащими почти в плоскости эклиптики и расположенными неожиданно близко к точкам равноденствия – тем двум точкам, где проекция земного экватора на небесную сферу пересекается с эклиптической. Те же самые векторы оказались ориентированы подозрительно близко к направлению движения Солнца во Вселенной. Другой вектор лежит очень близко к плоскости Местного сверхскопления галактик, называемой сверхгалактической плоскостью.

Каждое из данных совпадений имеет вероятность случайной реализации не более 1/300. И, несмотря



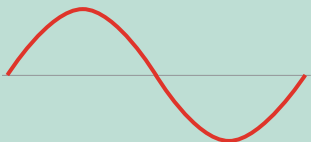
Когда ученые говорят, что некоторые инструменты в космическом микроволновом фоне играют не в унисон, то что они имеют в виду и как они узнали об этом?

Исследователи реликтового излучения изучают флуктуации температуры, измеренной во всех направлениях неба. Эти флуктуации они анализируют с помощью математических функций, называемых сферическими гармониками. Вообразите скрипичную струну, которая может издавать бесконечное разнообразие звуков, даже если не укорачивать ее длину, зажимая пальцем. Эти звуки (ноты) можно пометить числом  $l$  по количеству точек (узлов) на струне, исключая ее концы, которые остаются неподвижными в процессе звучания.

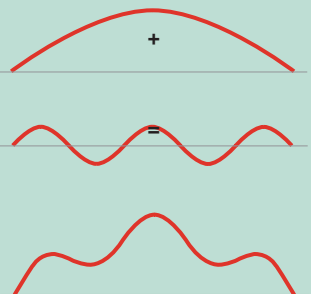
Нижнюю ноту, у которой нет узлов ( $l=0$ ), называют основным тоном, или основной модой. При этом все точки струны, кроме ее концов, движутся в унисон (рис. внизу).



Нота с одним узлом ( $l=1$ ) в середине – первый гармонический обертоном, или первая гармоника. В этом случае половина струны движется в одном направлении, а другая половина – в другом (рис. внизу). Если вы споете «до-ре-ми-фа- соль-ля-си-до», то последнее «до» будет первой гармоникой основного тона первого «до». Нота с двумя равно отстоящими узлами – вторая гармоника, и так далее.

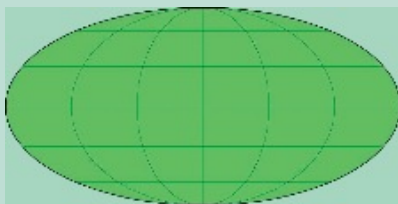


Любое сложное колебание струны можно разложить на гармонические составляющие. Например, изображенное ниже колебание можно рассматривать как сумму фундаментальной моды ( $l=0$ ) и четвертой гармоники ( $l=4$ ). Обратите внимание, что в этой сумме четвертая гармоника имеет меньшую амплитуду (ее волны более мелки), чем фундаментальный тон. В аналогии с оркестром инструмент №4 играет тише, чем инструмент №0. Обычно чем сложнее колебание струны, тем на большее число гармоник его приходится раскладывать.

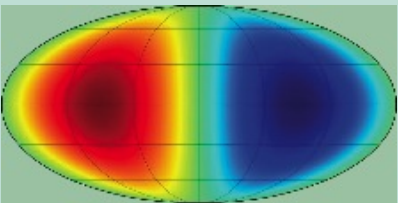
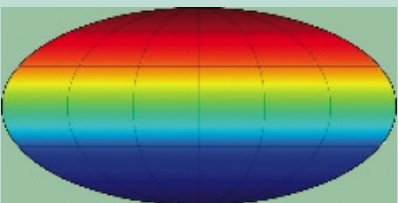
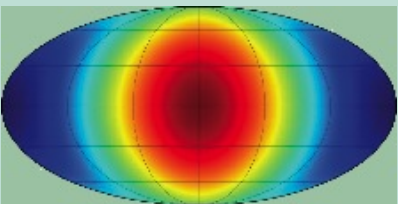


Сферические гармоники обозначаются  $Y_{lm}$  и представляют моды колебания сферического «барабана». Поскольку поверхность сферы двумерна, нам для описания мод понадобятся два числа –  $l$  и  $m$ . Для каждого значения  $l$  (которые могут быть 0, 1, 2...) значения  $m$  могут быть любым целым числом от  $-l$  до  $l$ . Комбинация всех нот с одинаковым значением  $l$  и различными значениями  $m$ , каждая со своей собственной амплитудой (в акустических терминах – громкостью), называется мультиполем.

Невозможно так же просто изобразить сферические гармоники, как мы рисовали скрипичную струну. Мы же изобразим карту сферы, окрашенную в соответствии с тем, имеет ли данная область температуру выше или ниже средней. (Форма этой карты представляет развертку шара на плоскости, как у географической карты Земли.) Монополь, у которого  $l=0$ , представляет сферический барабан, все точки которого пульсируют в унисон (рис. ниже).

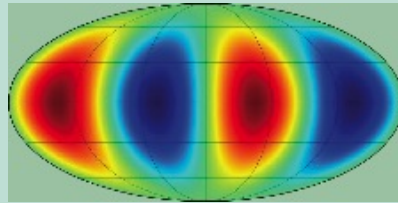
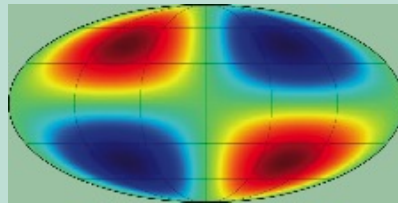
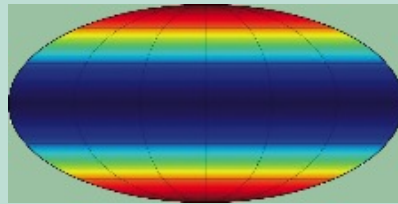
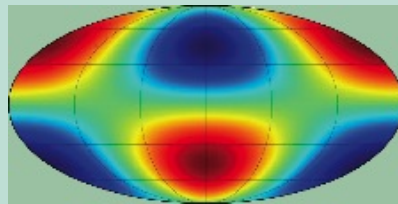
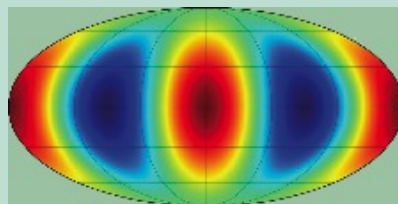


У диполя ( $l=1$ ) половина поверхности движется наружу (красный), а половина – внутрь (синий). Возможны три дипольных моды ( $m = -1, 0, 1$ ) в трех перпендикулярных направлениях пространства (влево – вправо, вверх – вниз, от нас – к нам).



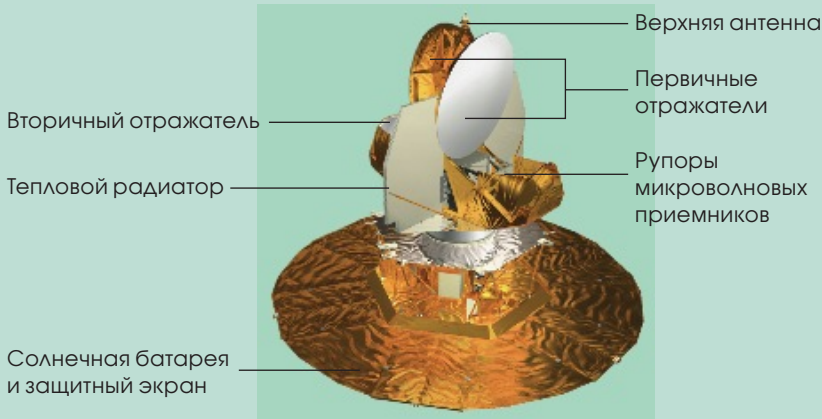
Области зеленого цвета имеют среднюю температуру; эти линии узлов подобны узлам скрипичной струны. С увеличением  $l$  растет и число узловых линий.

Квадруполь ( $l=2$ ) имеет пять мод, каждая с более сложной картиной колебаний или изменения температуры на сфере (рис. ниже).



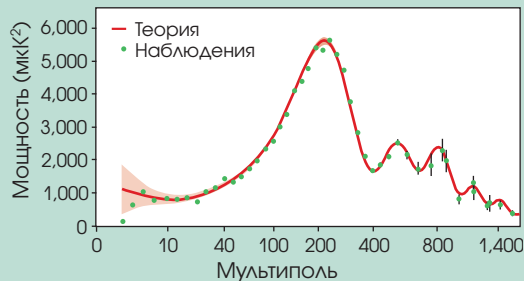
Любую картину вариаций температуры на сферической поверхности мы можем представить в виде суммы сферических гармоник, так же, как любое колебание скрипичной струны можно представить в виде суммы гармонических колебаний. В такой сумме каждая сферическая гармоника имеет свою амплитуду, указывающую вклад этой гармоники в общую картину, т.е. насколько громко играет этот «инструмент космического оркестра».

Спутник WMAP передает данные, содержащие три загадки



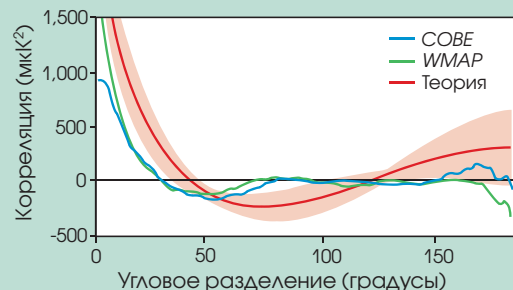
## 1. УГЛОВОЙ СПЕКТР МОЩНОСТИ

Большинство измерений WMAP прекрасно согласуются с прогнозом инфляционной модели с лямбда-членом и холодным темным веществом. Но две первые наблюдательные точки (для квадруполья и октуполья) имеют anomalously низкую мощность.



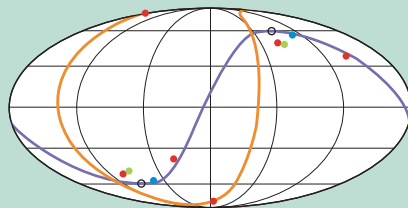
## 2. УГЛОВАЯ КОРРЕЛЯЦИОННАЯ ФУНКЦИЯ

Функция связывает данные от точек на небе, разделенных определенным углом. Кривые данных COBE и WMAP должны были следовать теоретической кривой. Вместо этого они практически обращаются в нуль на разделениях больше 600.



## 3. ОРИЕНТАЦИЯ ПЕРВЫХ ДВУХ МУЛЬТИПОЛЕЙ

Квадруполь (синий) и октуполь (красный) должны быть ориентированы случайно, но вместо этого они тяготеют к точкам равноденствия (пустые кружки) и к направлению движения Солнечной системы, определенному осью диполя (зеленые точки). К тому же их оси плоскости эклиптики (фиолетовая линия). А две из них находятся в плоскости Сверхгалактики, объединяющей нашу Галактику, соседние с ней звездные системы и их скопления (оранжевая линия). Вероятность случайного совпадения данных направлений – менее 1/10000.



на то, что они не полностью независимы друг от друга, вероятность их совместной случайной реализации заведомо меньше, чем 1/10000 (без учета странных свойств мультиплетов низкого порядка).

Некоторые исследователи выразили опасение, что все результаты были получены по полным картам «реликтового» неба. Казалось бы, их использование дает преимущества, однако вдоль полосы Млечного Пути данные о температуре реликтового излучения могут быть ненадежны. Чтобы найти температуру реликта в данной полосе неба, нужно сначала вычестить вклад в излучение, вносимый нашей Галактикой. А методы, использованные командой WMAP и другими группами, возможно, недостаточно надежны. Действительно, команда WMAP предостерегла других исследователей от использования их полной карты неба; сами они выбрали для анализа только области, лежащие вне Млечного Пути. Когда Юрош Сельяк (Uros Seljak) из Принстона и Анже Шлозар (Anze Slosar) из Люблянского университета исключили из анализа полосу Млечного Пути, они обнаружили, что в некоторых диапазонах волн вероятность совпадения некоторых направлений уменьшилась, а в других усилилась. Наша последующая работа показала, что

## ОБ АВТОРАХ :

Гленн Старкман (Glenn D. Starkman) и Доминик Шварц (Dominik J. Schwarz) с 2003 г. работали в CERN. Старкман – профессор Центра образования и исследований по космологии и астрофизике факультетов физики и астрономии Университета Западного резервного района. Шварц занялся космологией после окончания Венского технологического университета. Преподает в университете г. Билефельд (Германия). Его основной научный интерес – вещество Вселенной в ранний период эволюции.

наблюдаемые корреляции не объясняются только влиянием Галактики. И правда, было бы странно, если бы эффекты Млечного Пути объясняли ориентацию реликтового излучения в плоскости Солнечной системы.

Связь между микроволновым фоном и Солнечной системой станет еще более явной, если мы рассмотрим угловой спектр мощности. Помимо слишком низкой амплитуды при малых  $l$  заметны еще три точки ( $l=22, l=40$  и  $l=210$ ), в которых наблюдаемый спектр мощности значительно отличается от предсказанного наиболее подходящей  $\lambda$ CDM-моделью. Несмотря на то что указанные различия были широко известны, от внимания большинства космологов ускользнуло, что три отклонения также коррелируют с эклипстикой.

что этот источник или поглотитель излучения оказался заметным для приборов, изучающих реликтовое излучение, но не был обнаружен другими астрономическими приборами в иных диапазонах волн? Мы надеемся, что нам удастся достаточно детально изучить источник переднего плана, чтобы освободить от его влияния данные по реликту.

### Назад к пересмотру теории?

На первый взгляд, открытие локального искажения данных о реликтовом излучении могло бы разрешить загадку слабости его крупномасштабных флуктуаций. Но на самом деле это лишь усложняет проблему. Когда мы вычтем вклад в излучение, связанный с гипотетическими объектами переднего плана, оставшийся

соту исходной модели, подобно тому, как дополнительные эпициклы, вводимые в теорию Птолемея для согласования видимых движений планет с предсказанием геоцентрической модели, в конце концов убили ее.

У космоса сложная топология. Если Вселенная конечна и обернута вокруг себя, подобно кренделю, то колебательные моды в ней должны быть совсем иными. Мы могли бы «на слух» распознать форму Вселенной, как мы отличаем, скажем, звон церковного колокола от завывания ветра. При этом нижние тона – крупномасштабные флуктуации – наиболее чувствительны к форме (и размеру) Вселенной. Наша Вселенная могла бы иметь сложную топологию, но быть раздутой инфляцией настолько сильно, что все особенности тополо-

## Новые данные могут заставить нас пересмотреть представления о ранней эволюции Вселенной.



Объяснить корреляцию между низкими модами реликта и структурой Солнечной системы можно было бы одним из двух способов. Первый – ошибка в конструкции приборов *WMAP* или неверный анализ полученных данных (так называемая систематическая ошибка). Однако команда *WMAP* была предельно осторожна и провела множество перекрестных проверок своих приборов. Поэтому трудно представить, как могли бы возникнуть ложные корреляции. Кроме того, мы нашли подобные корреляции и в картах, полученных спутником *COBE*, который использовал совершенно иные приборы и методы анализа.

Более вероятное объяснение состоит в том, что существует неучтенный источник или поглотитель микроволновых фотонов, который связан с Солнечной системой, например, неизвестное пылевое облако на ее периферии. Но как получилось,

космологический вклад, вероятно, окажется еще меньшим, чем считалось ранее. (Любое другое заключение потребовало бы случайной, но точной взаимной компенсации между космологическим вкладом и нашим предполагаемым источником переднего плана.) Тогда еще сложнее было бы утверждать, что отсутствие в спектре мощности мод с малыми  $l$  – всего лишь игра случая. Похоже, теория инфляции зашла в тупик.

Статистически надежный вывод, что на больших масштабах флуктуации реликта не так сильны, как ожидалось, может заставить нас вновь пересмотреть представления о ранней Вселенной. Альтернативы классической теории инфляции не столь уж привлекательны: можно было бы так подправить нынешнюю модель инфляции, чтобы она не входила в конфликт с наблюдаемым на больших масштабах спектром мощности. Но такие «заплатки» разрушают кра-

гии «убежали» за горизонт и стали почти неразличимыми.

Новые данные от спутника *WMAP* (не только о флуктуациях температуры неба, но также и о поляризации его излучения) помогут нам различить источники переднего плана. В 2007 г. Европейское космическое агентство запустит обсерваторию «Планк», которая будет измерять реликтовое излучение в большем количестве частотных диапазонов и с более высоким угловым разрешением, чем *WMAP*. Несмотря на то что высокое угловое разрешение не поможет разрешить загадку низкочастотных мод, наблюдение неба в дополнительных микроволновых «цветах» позволит нам намного точнее исправить систематические ошибки и учесть объекты переднего плана. Космологические исследования продолжают преподносить сюрпризы. Мы ждем новых открытий. ■



Райнхольд Кох

# ПОЛИМОРФНАЯ АРХИТЕКТУРА процессора

Аппаратное обеспечение цифровых устройств на основе магнитных логических элементов сможет в мгновение ока адаптироваться к решению различных задач.

Создателям микропроцессоров всегда приходится выбирать между гибкостью и производительностью. Процессоры общего назначения в персональных компьютерах умеют выполнять множество различных команд и справляются с любыми задачами: от построения реалистических трехмерных изображений до проведения сложнейших научных расчетов. Но такая гибкость реализуется в ущерб производительности. Вместе с тем специализированные интегральные схемы (СИС), например, звуковые и графические контроллеры, характеризуются чрезвычайно высокой производительностью, но не годятся для решения широкого спектра задач.

Есть устройства, занимающие промежуточную нишу между этими двумя типами аппаратных средств. В зарубежной литературе их называют *morphware*, т.е. процессоры с полиморфной архитектурой: они могут быть оптимизированы для решения любой конкретной задачи прямо в процессе работы. Один из примеров – программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС), состоящие из больших блоков транзисторов, которые выполняют определенные логические операции и могут быть переконфигурированы программным

обеспечением. Их можно настроить на шифрование данных, автоматическое распознавание военных целей и сжатие данных в десятки раз. ПЛИС выполняют все эти операции гораздо быстрее, чем процессоры общего назначения.

ПЛИС изготавливаются по обычной КМОП-технологии и имеют ряд ограничений. Так, для изменения последовательности операций «на лету», скажем, при переходе от матричных вычислений к параллельным, требуется сравнительно медленная перенастройка связей между большими блоками транзисторов, которая не затрагивает отдельных логических вентилях. Кроме того, ПЛИС характеризуются низкой плотностью компоновки элементов схемы, что, в свою очередь, накладывает ограничения на количество операций и скорость их выполнения.

В последние годы сразу несколько исследовательских групп приступили к разработке нового типа процессоров с полиморфной архитектурой, в которых для переконфигурирования логических элементов используются слои магнитных материалов. Главное преимущество микросхем с магнитной логикой – энергонезависимость: при отключении внешнего питания информация из них не исчезает, ▶

и в процессе работы ее не приходится периодически «освежать». Кроме того, в магнитологических устройствах один и тот же элемент способен выполнять различные логические операции, для реализации которых обычно требуется несколько транзисторов.

### От сотового телефона до MP3-проигрывателя

На основе магнитной логики можно будет создавать многоцелевое аппаратное обеспечение, например, сотовые телефоны, без труда превращающиеся в цифровые музыкальные проигрыватели. Потребность в специализированных микросхемах снизится. Поскольку частота переключения магнитологических затворов достигает нескольких гигагерц, состоящий из них процессор-хамелеон мог бы каждую секунду неоднократно изменять свои функциональные возможности.

Функционирование магнитологических устройств основывается на технологии хранения информации в магниторезистивной оперативной памяти (*magnetic random-access memory*, *MRAM*), промышленное производство которой начнется в ближайшее время. Каждая ячейка такой

памяти, хранящая один бит информации, состоит из двух ферромагнитных сплавов, которые разделены немагнитным материалом, чтобы исключить их взаимное влияние. Намагниченность слоев (направление оси намагничивания) изменяется независимо (см. врез на следующей странице). Когда оба слоя намагничены параллельно, электрическое сопротивление ячейки оказывается низким. Такое состояние обозначает единицу. Когда полярность магнитных слоев противоположна, так

называемое магнетосопротивление велико, что соответствует нулю.

Чтобы изменить сопротивление ячейки магниторезистивной памяти, необходимо пустить по его входам электрический ток. Каждый магнитный элемент может не только хранить единицу или ноль, но и выполнять элементарные логические операции, такие как «И» и «ИЛИ».

Простейшие магнитологические схемы появились еще в начале 1960-х гг., но их быстро вытеснили кремниевые микрочипы. Однако в 2000 г. Уильям Блэк (William C. Black) и Бодисаттва Дас (Bodhisattva Das) из Университета штата Айова опубликовали чрезвычайно интересную работу, посвященную магниторезистивной логике. Два года спустя корпорация *Siemens* продемонстрировала действующий экспериментальный образец программируемого маг-

Информация, содержащаяся в магнитологических элементах, сохраняется даже при отключенном питании и не нуждается в постоянной регенерации.

нитологического элемента. В 2003 г. наша группа из Института Пауля Друде в Берлине предложила более простой механизм изменения состояний различных вычислительных элементов.

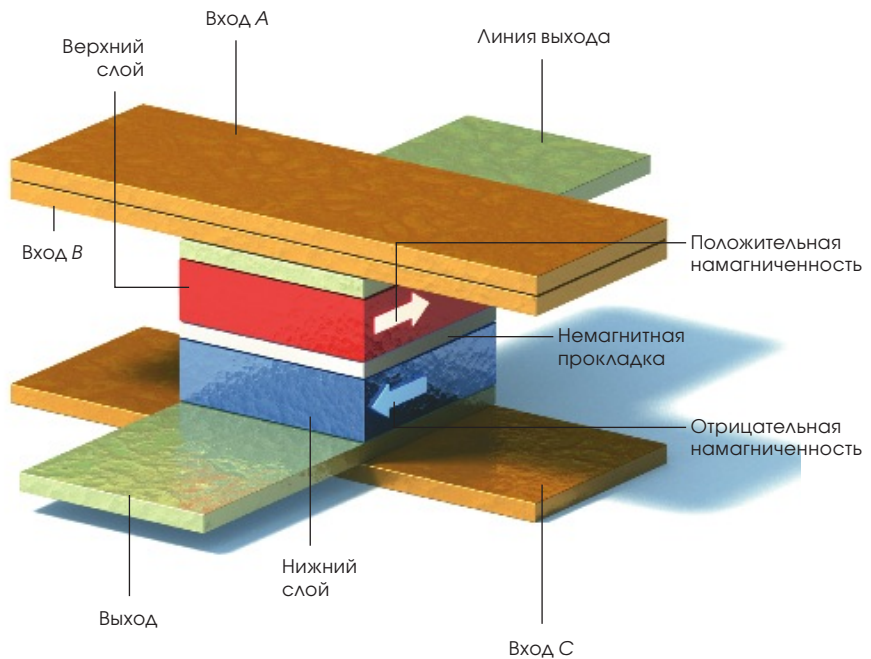
### Создание логического затвора

Магнитологический затвор очень похож на ячейку магниторезистивной памяти и состоит из двух ферромагнитных слоев, разделенных немагнитным материалом. Параллельным и антипараллельным намагничиванием слоев обуславливается низкое и высокое электрическое сопротивление, т.е. кодируется единица и ноль соответственно. Вообще говоря, слоистые системы характеризуются гораздо большим магнетосопротивлением, чем однородные, что облегчает чтение и запись битов. В зависимости от типа немагнитного материала прослойки это свойство слоистых систем называют гигантским или туннельным магнетосопротивлением. Оно обуславливается спинами (угловыми моментами) электронов, которые ориентированы в одном

### ОБЗОР: ПРОЦЕССОР-ХАМЕЛЕОН

- Мозги всех современных компьютеров – центральные процессоры – построены либо для выполнения обширного набора команд, либо для максимально быстрого решения какой-то конкретной задачи.
- Процессоры с полиморфной архитектурой позволяют достичь оптимального соотношения «универсальность-производительность». Они быстро выполняют одну задачу, а затем программно изменяют свою конфигурацию, чтобы наилучшим образом настроиться на выполнение другой.
- Полиморфные процессоры нового типа получили название магнитологических. Их элементы состоят из слоев металлических материалов, которые намагничиваются в соответствии с установками программы. Такой процессор-хамелеон может настраивать собственные функциональные возможности, мгновенно превращаясь, например, из сотового телефона в MP3-проигрыватель.
- Поскольку магнитные логические элементы сохраняют результат последней операции, состоящая из них микросхема будет представлять собой комбинацию процессора и оперативной памяти.

Два ферромагнитных слоя разделены немагнитной прокладкой. Значение на выходе – ноль или единица – определяется их полярностями (показаны стрелками). Электрические токи, проходящие через пластины входов затвора, создают магнитное поле, необходимое для изменения намагниченности слоев. Ток, протекающий по двум верхним линиям, перемагничивает верхний слой. Задействовав все три входа, можно изменить намагниченность обоих слоев. Положительное намагничивание (стрелка направо) представляет единицу на выходе, отрицательное (стрелка налево) – ноль. Параллельная намагниченность слоев соответствует единице на выходе, а антипараллельная – нулю.



направлении, и используется для чтения битов.

Чтобы записать бит, изменяют ориентацию электронных спинов, т.е. перемагничивают один из слоев. Направление оси намагничивания любого слоя можно изменить на 180° магнитным полем тока, протекающего через линии входов. Но некоторые ученые исследуют другой метод изменения состояния ячейки, при котором спин электрона создает вращающий момент, изменяющий направление оси намагничивания слоя.

В нашем проекте магнитологический затвор имеет три входа (A, B и C), на которые подается одинаковый ток. Магниторезистивный элемент, дающий на выходе единицу или ноль, может находиться в четырех начальных состояниях: в двух – с параллельной намагниченностью слоев и в двух – с антипараллельной. В предшествующих разработках использовались более сложные схемы, – в частности, для создания входных токов различной силы.

Сначала мы устанавливаем полярность затвора в одно из четырех со-

стояний при помощи токов, подаваемых на две или три входные линии. Затем для выполнения логической операции активизируются только два верхних входа – A и B. Начальное логическое состояние изменяется только в том случае, когда токи, протекающие по входным линиям, создают магнитные поля, полярность которых совпадает с направлением намагниченности нижнего слоя (см. врез на стр. 40) одинаковой полярности, что и поле от начальной намагниченности слоя. При этом состояние выхода меняется от 1 до 0 или наоборот. Этот процесс имеет то преимущество, что логическое состояние может быть заново запрограммировано при каждой новой операции.

Поскольку в отсутствие внешнего питания полярность слоев, а значит, и логическое состояние, остается неизменным, биты не нуждаются в постоянной регенерации и не стираются при считывании информации. Будучи одновременно и логическими элементами, и ячейками памяти, магнитные затворы позволяют сэкономить не только ▶

### ОБ АВТОРЕ:

**Райнхольд Кох** (Reinhold Koch) – руководитель наноакустической группы в Институте твердотельной электроники Пауля Друде (Берлин). В 1981 г. получил докторскую степень по химии в Инсбрукском университете. В 1985 г. стал научным сотрудником Объединенного института Стэнфорд–NASA по исследованию поверхностей и микроструктур. С 1988 по 1998 гг. преподавал на физическом факультете Свободного университета в Берлине, а в 1994 г. был удостоен премии Карла Шееля (Karl Scheel Award) за вклад в исследование напряжений в тонких пленках и структурные исследования, проведенные с помощью сканирующего туннельного микроскопа.



энергию, но и драгоценное время на обработку информации.

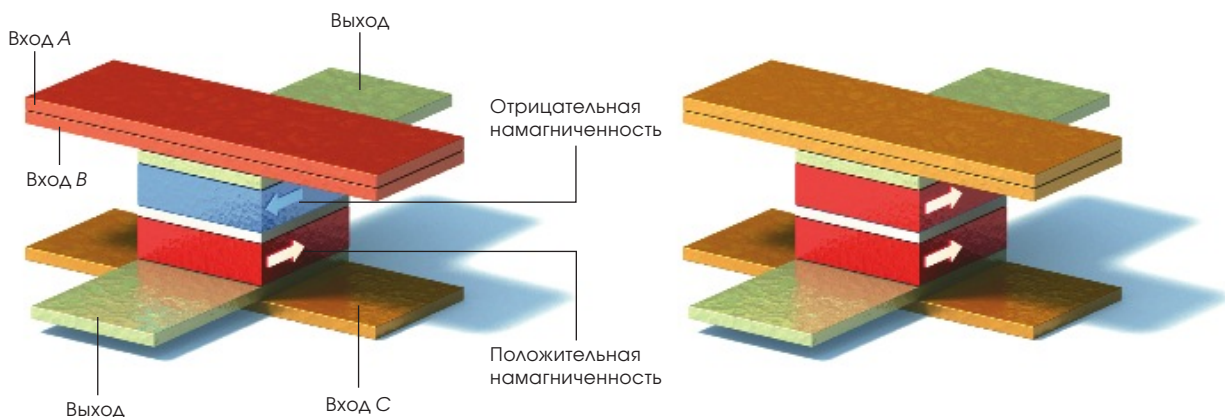
Например, для реализации логической функции «И» мы начинаем с антипараллельного состояния, которое на выходе дает ноль. Как видно на рисунке, ось намагниченности верхнего слоя направлена влево, а нижнего – вправо. Только токи, подаваемые на входы *A* и *B* и создающие положительное намагничивание, могут изменить полярность верхнего слоя слева направо. Чтобы получить логический элемент «ИЛИ», достаточно в начале процедуры направить оси намагничивания обоих слоев вправо. Для реализации еще двух логических операций необходимо перевернуть полярность нижнего слоя, задействовав все три входных линии. Изменение намагниченности верхнего слоя происходит при меньшей напряженности магнитного поля, что позволяет управ-

лять каждым слоем в отдельности. Смена полярности нижнего слоя преобразует логические элементы «И» и «ИЛИ» в «НЕ-И» и «НЕ-ИЛИ» соответственно (см. врез на следующей странице).

Операции «ИЛИ» и «И» соответствуют логическому сложению и умножению. Вместе с «НЕ-И» и «НЕ-ИЛИ» они образуют базовый набор элементов, с помощью которых можно описать даже самые сложные логические схемы. Комбинации магниторезистивных логических затворов могут выполнять и более сложные логические операции, такие как *XOR* («исключающее ИЛИ»). Элемент *XOR*, без которого невозможно создать полный сумматор, осуществляет сравнение входных битов: при сочетаниях ноль-ноль и единица-единица на выходе получается единица, при сочетаниях едини-

## ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕ БИТОВ

Логические операции на магнитологических затворах выполняются в два этапа. Например, для реализации логического «И» вначале затвор устанавливается в состояние «ноль» (слева): в верхний слой намагничивается отрицательно (стрелка влево), а нижний – положительно (стрелка вправо). Затем на верхние входы (*A* и *B*) подаются токи, создающие положительное магнитное поле (показано красным), в результате чего намагничивание верхнего слоя тоже становится положительным (справа). При этом логический элемент переходит в состояние «единица», которое сохраняется даже при отключении питания. Значение бита (0 или 1) считывается с выходов.

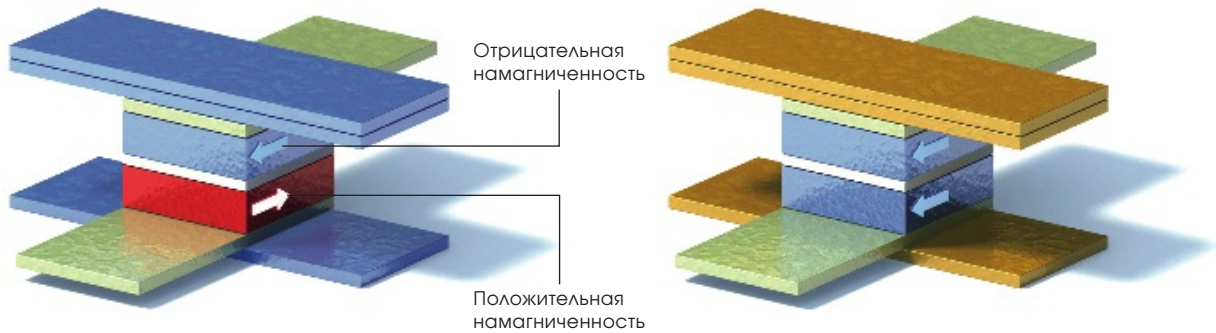


Логический элемент «И»

Ток	A	B	Выход
←	0	0	0
↔	0	1	0
↔	1	0	0
→	1	1	1



Логический элемент «И» можно превратить в логический элемент «НЕ-И». Когда по всем трем входным линиям текут токи, создающие отрицательное магнитное поле (показаны слева голубым), нижний слой становится отрицательно намагниченным (см. справа). Выход элемента «НЕ-И» (показано фиолетовым) противоположен выходу элемента «И» (показано зеленым). Линия С не задействуется в логических операциях, показанных ниже в таблицах истинности.



Логический элемент «И»

Ток	A	B	Выход
↔	0	0	0
↕	0	1	0
↗	1	0	0
↘	1	1	1

Логический элемент «НЕ-И»

Ток	A	B	Выход
↔	0	0	1
↕	0	1	1
↗	1	0	1
↘	1	1	0

ца-ноль и ноль-единица – ноль. Чтобы реализовать функцию XOR, достаточно всего двух магниторезистивных элементов, тогда как в КМОП-технологии для этого потребуется 8–14 транзисторов.

Из магнитологических затворов можно собрать полный сумматор – логический модуль, наиболее широко применяемый в процессорах. Он складывает два двоичных входа и разряд переноса, полученный в предыдущем суммировании. В результате получается двоичная сумма, старший разряд которой переносится в следующий сумматор. Благодаря энергонезависимости и программируемости магнитологических затворов для формирования полного сумматора требуется всего три магниторезистивных элемента вместо шестнадцати КМОП-транзисторов. Магнитологический полный сумматор не уступает в скорости самым быстрым КМОП-аналогам, потребляя при этом существенно меньше энергии.

## Взгляд в будущее

Устройства с полиморфной архитектурой во многом будут похожи на магниторезистивные микросхемы памяти. Как и в запоминающих устройствах, входные линии

Изменчивость полиморфных устройств наделит их целым рядом преимуществ. Поскольку функциональность каждого магнитологического затвора может быть перепрограммирована, «способности»

## Магнитологический процессор-хамелеон состоит из множества индивидуально программируемых магниторезистивных затворов.

A и B будут расположены в виде прямоугольной сетки. В каждом ее узле разместится логический элемент, который будет переключаться только при одновременном обращении к обоим его входам. Традиционные КМОП-транзисторы под магнитологическими затворами будут передавать управляющие сигналы и усиливать слабые токи при считывании битов (см. рис. на стр. 43).

процессоров перестанут определяться возможностями аппаратных средств, как в случае с КМОП-микросхемами, в которых логика традиционных транзисторов жестко определена связями между ними.

Процессор-хамелеон нуждается в гораздо меньшем количестве логических затворов, чем его традиционный собрат, в котором лишь несколько процентов жестко связанных друг с другом элементов ▶



задействованы в решении поставленной задачи. Программируемость также означает, что даже на устаревших магнитологических процессорах будет эффективно работать новое, более совершенное программное обеспечение. Энергонезависимость логических элементов (сохранение состояния при отключении питания) дает стоящему из них устройству преимущество в скорости. Хотя тактовая частота традиционных КМОП-процессоров (несколько гигагерц) сопоставима с тактовой частотой процессоров-хамелеонов, последние обрабатывают информацию заметно быстрее. Более того, энергонезависимость упраздняет само понятие

тактовой частоты, с которой происходит извлечение битов из ячеек памяти. В итоге упрощается и ускоряется процесс обработки информации, которая хранится там же, где обрабатывается. Чтобы увеличить производительность магнитологических процессоров, нет нужды снижать размеры их компонент. Иными словами, мы обходим проблему миниатюризации. Чтобы сполна оценить значение этого преимущества, достаточно вспомнить, насколько тяжело дается дальнейшее уменьшение КМОП-транзисторов.

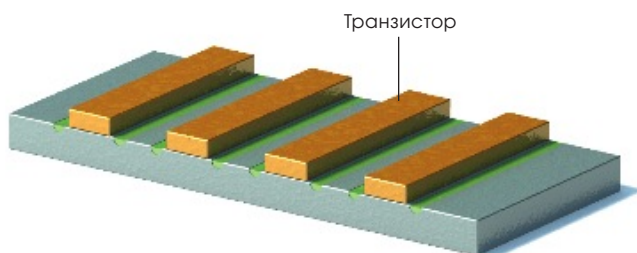
Процессоры с полиморфной архитектурой пока остаются предметом научных исследований: еще ни один из рассматриваемых проектов

## СРАВНЕНИЕ ТИПОВ ПРОЦЕССОРОВ

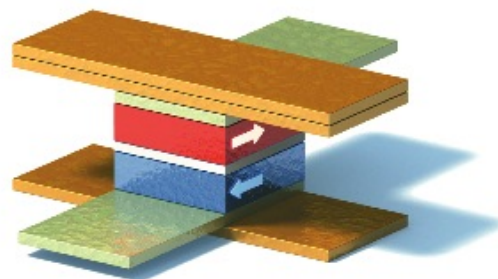
	Программируемость	Минимальное время перепрограммирования	Количество компонентов, необходимое для реализации базовой логики	Синхронизация
<b>Магнитологический элемент</b>	Да	~ 0,1 нс	Один магнитологический затвор	Операции выполняются параллельно; не нужно синхронизировать передачу данных
<b>Традиционный процессор</b>	Нет	Неприменимо	Четыре транзистора	Последовательная обработка данных; требуется генератор тактовой частоты для синхронизации
<b>Программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС)</b>	Да	> 10 нс	Нельзя обращаться к отдельным логическим элементам	Операции выполняются последовательно; требуется синхронизация, усложняющая схему и снижающая быстродействие

Для реализации логического элемента «И» требуется четыре транзистора (слева) или всего один магнитологический элемент (справа).

ТРАДИЦИОННЫЙ КМОП-ПРОЦЕССОР

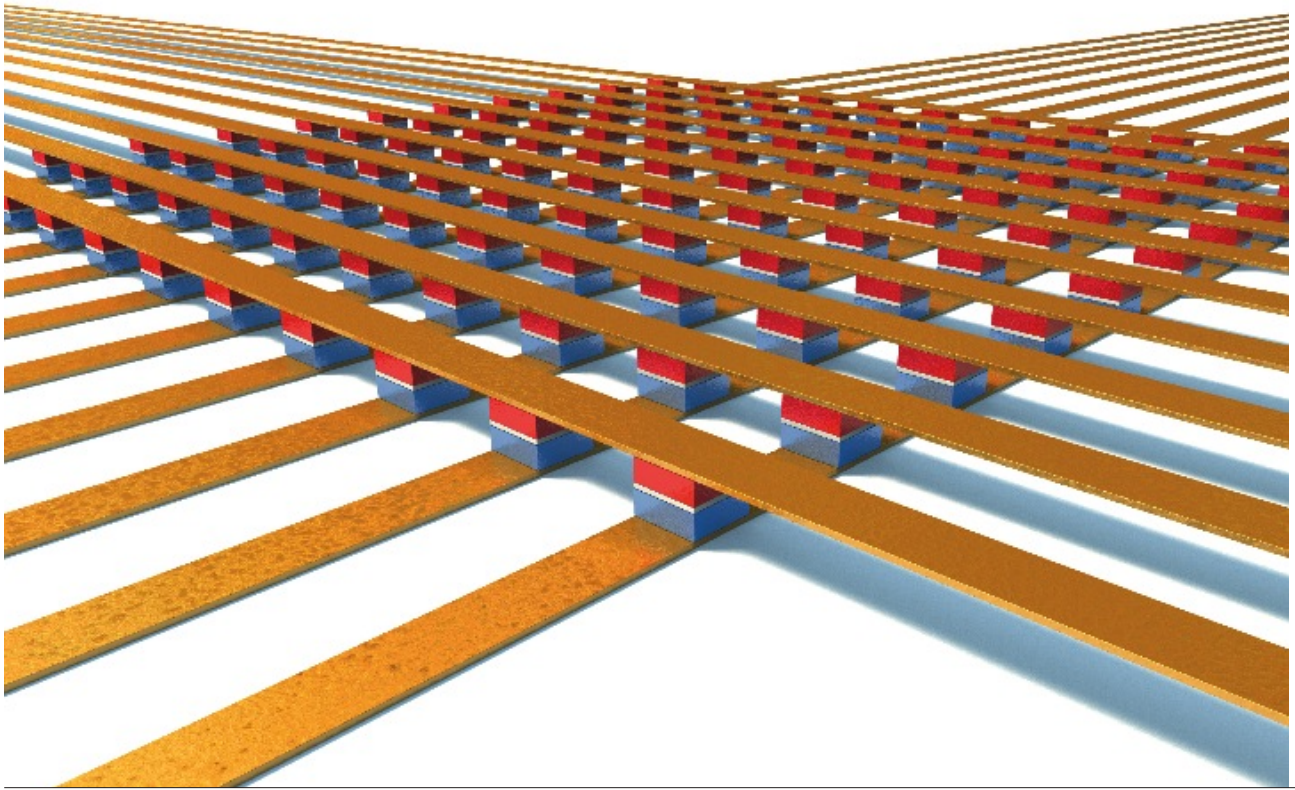


МАГНИТОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕССОР



## ПРОЦЕССОР С ПОЛИМОРФНОЙ АРХИТЕКТУРОЙ

Магнитологический процессор будет состоять из матриц магниторезистивных элементов (см. рис.). Хотя в нем меньше затворов, чем в обычном процессоре, для управления ими и усиления слабых выходных сигналов все равно будут использоваться традиционные транзисторы (не показаны). Функциональность такого устройства будет изменяться, подчиняясь программному обеспечению.



не вышел за пределы узкоспециализированных лабораторий. Большое сходство с магниторезистивной памятью с одной стороны может способствовать внедрению новых процессоров, а с другой – наоборот, замедлить их развитие. Сегодня многие компании не спешат продвигать технологию магниторезистивной памяти, не видя большого смысла в выпуске еще одного типа запоминающих устройств. Магниторезистивная память сама по себе могла бы функционировать как элементарный процессор. Но поскольку в ней перемагничивается только один магнитный слой, доступными оказываются только две программируемые функции: либо «И» и «ИЛИ», либо «НЕ-И» и «НЕ-ИЛИ».

Чтобы раскрыть полный потенциал процессоров-хамелеонов,

нужно преодолеть множество препятствий. Во-первых, оба магнитных слоя должны переключаться независимо. Пока этого удалось добиться лишь в нескольких рабочих прототипах. Во-вторых, поскольку процессор практически все время работает на полную мощность, возникают локальные зоны перегрева, угрожающие целостности хранимых и обрабатываемых данных. Поэтому к надежности чтения и записи должны предъявляться чрезвычайно высокие требования. Инженерам предстоит создать магнитологические затворы с ресурсом  $10^{16}$ – $10^{17}$  операций, что на два-три порядка больше уже достигнутого. К счастью, выявить дефектные элементы процессора и исключить их из дальнейшей работы можно будет в момент запуска компьютера. Чтобы оптими-

зировать работу магнитной логики, понадобятся новые материалы с гигантским магнетосопротивлением, технологически совместимые с полупроводниками (см. «Субмикронные магнитные сенсоры», «В мире науки», №11, 2004 г.).

Но все же самой большой проблемой, скорее всего, станет развитие новых языков программирования и алгоритмов, позволяющих реализовать все возможности перепрограммирования вычислительных средств в режиме реального времени. Чтобы вывести магнитологический процессор на рынок, потребуются серьезные междисциплинарные исследования, которые объединят усилия материаловедов, технологов, инженеров-электронщиков и специалистов по математике и вычислительной технике. ■

Аневризмы, или разрастания  
стенки аорты, таят в себе  
смертельную угрозу, о которой  
человек может и не подозревать.

Джон Элефтеридис

# пульс СМЕРТИ

История, случившаяся с молодой женщиной, которая чуть не умерла от разрыва аневризмы, подтолкнула автора к поиску путей спасения других пациентов с аналогичным заболеванием.

Тот злополучный день ничем не отличался от других: ласково светило весеннее солнце, его лучи мягко скользили по проступающей зелени парка. Я был на прогулке, присматривая за детьми, пока они мирно играли на лужайке. Внезапный звонок телефона нарушил идиллию, открыв новую страницу в моей жизни.

Звонили из госпиталя. Всегда уравновешенный Лоуренс Коэн (Lawrence Cohen), выдающийся кардиолог и мой коллега по Йельскому университету, говорил быстро, как в лихорадке: «Джон, срочно приезжай в отделение экстренной помощи. Пациент умирает».

Коэн наблюдал за состоянием женщины в течение трех лет, с тех пор, как я начал преподавать в Йеле. Кармелла Колмэн (Carmella Kolman) стала для него буквально членом семьи. В 32 года она страдала синдромом Марфана, т.е. поражением соединительной ткани, которое часто приводит к образованию аневризм аорты в области грудной клетки: опасных разрастаний в верхней части большой артерии, которая доставляет кровь от сердца ко всем внутренним органам (см. *врез на стр. 46–47*). Если их не лечить, аневризмы могут расти до тех пор, пока не разорвутся, что может привести к неминуемой гибели пациента. Единственный выход из такой ситуации – превентивная операция по удалению поврежденных участков и замена их искусственными компонентами. Но оперативное вмешательство небезопасно, поэтому медики обычно прибегают к такой процедуре только в случае острой необходимости. Поскольку аорта Кармеллы была увеличена умеренно, Коэн рекомендовал не торопиться делать операцию.

В то весеннее утро Кармелла попала в отделение скорой помощи с жалобами на боль в груди. Компьютерная томография и эхокардиограмма показали расслоение аорты: кровь вытекала сквозь

отверстие на внутренней части артериальной стенки, внутренний слой стенки отделялся от наружного. Такой разрыв может привести к смертельному исходу, поскольку он способен блокировать или отклонить кровоток, лишая сердце и другие органы существенной доли кислорода и питательных веществ. Но это не самое страшное. Сканирование показало, что у Кармеллы произошло прободение сосуда, кровь попала в перикард – оболочку, окружающую сердце. Женщина то приходила в сознание, то впадала в забытие, ее кровяное давление падало. Нужна была срочная операция.

Я оставил детей с соседом и помчался в госпиталь. Там мы удалили уязвимый участок аорты Кармеллы и заменили его на искусственный сосуд, сделанный из дакрона, материала, который сплетен в гибкую, но прочную трубку. Мы также заменили поврежденный клапан аорты, контролировавший ток крови на выходе из сердца, на его механическую версию.

После операции Кармелла была очень слаба. Но она упорно цеплялась за жизнь и поправлялась. Во время вечерних обходов я регулярно беседовал с мужем Кармеллы, Джоном Риззо (John Rizzo), о ее состоянии. Постепенно наши разговоры свелись к тому, что мы стали обсуждать статьи, касающиеся заболеваний аорты.

Риззо работал в эпидемиологическом подразделении школы общественного здоровья экспертом в области анализа данных и менеджмента и решил помочь нашей группе составить базу данных, содержащую записи обо всех наших пациентах с аневризмами аорты. Теперь благодаря Риззо мы имеем введенную в компьютер и систематизированную информацию более чем по 3 тыс. пациентов и их состоянию, включая около 9 тыс. изображений и 9 тыс. пациенто-лет наблюдений. ▶

Мы подробно изучили «поведение» аневризм грудной аорты: как они выглядят, скорость их роста, у кого из людей есть предрасположенность к их образованию. Теперь благодаря новым возможностям врачи смогут выбирать наиболее адекватное ситуации решение: подождать с операцией или предпринять хирургическое вмешательство.

## Бесшумный охотник

Поскольку по основной специальности я кардиохирург, меня в первую очередь интересовали те нарушения, которые затрагивают работу сердца, такие как аневризма аорты в области грудной клетки, хотя опасные разрастания могут образоваться на любом кровеносном сосуде. Значительная их часть формируется на брюшной аорте (отрезок аорты, выходящий из диафрагмы вниз и разделяющийся чуть выше таза на две артериальные ветви, несущие кровь к ногам), и механизмы, лежащие в основе их появления, роста и разрыва, сходны с теми, которые определяют развитие аневризм грудной аорты.

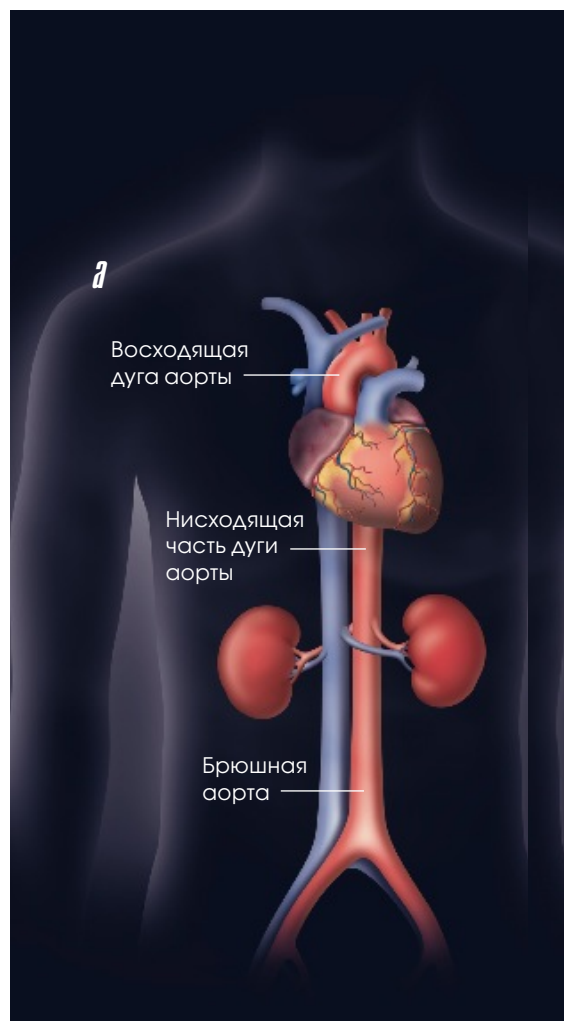
Наиболее опасны для жизни те разрастания, которые повреждают ткани этого самого крупного сосуда. Каждый год только в США от разрыва (или расслоения) аневризмы брюшной или грудной аорты умирает

более 15 тыс. человек – больше, чем от СПИДа. Альберт Эйнштейн, олимпийский чемпион и звезда волейбола Фло Хаймэн (Flo Human), баскетболистка Роланда Пирс (Rolanda Pierce) и актеры Люсиль Болл (Lucille Ball), Джордж Скотт (George C. Scott) и Джон Риттер (John Ritter) – все они погибли из-за аневризмы аорты грудной клетки. Особенно подвержены этому пациенты, страдающие синдромом Марфана. Если бы президент США Авраам Линкольн не был застрелен, он все равно умер бы от разрыва аневризмы или иного заболевания, связанного с нарушением функций сосудов, т.к. в то время операции по протезированию участка аорты были технически неосуществимы.

Аневризмы аорты называют «бесшумными охотниками», т.к. их развитие не сопровождается явными симптомами. Сосуд может значительно увеличиться в размерах, но не причинять особой боли. Врачи нередко замечают сигнализирующую о заболевании припухлость только в результате ультразвукового обследования при обнаружении шумов в сердце или при компьютерной томографии, устанавливая причину хронического кашля. Чаще всего острая режущая боль появляется только тогда, когда опасное разрастание уже расслоилось или разорвалось.

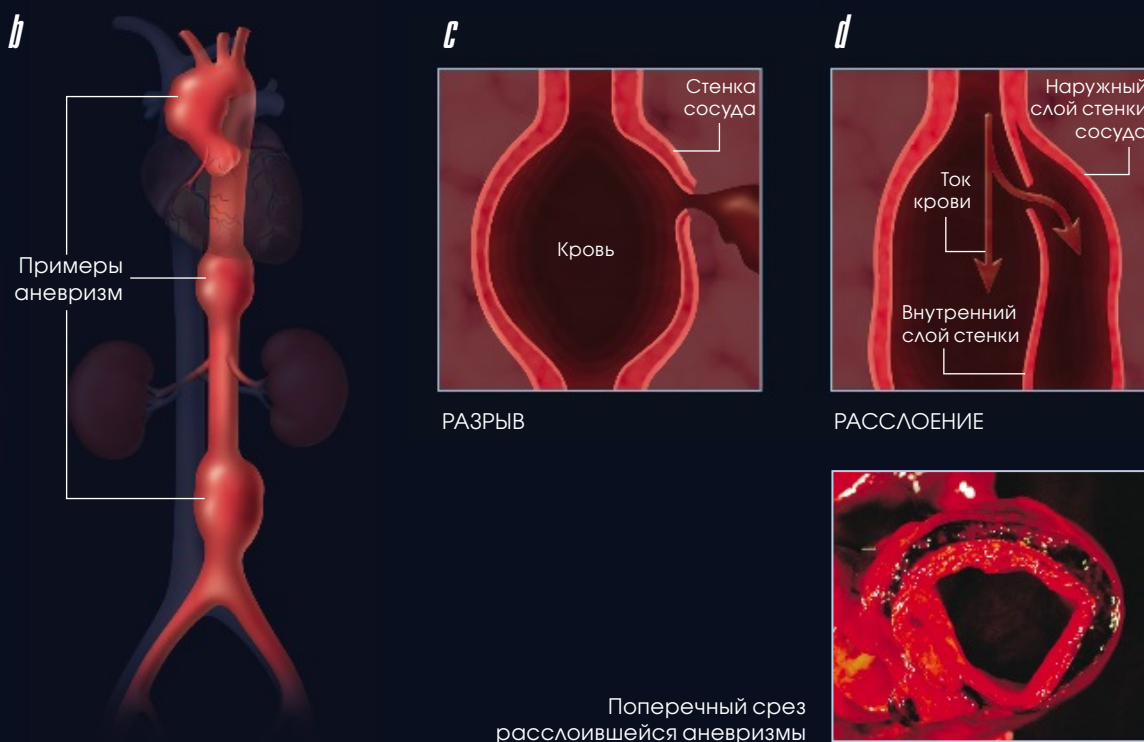
## ОБЗОР: АНЕВРИЗМЫ

- Медикам сложно принять решение, когда именно назначать операцию по удалению аневризмы (утолщения на артерии, несущей кровь от сердца). Без лечения она может расслоиться или разорваться, что может привести к смерти пациента. Но единственно возможное лечение, хирургическая операция по замене поврежденного участка сосуда на искусственный, также опасна.
- Детальный анализ тысяч историй болезни позволил автору выработать оптимальную стратегию выбора того момента, когда необходима операция.
- Люди, занимающиеся поднятием тяжестей, могут и не знать о том, что у них образовалась аневризма. Каждая тренировка может грозить опасностью внезапной смерти, поэтому такие спортсмены должны предпринимать специальные меры предосторожности.



Выжившие после подобного события пациенты находятся в тяжелом состоянии, т.к. разрыв аорты (крупнейшего кровеносного сосуда) очень быстро обессиливает человека. От того, каково расположение разрыва, зависит, будет ли человек жить. При благоприятном стечении обстоятельств (например, при двух соседствующих повреждениях) вытекающая кровь сдавливает место разрыва аорты так, что разрыв смыкается и удерживается в таком положении достаточно долго, благодаря чему больного успевают доставить в операционную. Если повреждена восходящая часть дуги аорты, счет идет на часы. Разрывы в этой зоне могут сдвинуть клапан аорты, вызвав шок, или заблокировать коронарную артерию, спровоцировав сердечный

**В** норме аорта (а) представляет собой упругую трубку толщиной с указательный палец человека. Аневризма – разрастание ее стенки, которое может образоваться в любом месте аорты (b). По мере его роста стенка сосуда истончается. Разрыв (c) или расслоение (d и фотография) сосудистой стенки могут привести к быстрой гибели больного. Расслоение (отделение внутренней стенки сосуда от внешней) происходит при наполнении пространства между ними кровью, вытекающей через разрыв во внутреннем слое стенки артерии. Проанализировав тысячи случаев, автор статьи и его коллеги могут предсказать разрыв или расслоение аневризм и определить момент, когда необходимость превентивной операции начинает превышать риск от нее.



SARA CHEN (иллюстрация), CNRI/PHOTO RESEARCHERS, INC. (фотографии)

приступ. Повреждения аневризмы в нисходящей части дуги аорты (которая спускается вниз по задней части грудной клетки) встречаются не так часто, как аналогичные в восходящей части дуги аорты, и не вызывают столь опасных осложнений.

Операция по восстановлению аорты может предотвратить разрыв или расслоение стенки, но она травматична. Процесс предусматривает остановку сердца и отведение крови через аппарат искусственного кровообращения. В некоторых случаях (зависит от расположения аневризмы) хирурги должны полностью перекрыть ток крови и охладить тело с 38°C до 18°C, чтобы замедлить метаболизм и предотвратить разрушение мозга. Несмотря на то что большая часть людей после подобного

хирургического вмешательства чувствует себя хорошо, существует риск инсульта, паралича и смерти.

Чтобы определить, делать операцию или нет и какая стратегия более безопасна, врач должен знать, насколько вероятно расслоение или разрыв аневризмы. Общая закономерность такова, что чем разрастание больше, тем выше риск. Однако размер – не самый надежный показатель, т.к. аневризма Кармеллы в момент кризиса была не слишком велика.

О том, как проводятся операции на аорте, написано более 300 научных работ, но информация о том, когда необходимо оперативное вмешательство, практически отсутствует. Поразительно мало сведений о том, как аневризмы аорты ведут

себя до операции, а именно – как быстро они разрастаются, и как выглядят непосредственно перед разрывом. Например, аорта Кармеллы была увеличена до 4,8 см в диаметре (в норме аорта в области грудной клетки примерно 2,5–3,5 см), поэтому катастрофа, произошедшая с женщиной, стала для всех неожиданностью. Чтобы исключить подобные неточности в прогнозах, ставящие пациента на грань жизни и смерти, мы решили заняться исследованиями именно в данной области медицины.

### Порог обнаружения

Чтобы облегчить извлечение информации из базы данных нашей клиники, Риззо разработал сложную методику статистической ▶

обработки, которая позволяла нам безошибочно определить интенсивность роста аневризм. Мы обнаружили, что большая их часть медленно, но неуклонно растет: около 0,12 см в год. Таким образом, чтобы разрастание достигло 1 см, должно пройти (в большинстве случаев) десятилетие. Это наводит на мысль, что аневризмы, обнаруженные у людей среднего возраста, вполне вероятно, начали расти еще тогда, когда пациенты были молодыми.

Статистический метод, разработанный Риззо, также позволил нам определить вероятность разрыва или расслоения стенки аневризмы. Более 30% пациентов с разрастани-

ями в восходящей части дуги аорты, достигающими 6 см, пережили такие осложнения. В нисходящей части грудной аорты риск наиболее вероятен при диаметре аневризмы 7 см.

Эти цифры характеризуют риск возникновения осложнений, не указывая, однако, когда именно разразится катастрофа. Но пациентов, обнаруживших у себя аневризму, интересуют конкретные данные, которые прогнозируют годовой уровень осложнений.

Вскоре мы собрали достаточно информации, чтобы начать соответствующий статистический анализ. Данные содержали в себе информацию о пациентах с анев-

ризмами на любом участке грудной аорты, несмотря на то, что 2/3 из них имели дефекты в области восходящей дуги аорты. Мы обнаружили следующую тенденцию: шанс развития неблагоприятных событий увеличивается год от года, все то время, пока аневризма растет с 4 до 5,9 см. Когда же диаметр аорты достигает 6 см, происходит лавинообразное нарастание вероятности разрыва или расслоения (см. график внизу). Мы обнаружили, что при диаметре аневризмы грудной аорты свыше 6 см возможность возникновения осложнений и, как следствие, смерти за год возрастает на 15,6%. Это ошеломляю-

**ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ ВЕЛИЧИНОЙ АНЕВРИЗМЫ И ВЕРОЯТНОСТЬЮ ОСЛОЖНЕНИЙ**

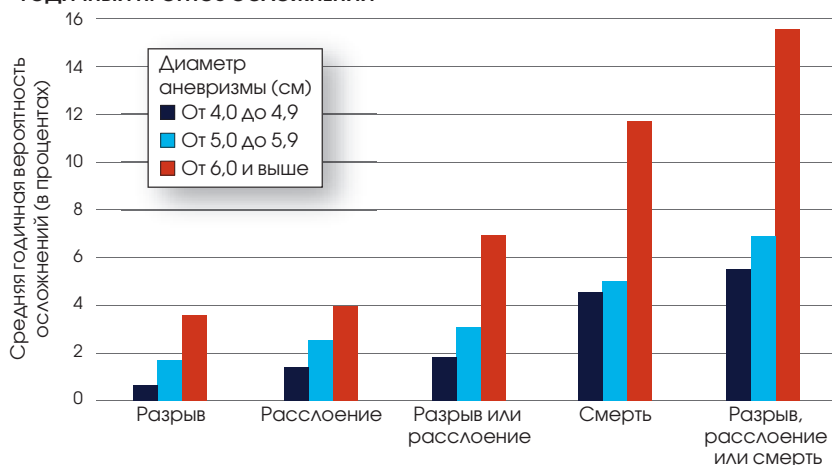


Автор и его коллеги построили график, отражающий вероятность осложнений, обусловленных наличием у пациента малых аневризм (4–4,9 см). При исследовании более крупных аневризм они обнаружили скачкообразное увеличение риска при достижении объектом диаметра 6 см на восходящей части грудной аорты (см. график вверху) и 7 см в нижней части дуги аорты (не показано). Если аневризма превысила в размере 6 см, то она, вероятно, уже разорвалась или расслоилась.

Другое направление исследований (см. нижнюю диаграмму) показало, что вероятность разрыва, расслоения аорты и гибели пациента с аневризмой 6 см и выше лавинообразно нарастает. Т.е. если аневризма достигла указанного размера, то скорее всего она разорвется в течение ближайшего года.

Основываясь на данной информации, исследователи определили, что большинство пациентов с аневризмами в восходящей части аорты нуждаются в корректирующей хирургии в тот момент, когда их аорта увеличивается до 5,5 см.

**ГОДИЧНЫЙ ПРОГНОЗ ОСЛОЖНЕНИЙ**



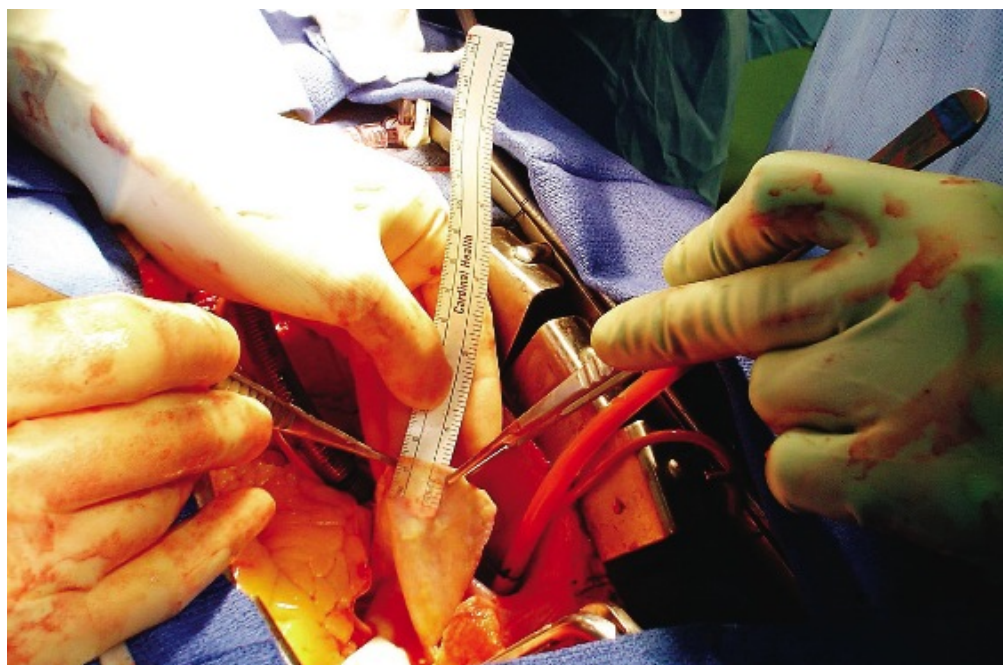
ALISON KENDALL (фотографии); JOHN A. ELEFTERIADES (фотографии); UNE GRAPH SOURCE; M. A. COADY ET AL. IN JOURNAL OF THORACIC CARDIOVASCULAR SURGERY, VOL. 113, NO. 3, PAGES 476-491, MARCH 1997. BAR GRAPH SOURCE: R. R. DAVIES ET AL. IN ANNALS OF THORACIC SURGERY, VOL. 73, NO. 1, PAGES 17-27, JANUARY 2002.



При диаметре аневризмы в 6 см ее стенка истончается настолько, что сквозь нее видны деления на линейке. Исследования показывают, что образование аневризмы частично вызывается возрастом активности ферментов-металлопротеиназ, которые разлагают белки, необходимые для поддержания эластичности артериальной стенки.

щая величина, далеко не все формы рака дают такой неблагоприятный ежегодный прогноз.

Основываясь на наших наблюдениях, мы рекомендуем оперировать аневризмы в области восходящей дуги аорты и заменять на искусственные сосуды до того, как дефект достигнет размера 6 см. Если в семье пациента не было больных с аневризмой, то мы обычно предлагаем операцию при достижении аортой размера 5,5 см. При наличии у больного синдрома Марфана или если среди его родственников кто-то страдал тем же заболеванием, операция показана еще раньше. Что касается повреждений нисходящей части дуги аорты, иногда (при условии, что пациент достаточно здоров, чтобы восстановиться после столь сложного вмешательства) мы рекомендуем провести операцию при диаметре аневризмы от 6 см. Если же больной не отличается крепким здоровьем, операция откладывается до тех пор, пока аорта не достигнет в диаметре 6,5 см. Использование данных критериев поможет предотвратить большинство случаев разрыва или расслоения аневризм, не подвергая пациента опасности преждевременного хирургического вмешательства. До того, как аневризма заставит человека лечь под нож, врачи могут назначить курс медикаментозного лечения, снижающего артериальное давление и замедляющего работу сердца, что снизит давление на вздувшуюся стенку и воспрепятствует ее дальнейшему изменению.



Брюшная аорта в норме имеет меньший диаметр, чем грудная, и разрыв ее стенки обычно происходит при небольших аневризмах. Соответственно, хирургическое вмешательство на брюшной аорте врачи обычно назначают при меньших размерах разрастания. Некоторые специалисты рекомендуют вмешательство при достижении диаметра деформации 4 см для женщин и 5 см для мужчин.

### Семейные проблемы

Учитывая, что далеко не всегда образование аневризмы (а тем более предрасположенность к нему) сопровождается какими-либо симптомами, чем раньше диагностируется нарушение, тем точнее и своевременнее регистрируются изменения в состоянии пациента и тем более эффективное лечение проводится. У пациентов с синдромом Марфана часто обнаруживаются аневризмы аорты. Однако они составляют лишь 5% от всех случаев образования разрастания. Другие 95% от общего числа аневризм имеют неизвестное происхождение, т.к. обстоятельства, связанные с формированием дан-

ного дефекта, до конца не исследованы.

Одно время медики полагали, что их образование вызвано атеросклерозом – накоплением холестериновых бляшек (жировых отложений) на артериальных стенках. Но мы обнаружили, что пациенты с аневризмой восходящей части дуги аорты на самом деле менее подвержены атеросклерозу, нежели человеческая популяция в целом. Соответственно, вполне ▶

### ОБ АВТОРЕ:

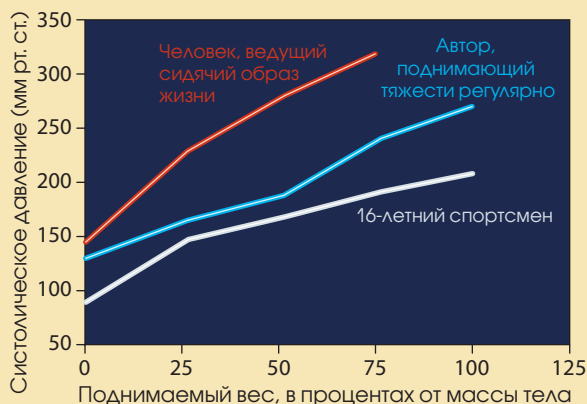
**Джон Элифтеридис** (John A. Elefteriades) с отличием окончил Йельский университет и специализируется в физике, французском языке и психологии. Прошел стажировку в клинике по общей кардиохирургии. Элифтеридис – профессор, руководит отделением кардиохирургии в Йеле и йельской клинике «Новые небеса». В юности он занимался тяжелой атлетикой, но и сейчас не забросил тренировки и выжимает лежа 75% от своего веса. Эхокардиограмма показала, что аневризмы у него нет.

## ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ДЛЯ ТЕХ, КТО ЗАНИМАЕТСЯ ТЯЖЕЛОЙ АТЛЕТИКОЙ



В 2003 г. мы с коллегами в *Journal of the American Association* описали трагический случай расслоения аорты у пяти, казалось бы, здоровых людей, которые напряженно занимались силовыми тренировками. У каждого из них была недиагностированная аневризма аорты в области восходящей дуги. В результате нагрузок внутренняя часть стенки поврежденного сосуда внезапно отделилась от наружного слоя. В момент расслоения одни из них поднимали тяжести, другие отжимались и пытались поднять тяжелый кусок гранита. Трое из них были спасены в результате срочного оперативного вмешательства. Недавно мы узнали о многих других аналогичных случаях расслоения стенки аорты в момент поднятия тяжести. Почему так происходит? Возможно, во время силовых упражнений артериальное давление поднимается до опасно высокого уровня. В некоторых исследованиях у соревнующихся тяжелоатлетов зафиксировано систолическое давление (давление в момент сокращения сердца) в 380 мм рт. ст., в то время как нормой считается 120 мм рт. ст. и ниже. Наше собственное исследование, проведенное на трех добровольцах, подтвердило столь высокие показатели. У одного из наших испытуемых давление достигло 319 мм рт. ст. в момент поднятия тяжести, равной 3/4 веса его тела.

У молодого человека на теле виден шрам, оставшийся от хирургической операции, спасшей ему жизнь. Он пережил расслоение стенки аорты, вызванное поднятием чрезмерно большого веса. Велика вероятность, что именно резкий рост давления в момент тренировки спровоцировал расслоение. Даже у здоровых людей во время поднятия тяжестей артериальное давление взлетает до астрономических величин, превышающих 300 мм рт. ст. (см. график). Такое давление для уже растянутой артерии может быть выше, чем она в состоянии выдержать. Из исследований механических свойств нисходящей части аорты мы узнали, что при давлении в 200 мм рт. ст. шестисантиметровая аневризма испытывает давление в 800 кПа – эта величина вызывает предельное растяжение ткани. Ни для кого не должно быть сюрпризом, что при воздействии на аневризму аорты давлением, превышающего 300 мм рт. ст., она не выдерживает нагрузки. Именно поэтому мы расспрашиваем спортсменов, не имели ли место аневризмы или подобные ей нарушения в истории их семьи, а затем рекомендуем проявлять максимальную осторожность при увеличении нагрузок. (тяжесть не должна превышать половину веса их тела). Вейтлифтинг – наиболее удачный вид тренировок, ориентированных на повышение мышечной массы и укрепление костного скелета, но мы настоятельно советуем всем, кто выбрал этот вид спорта, перед началом занятий обязательно пройти обследование на эхокардиографе.



возможно, что образование склеротических бляшек в данном случае не играет никакой роли. С другой стороны, аневризмы в нисходящей части дуги и на стенках брюшной аорты часто сопровождаются склеротическими бляшками по всей длине аорты и ее ответвлений. Поэтому можно предположить, что атеросклероз способствует развитию такого заболевания.

Наша база данных помогла выявить, что большая часть аневризм грудной аорты имеет явную генетическую детерминированность. Эта же закономерность прослеживается и при рассмотрении причин формирования аневризм на брюшной аорте и в головном мозге. Просматривая истории болезни, мы были поражены тем, как часто люди с данным заболеванием сообщают

о родственниках с аналогичным диагнозом или о членах семьи, которые скоропостижно и неожиданно умерли в молодом возрасте, обычно из-за остановки сердца. Но в большинстве случаев аутопсия показывает разрыв аневризмы. Мы проанализировали 500 супружеских пар, из них 20% имеют родственников с аналогичным заболеванием. В большинстве семей оно

доминирует, т.е. пациенту, чтобы получить такой дефект, достаточно унаследовать его «ген» только от одного из родителей (в одной из исследованных семей отец передал по наследству свою болезнь всем четверем детям). В других семьях проявляются различные сочетания здоровых и больных потомков, что наводит на мысль о полигенном наследовании предрасположенности к образованию аневризм.

Для того чтобы врачи, используя простой анализ крови, могли определить, кто из их пациентов нуждается в постоянном наблюдении, необходимо идентифицировать, какие из генетических маркеров сопровождают наследственную восприимчивость к заболеванию. Регулярные обследования пациентов на эхокардиографе и с помощью компьютерной томографии позволят выявить аневризму на самой ранней стадии ее образования и рассчитать наиболее оптимальное время для операции. И если будут найдены «виновные» гены, исследователи смогут разработать лечение, которое сможет замедлить или предотвратить рост аневризм с помощью блокирования активности нежелательных белков, кодируемых этими генами.

Чтобы уточнить диагностику и усовершенствовать лечение пациентов, мы начали сотрудничать с группой ученых из научного центра *Celera Diagnostics* в Аламиде (Калифорния), которые исследовали генетические маркеры, называемые отдельными нуклеотидными полиморфизмами (ОНП), в поисках тех из них, кто связан с заболеванием аорты.

ОНП – это участки ДНК, структура которых уже известна генетикам, определяющие разные аллели одного и того же гена и различающиеся между собой последовательностью нуклеотидов в цепочке. Различия в нуклеотидной последовательности разделяют человеческую популяцию на несколько групп (в соот-

ветствии с количеством различных ОНП). Джеймс Девлин (James Devlin), Ольга Якубова (Olga Yakoubova) и их команда в *Celera* сравнили образцы ДНК, взятые у 500 наших пациентов, больных аневризмой грудной аорты, и 500 образцов, взятых у здоровых людей, в данном случае – у супругов пациентов. Затем они просканировали 16 тыс. участков ДНК для обнаружения маркеров, которые появляются чаще у наших пациентов, нежели у здоровых людей контрольной группы.

Предварительная работа показала ряд ОНП, которые могут означать, что риск слишком велик, и мы отслеживаем, какие из них будут преобладать в нашей обширной группе пациентов. Кроме того, мы проводим аналогичные исследования на пациентах с аневризмами в Европе. И если у представителей другой, европейской, популяции болезнь будет сопровождаться наличием тех же ОНП, что и в популяции американцев, то, значит, наши исследования точно указали на нужный маркер.

### Причины болезни

Как только мы идентифицируем гены, которые связаны с аневризмой

При болезни Марфана повинные в этом наследственные дефекты обычно затрагивают ген, ответственный за синтез фибриллина – белка, который в сочетании с эластином участвует в формировании эластических волокон. Как следствие, синтез и депонирование фибриллина нарушается, что предположительно ослабляет стенку аорты и делает ее уязвимой для образования аневризм. Но пока не ясно, какие из мутаций фибриллинного гена соответствуют норме.

Недавно мы обнаружили свидетельство того, что избыток определенных энзимов в стенке аорты, возможно, вносит свой вклад в образование и рост аневризм у многих жертв. Все кровеносные сосуды содержат ферменты, называемые металлопротеиназами (ММП), которые разлагают старые протеины, чтобы открыть путь новым. Также в сосудах есть белки-ингибиторы, которые помогают удерживать ММП в неактивном состоянии. В здоровой стенке аорты активность этих протеинов (ММП и их ингибиторов) сбалансирована, так что белковый обмен остается на постоянном уровне. Однако в участ-

**Регулярные обследования пациентов позволят выявить аневризму на самой ранней стадии ее образования и рассчитать наиболее оптимальное время для операции.**

ОНП, можно будет узнать, какие белки этими генами кодируются и как они способствуют дисфункции аорты. Но уже сейчас исследователи предполагают, что задействованы некоторые, вполне конкретные белки. Например, мы знаем, что у большинства пациентов с аневризмой аорты растянутые участки сосудистой стенки демонстрируют недостаток эластических волокон и коллагена по сравнению с образцом здоровой ткани.

ках аорты, удаленных у пациентов с аневризмой, мы обнаруживаем в избытке два типа ММП и сниженное количество одного из ингибирующих их действие белков.

Дисбаланс может приводить к повышению распада таких белков, как эластин и фибриллин, что, в свою очередь, может вызывать ослабление стенки аорты и образование на ее поверхности аневризм. У одного из пациентов с аневризмой стенка аорты стала настолько тонкой, ▶

## КТО ДОЛЖЕН ВОЛНОВАТЬСЯ

Иногда грудная аневризма – бомба замедленного действия. Она может незаметно притаиться в теле до тех пор, пока однажды совершенно неожиданно не разорвется. Но следующие параметры часто сигнализируют о предрасположенности к ее образованию:

наличие в семье больных с аналогичными заболеваниями; родственники, которые неожиданно умерли; синдром Марфана или его признаки.

Последнее включает в себя длинные конечности, длинный и тонкий костяк, подвижные суставы (например, способность согнуть большой палец так, чтобы он пересекал по всей длине раскрытую ладонь, как это показано на рисунке справа).

Тем, кто обнаружил у себя какие-либо из этих признаков и кто планирует всерьез заняться поднятием тяжестей, мы с коллегами рекомендуем регулярно проходить обследования на наличие аневризм с помощью компьютерной томографии и эхокардиографа. Силовые упражнения не повышают вероятность образования аневризмы, но если она уже образовалась, тренировки могут спровоцировать смертельно опасные осложнения.



что через нее можно было увидеть маркировку линейки. Ученые, ведущие параллельные исследования, также обнаружили свидетельства чрезмерной активности ММП. Полученные данные позволяют предположить, что лекарства, способные блокировать активность ММП, могут замедлить рост или предупредить разрыв аневризм аорты.

Мы с моей коллегой по Йельскому университету Джорджем Кулиасом (George Koullias) заинтересовались оценкой механических свойств деформированной артерии. Мы надеемся, что это позволит нам понять, почему по мере увеличения размеров аневризмы повышается риск разрыва. В процессе операции, до того, как удалить поврежденный участок, мы определяем его размер, толщину стенки и величину артериального давления при сокращении и расслаблении сердца. Таким образом, мы можем рассчитать механические характеристики сосуда.

Наши изыскания показали, что по мере роста диаметра артерии растяжимость ее стенок падает. Мы так-

же продемонстрировали, что когда аневризма на восходящей части аорты достигает размера 6 см, то с этого момента сосуд ведет себя как жесткая, негнущаяся трубка. Потеря упругости максимально увеличивает ту нагрузку на стенку аорты, которая возрастает с каждым ударом сердца, в момент выброса в сосуд крови и позволяет объяснить, почему осложнения происходят именно тогда, когда аневризма достигает критической величины 6 см.

Именно снижение эластичности аорты приводит к катастрофе. Но что в данной ситуации является «пусковым механизмом»? После опроса пациентов из нашей базы данных мы обнаружили, что примерно трое из четырех больных вспоминают о значительных физических усилиях или о ярких эмоциональных переживаниях, которые они испытывали незадолго до произошедшего кризиса. Такие нагрузки приводят к резкому скачку артериального давления, разрывающего ослабленную аорту. Поднятие тяжестей (вейтлифтинг) может вызвать столь сильную нагрузку на анев-

ризму, что это спровоцирует кризис, даже если ее размеры не превысили отметку 6 см (см. вставку на стр. 50).

Прославленный врач XIX в. сэр Уильям Ослер (Sir William Osler) однажды подметил, что «нет болезни, более зависимой от соблюдения пациентом режима, нежели аневризма аорты». Сегодня результаты исследований в области биологии аневризм аорты и изучения их развития (от генетической предрасположенности, которая приводит к их формированию, до физических и эмоциональных событий, вызывающих их разрыв) помогают облегчить состояние пациентов.

Что касается Кармеллы, то она выздоравливает и скоро вернется к работе. «Я знаю, это звучит банально, – говорит она, – но я чувствую, что мне был дан второй шанс прожить жизнь», – шанс, которого был лишен ее отец, умерший от расслоения аорты в возрасте 34 лет. ■

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

- **Surgical Intervention Criteria for Thoracic Aortic Aneurysms: A Study of Growth Rates and Complications.** Michael A. Coady et al. in *Annals of Thoracic Surgery*, Vol. 67, No. 6, pages 1922–1926; June 1999.
- **Yearly Rupture or Dissection Rates for Thoracic Aortic Aneurysms: Simple Prediction Based on Size.** R. R. Davies, L. J. Goldstein, M. A. Coady, S. L. Tittle, J. A. Rizzo, G. S. Kopf and J. A. Elefteriades in *Annals of Thoracic Surgery*, Vol. 73, No. 1, pages 17–27; January 2002.
- **Weight Lifting and Rupture of Silent Aortic Aneurysms.** John Elefteriades et al. in *Journal of the American Medical Association*, Vol. 290, No. 21, page 2803; December 3, 2003.
- **Perspectives on Diseases of the Thoracic Aorta.** John A. Elefteriades in *Advances in Cardiology*, Vol. 41, pages 75–86; 2004.
- **Kevin Helliker and Thomas M. Burton's Wall Street Journal series on aortic aneurysms:** [www.pulitzer.org/year/2004/explanatory-reporting/works/](http://www.pulitzer.org/year/2004/explanatory-reporting/works/)

Джуди Делоачи

# В МИРЕ СИМВОЛОВ

Маленькие дети часто путают реальный объект и его модель, пока не привыкнут к тому, что одна вещь может олицетворять другую. Такие ошибки показывают, насколько трудно развивается абстрактное, в том числе символическое, мышление.

Фотографии сбивают с толку малышей, не освоивших двойственное восприятие и не осознающих, что символический объект является одновременно и самим собой (в данном случае качественной фотографией), и изображением другого предмета (кеды). Многие дети пытаются взаимодействовать с изображенными на фотографии объектами так же, как этот мальчик, старающийся всунуть ногу в кед.



**20** лет назад в моей жизни настал удивительный момент. В те годы я изучала память у детей и начинала новый эксперимент с малышами 2,5–3 лет. Для осуществления проекта в лаборатории был создан макет настоящей комнаты. Она выглядела как обычная гостиная с несколько потрепанной мебелью: обитый тканью диван, кресло, тумбочка, шкафчик и т. д. Миниатюрные предметы точно копировали реальную обстановку. Макет назывался «Комната маленького Снупи», в ней на глазах у ребенка мы прятали небольшую пластмассовую собачку по имени Маленький Снупи, а затем просили малыша найти Большого Снупи (точно такую же игрушку, но большего размера), спрятанного в том же месте, только в большой гостиной. Мы хотели выяснить, могут ли дети воспользоваться своим представлением о модели комнаты, чтобы сообразить, где искать игрушку в реальном помещении.

Как мы и ожидали, трехлетки успешно справлялись с задачей. Увидев, что маленькую фигурку помещают за миниатюрным диваном, они бежали в соседнюю комнату и обнаруживали Большого Снупи под настоящим диваном. Однако малышей двух с половиной лет, к нашему большому удивлению, постигла неудача. Они бодро отправлялись за большой собачкой, однако большинство из них не имело ни малейшего представления о том, где ее искать, хотя они прекрасно помнили, где именно в кукольной гостиной спрятана маленькая фигурка.

Их неспособность применить знания о макете и сделать вывод о реальном помещении указывала на то, что они не улавливали взаимосвязи между тем и другим. Вскоре мое исследование особенностей памяти вылилось в изучение восприятия символики детьми.

Люди отличаются от других живых существ, в частности, и тем,

что способны создавать и понимать самые разные символы. Их использование позволяет нам передавать информацию от поколения к поколению и постигать многое даже в отсутствие непосредственного опыта – так, мы многое знаем о динозаврах, несмотря на то, что никогда не встречались ни с одним из них. По сути дела, символическое мышление предопределяет существование культуры в целом. Символизация играет фундаментальную роль во всех видах человеческой деятельности, поэтому обретение символического мышления можно считать одним из самых важных аспектов развития человека. Как же, когда и каким образом маленькие дети начинают использовать и воспринимать условные обозначения и как они осваивают их?

### Картинки оживают

Первыми символами, с которыми знакомятся дети, чаще всего оказываются картинки. Взрослому может показаться, что нет ничего проще, однако я обнаружила, что вначале изображения приводят малышей в недоумение. Проблема коренится в двойственной природе всех символических объектов: они реальны сами по себе и в то же время олицетворяют еще что-то. Чтобы понять их, наблюдатель должен обрести двойственное восприятие: одновременно видеть как сам объект, так и взаимосвязь между ним и тем, что он воплощает.

Несколько лет назад меня заинтересовал тот факт, что маленькие дети не осознают двойственной природы рисунков. Так, родители рассказывали, что их младенец пытался схватить нарисованное яблоко или же засунуть ногу в фотографию ботинка. Мы с коллегами – Дэвидом Атталом (David Uttal) из Северо-Западного университета, Софией Пьеросакос (Sophia Pierroutsakos) из Сент-Луисского колледжа и Карлом Росенгренем (Karl Rosengren) из Иллинойского

университета решили исследовать этот феномен.

Мы нашли очень простой способ выяснить, как маленькие дети воспринимают картинки: перед девятимесячным ребенком мы клали книгу с цветными фотографиями реальных предметов. К нашему удивлению, практически все младенцы протягивали ручки, чтобы потрогать, потереть, похлопать или поскрести картинки, некоторые даже пытались схватить изображенные предметы, словно желая поднять их со страницы.

Однажды мы получили уникальную возможность проверить, все ли дети реагируют одинаково. Антрополог Альма Готтлиб (Alma Gottlieb) из Иллинойского университета захватила с собой некоторые из наших книг и видеокамеру в Кот-д'Ивуар, в далекую от цивилизации деревню народности бенг. Условия эксперимента там были несколько иные, чем у нас в лаборатории: малыши сидели на земле или на коленях у матери, вокруг бродили куры и козы, а дети постарше и взрослые играли, работали, разговаривали и смеялись неподалеку. Скорее всего, африканские младенцы ни разу в жизни не видели ни одной картинки, однако они исследовали изображенные объекты руками точно так же, как их американские сверстники.

Наши исследования показали, что малыши прекрасно видят разницу между вещью и ее изображением. Если предложить им на выбор и то и другое, они предпочтут реальный предмет. Однако пока они не совсем понимают, что собой представляют картинки и чем они отличаются от представленных на них объектов («референтов»), а потому крохи принимаются изучать их на ощупь: некоторые, например, наклоняются и прикладывают губы к соске на фотоснимке бутылочки. Однако они поступают так только в том случае, если изображения очень похожи на саму вещь, как ►

на цветных фотографиях. Такое же недоразумение возникает и с видеоизображениями. Пьеросако и ее коллега Джорджина Трозет (Georgene Troseth) из Университета Вандербилта обнаружили, что девятимесячные детишки протягивают ручки и пытаются схватить объекты, движущиеся по экрану телевизора. Однако когда изображения имеют относительно мало сходства с реальными вещами (например, если нарисованы только их контуры), маленькие исследователи редко интересуются ими.

К полутора годам дети начинают понимать, что картинка просто изображает реальную вещь. Они уже не пытаются схватить ее, зато показывают на рисунки и называют изображенные предметы или просят взрослых сказать, как они называются. Мелисса Преисслер (Melissa Preissler) из Йельского университета и Сюзен Кейри (Susan Carey) из Гарвардского университета недавно провели такой опыт: они демонстрировали полуторагодовалым и двухлетним детям простой контур щетки, чтобы научить их слову, обозначающему эту вещь, которую они никогда не видели. Большинство детей восприняло слово как относящееся к самому предмету, а не только к картинке. Другими словами, они интерпретировали рисунок в символическом ключе – как замещающий референта, а не просто связанный с ним.

Чем старше становится ребенок, тем реже он пытается ощупать изображение, чтобы его исследовать. По нашему мнению, такое изменение поведения связано с формированием тормозного контроля и способности сдерживать свои побуждения, что обеспечивается развитием лобной коры. В результате малыши уже не стремятся к непосредственному взаимодействию с изображением, довольствуясь созерцанием, как взрослые.

Определенную роль играет и опыт восприятия картинок. Большинство современных детей живет в мире, изобилующем изображениями, они постоянно видят фотографии и книжки с иллюстрациями. Ежедневно разглядывая их, ребенок учится отличать картинки от реальных предметов и постепенно приходит к пониманию, что рисунки или снимки можно рассматривать или говорить о них, но нельзя направить на них непосредственное действие.

Тем не менее детям требуется несколько лет, чтобы полностью постичь природу изображений. Джон Флейвелл (John H. Flavell) из Стэнфордского университета обнаружил, что до четырех лет многие дети полагают, что если перевернуть нарисованный стакан с попкорном, то его содержимое высыплется. Они также убеждены, что фотоснимок должен меняться по мере того, как в реальном мире происходят изме-

нения с тем, что на нем запечатлено. Подобные заблуждения свидетельствуют о том, что малыши еще не вполне осознают некоторые аспекты взаимосвязи между предметом и его изображением.

### Ошибки Гулливера

Картинки – не единственный источник ошибок, связанных с восприятием символов маленькими детьми. На протяжении многих лет мои сотрудники, студенты и я сама были свидетелями, как малыши пытаются уссесться в крошечное креслице из макета комнаты, лечь на кукольные кровати или залезть в маленькую игрушечную машинку. Заинтересовавшись столь удивительным поведением, которое никогда не упоминалось в научной литературе, мы решили его изучить.

Мы приводили детей в возрасте от 18 до 30 месяцев в комнату, где помимо всего прочего были три большие игрушки: горка, кресло и автомобиль, в котором ребенок мог кататься, отталкиваясь ногами от пола. После того, как маленький участник эксперимента поиграет с каждым объектом не менее двух раз, его выводили из комнаты. Затем мы заменяли крупные предметы их уменьшенными копиями. Когда малыш возвращался, мы никак не комментировали подмену и предоставляли ему играть как вздумается, но, если он игнорировал маленькие игрушки больше трех-четырёх минут, мы привлекали его внимание к ним.

Затем мы просматривали отснятый видеоматериал в поисках того, что мы назвали ошибками масштаба – предпринимаемых всерьез попыток выполнить действия, которые явно невозможны в силу значительной разницы в размерах между телом ребенка и объектом его усилий. Мы проявляли чрезвычайную осторожность в оценках, ошибки масштаба засчитывались только в том случае, если несколько экспертов независимо друг от

### ОБЗОР: СИМВОЛЫ НЕ ИНТУИТИВНЫ

- Символическое мышление у детей возникает не сразу. На протяжении нескольких лет они постепенно осваивают различные аспекты такого мировосприятия.
- В процессе обучения дети совершают много забавных ошибок, например, принимают фотографии за реальные объекты и не могут взять в толк, как маленькая модель может олицетворять ее большую копию.
- Понимание значения символов требует двойственного восприятия. Подлинно символическое мышление формируется у детей только тогда, когда начинают воспринимать объект и сам по себе, и как изображение чего-то другого.

Другое проявление неверного двойственного восприятия – ошибочная оценка размеров, типичная для детей в возрасте от 18 до 30 месяцев, которые часто относятся к уменьшенным копиям предметов точно так же, как к предметам в натуральную величину. Например, этот малыш тщетно пытается усесться на малюсенький стульчик. (В экспериментах используются еще более мелкие предметы.)



друга идентифицировали их как таковые.

Почти половина детей совершала один или более подобных промахов. Они на полном серьезе стремились использовать маленькие игрушки так же, как ранее – большие. Одни силились втиснуться в крошечное креслице, другие пытались взобраться на маленькую горку и скатиться с нее, в результате чего игрушки выскальзывали из-под них и переворачивались (предметы были изготовлены из прочной пластмассы и по высоте не превышали 12,5 см, поэтому дети не подвергались никакому риску). Некоторые норовили забраться в маленькую машинку: они открывали дверь и с потрясающей настойчивостью старались просунуть туда ногу.

Интересно, что в основном детей не особо огорчали неудачи. Некоторые немного сердились или терялись, но большинство просто отвлекалось на другое занятие. Вероятно, дело в том, что, осваивая мир, крохи ежедневно сталкиваются с многочисленными препятствиями и не воспринимают их как нечто из ряда вон выходящее.

По нашему мнению, ошибки масштаба возникают из-за рассогласования между использованием зрительной информации для планирования действия с одной сто-

роны и управления ходом его выполнения с другой. Когда ребенок видит уменьшенную копию знакомого ему объекта, зрительная информация (форма, цвет, текстура и т.д.) активизирует мысленное представление о референте, с которым связана двигательная программа взаимодействия с крупным объектом и сходными с ним предметами. Половина исследованных нами детей не пытались пользоваться маленькой игрушкой так же, как большой, – вероятно, их двигательная программа тоже активировалась, но сразу же тормозилась.

Но у другой половины малышей двигательный шаблон продолжал действовать. Как только ребенок начинал выполнять стандартную последовательность движений, зрительная информация о реальном размере объекта использовалась для того, чтобы осуществить действия. Некоторые, например, присаживались над крошечным креслицем и заглядывали под себя, чтобы не промахнуться. Те, кто пытался забраться в маленькую машинку, сначала открывали дверцу, а затем старательно просовывали ногу внутрь. Принимая решение о взаимодействии с уменьшенной копией, дети полагались на зрительную информацию, связывающую ее с объектом нормального размера, но затем, вы-

полняя свой план, они корректировали действия, сообразуясь с данными о реальных габаритах предмета. Такое рассогласование в использовании зрительной информации не противоречит общепринятым теориям зрительного восприятия, утверждающим, что распознаванием объектов и планированием действий заняты одни области мозга, а выполнением и корректировкой действий – другие.

### Волшебная уменьшающая машина

Ошибки масштаба показывают, что детям не удается воспринимать по отдельности символ и его референт. Однако смещения объекта и его символического образа не происходит в том случае, если необходимость в двойственном восприятии исчезает. Мы обнаружили этот феномен в 1997 г., когда Росенгрэн, Карл Миллер (Karl Miller) из Иллинойского университета ▶

### ОБ АВТОРЕ:

**Джуди Делоачи** (Judy DeLoache) специализируется на раннем когнитивном развитии, а именно на формировании символического мышления. С 1970 г. она преподает психологию в Иллинойском университете.



Двухлетний ребенок не понимает символического соотношения между моделью комнаты и самой комнатой. Мальчик видит игрушку, спрятанную за растением в модели, но не догадывается заглянуть за растение в настоящей комнате.



и я убеждали детей двух с половиной лет (разумеется, с полного согласия родителей), что у нас есть устройство, которое может уменьшать обычные предметы.

С помощью нашей «волшебной уменьшающей машины» мы надеялись понять, верно ли, что в основе неспособности детей воспринимать символы лежит необходимость думать об обеих «ипостасях» объекта одновременно. Если ребенок поверил, что некое таинственное устройство уменьшило предмет или комнату, то в его понимании миниатюрная копия тождественна самому объекту. В таком случае нет никакой символической взаимосвязи между предметом и макетом, а потому у ребенка нет необходимости применять свои знания о большом экземпляре к маленькому.

Наш волшебный прибор должен был уменьшить большую игрушку и палатку. На глазах у ребенка мы помещали игрушку в палатку и направляли на нее «уменьшающую

машину». Затем ребенок и экспериментатор прятались в другой комнате и ждали, пока механизм сработает. Когда они возвращались в лабораторию, на месте большой палатки уже стояла маленькая. (Поразительно, но детей совсем не удивляло ни то, что аппарат может уменьшать предметы, ни то, что во время работы агрегата на него нельзя смотреть.)

Когда мы просили детей отыскать игрушку (тролля с ярко-фиолетовыми волосами), они немедленно заглядывали в маленькую палатку. Будучи уверенными в том, что перед ними та же самая палатка, только уменьшенная, они легко находили спрятанную куклу. В данном случае от детей не требовалось двойственного восприятия: они считали, что маленькая палатка была той же самой, что и большая, и потому игрушка находилась там, где она и должна была быть в соответствии с представлениями малыша.

### Теория и практика

Изучение роли двойственного восприятия символов имеет большое прикладное значение для тех, кто работает с детьми. В частности, при разговоре с маленькими жертвами сексуального насилия полицейские, психиатры и другие специалисты нередко используют куклы с анатомическими подробностями, предполагая, что таким образом ребенку будет легче рассказывать о случившемся. При этом подразумевается, что малыш может воспринимать куклу и как игрушку, и как олицетворение самого себя.

Однако целесообразность использования таких методов вызвала сомнения у Мегги Брук (Maggie Bruck) из Университета Джонса Гопкинса, Стивена Сиси (Steven Cesi) из Корнеллского университета, Питера Орнстейна (Peter Ornstein) из Университета Северной Каролины в Чапел-Хилл и у многих других. В ходе нескольких независимых исследований ученые просили

дошкольников рассказать о визите к педиатру и о том, осматривал ли он их гениталии. При этом с одними группами детей разговор велся при помощи кукол, имитирующих строение человеческого тела, а с другими – без них. Оказалось, что в целом ответы детей были более точными в тех случаях, когда манекены не использовались. Кроме того, малыши, объяснявшиеся с помощью кукол, были склонны давать ложную информацию о прикосновении к половым органам.

Мои исследования показали, что у детей нередко возникают затруднения при интерпретации символических объектов, и я предположила, что в раннем детстве человек не способен соотносить свое тело с телом куклы. В нашей лаборатории была проведена серия экспериментов, основанных на поиске простейших соответствий. Кэтрин Смит (Catherine Smith) приклеивала стикер на тело ребенка (например, на плечо или ступню) и просила его прикрепить такой же на куклу, на то же самое место. Дети от трех до трех с половиной лет обычно легко справлялись с заданием, однако те, кто был помладше, лишь в половине случаев понимали, что от них требуется. То есть даже в такой чрезвычайно простой ситуации, не предъявляющей никаких требований к памяти и не несущей никакой эмоциональной нагрузки, малыши не могут сопоставить свое тело с его подобием. Результаты таких опытов показывают, что нельзя применять модели человеческой фигуры в ходе следствия с участием маленьких детей. Подобных экспериментов было проведено множество, и в настоящее время применение кукол при разговоре с детьми младше пяти лет не считается целесообразным, а в некоторых штатах даже запрещено законом.

Концепция двойственного восприятия важна и в педагогической практике. Во всем мире преподаватели детских садов и начальных школ используют так называемый пред-

метный дидактический материал: кубики, палочки и т.д. – для обучения счету. Идея состоит в том, чтобы с помощью конкретных предметов помочь детям понять абстрактные математические принципы. Но если ученики не видят взаимосвязи между понятием и олицетворяющим его кубиком, то применение подобного метода может оказаться даже вредным. Некоторые исследования показывают, что детям часто нелегко дается понимание и применение предметного дидактического материала. В настоящее время Агтал и я изучаем, способны ли символические объек-

игровые элементы могут отвлекать детей от информации, заложенной в книге. Недавно мы с помощью разных методик пробовали научить азбуке детей в возрасте 30 месяцев. Одна группа занималась по старомодным букварям, где каждая буква четко напечатана крупным черным шрифтом и сопровождается соответствующей картинкой с традиционным «Арбуз на букву А, Белка на букву Б». Другим ученикам досталась затейливая книга с различными движущимися элементами. Впоследствии оказалось, что ребята, которые работали с обыкновенной

## Современным детям приходится осваивать все большее количество разнообразных СИМВОЛОВ.

ты помочь в обучении буквам и цифрам. С помощью кубиков, созданных специально для знакомства с математикой маленьких детей, мы учили ребятшек шести и семи лет решать задачи на вычитание с заимствованием (они часто вызывают у учеников затруднения). Другая группа осваивала тот же материал с помощью лишь карандаша и бумаги. Все дети в конце концов усвоили принципы решения, однако тем, кто пользовался кубиками, потребовалось в три раза больше времени. Одна девочка из группы «кубиков» после завершения исследования дала нам совет: «А вы не думали учить этому детей с бумагой и карандашом? Так ведь намного легче».

Двойственное восприятие стоит учитывать и при создании книг для малышей. Сейчас очень распространены детские издания со множеством подвижных частей, побуждающих детей к непосредственному взаимодействию с книгой: подвижные или скрытые картинки, которые можно посмотреть, открыв «окошко» на странице и т.д. Мы с аспиранткой Синтией Чيونг (Cynthia Chiong) решили, что такие

азбукой, усвоили больше букв, чем обладатели хитроумного учебника. Можно предположить, что детям легче сконцентрировать внимание, глядя на ровные страницы традиционной книги, чем отвлекаясь на манипуляции с трехмерными объектами. Если речь идет об обучающих книгах для младшего возраста, то простые варианты зачастую оказываются наиболее эффективными.

Наши многочисленные исследования свидетельствуют, что многие аспекты символики, которые очевидны для взрослых, вызывают затруднения у маленьких детей. Они должны преодолеть определенный барьер на пути к достижению зрелого представления о том, что один объект может быть условным обозначением другого. А современному ребенку приходится осваивать все большее количество разнообразных символов. Более глубокое понимание различных стадий развития абстрактного мышления, в том числе символического, позволит исследователям выявить, изучить и преодолеть трудности в обучении, с которыми сталкивается ребенок. ■



Нанотела нескольких типов (пурпурные) могли бы одновременно атаковать раковую клетку (зеленовато-голубую). Одни – связывались бы с рецепторами клетки, не давая ростовым сигналам доходить до клетки. Другие – доставляли бы радиоактивные изотопы непосредственно в раковые опухоли.

Уэйт Гиббс

# нанотела

Часто мы представляем себе антитела чем-то вроде волшебных пуль. На самом деле они больше похожи на танки: большие, сложные и дорогие. Однако более мелкие нанотела могут справиться с различными заболеваниями и за меньшую цену.

**И**ммунная система человека устроена чрезвычайно сложно. Вокруг нас простирается мир, кишаций бесконечно разнообразными микроорганизмами. От их нападения нас защищают антитела, которые производятся В-лимфоцитами. Антитела представляют собой огромные Y-образные молекулы белка, которые плавают в крови и межклеточной жидкости и с помощью своего химического осязания проверяют все молекулы. Каждая модель антител ждет однозначной химической подписи конкретного микроба, аллергена или токсина.

Однако, несмотря на совершенство нашей иммунной обороны, мы можем заболеть. Иногда иммунная система дает сбой: то она слишком медлительна, то вдруг проявляет неоправданную деликатность (например, по отношению к раку или к респираторному синциальному вирусу), то бурно отторгает трансплантированные органы. А когда она по ошибке атакует собственные клетки организма, то сама иммунная реакция может вызвать дегенеративное заболевание, например, ревматоидный артрит.

На протяжении многих лет ученые пытались создать искусственные антитела, которые могли бы корректировать (или хотя бы час-

точно смягчать) ошибки иммунной системы. В 1975 г. был открыт способ создания идентичных, или моноклональных, антител, однако с мертвой точки удалось сдвинуться лишь в 1997 г., а к концу 2004 г. было одобрено терапевтическое применение 17 антител. Предполагается, что препараты будут эффективны при лечении рака, ревматоидного артрита, воспалительных заболеваний кишечника и, возможно, болезни Альцгеймера.

Рынок моноклональных антител (МАТ) все еще формируется. Десятки новых МАТ находятся на стадии разработки или клинической проверки. В 2004 г. Джанис Рейкерт (Janice M. Reichert) из Центра по изучению процесса разработки лекарственных препаратов при Университете Тафта предположила, что 16 из них получат лицензии FDA в течение трех лет. Согласно ее предсказаниям, в 2008 г. объем торговли МАТ составит во всем мире около 17 млрд. долларов.

## Беда с антителами

Несмотря на то что у моноклональных антител большие перспективы, их применение обходится отнюдь не дешево. Например, лечение больных астмой антителами *Xolair* стоит 11 тыс. долларов в год, а годовой курс лечения *Herceptin* от рака – более ▶

38 тысяч. *Remicade* от ревматоидного артрита обойдется в 4,6 тыс. долларов за восемь уколов.

По молекулярным меркам МАТ – просто гиганты, каждое из них представляет собой комплекс из двух тяжелых и двух легких полипептидных цепей, свернутых замысловатым образом и сдобренных сложными сахарами. Чтобы создать лекарство на основе МАТ, ученые обычно начинают с антитела, взятого от мыши. Затем они гуманизируют молекулу, манипулируя с кодиру-

ющими ее генами, чтобы заменить часть или весь белок аминокислотными последовательностями, скопированными из человеческих антител. (В качестве альтернативы у некоторых компаний есть генетически модифицированные мыши, которые производят почти человеческие антитела.)

Такая гуманизация снижает потенциально опасные побочные эффекты, часто возникающие при лечении антителами, когда иммунная система пациента восприни-

мает МАТ как инородные вещества и атакует их. Однако процесс гуманизации требует многих месяцев высокотехнологичного труда, а получающиеся в результате макромолекулы настолько сложны, что их нельзя синтезировать из химических строительных кирпичиков, как это происходит с обычными лекарственными препаратами. Вместо этого их приходится получать с помощью клеток млекопитающих в специально оборудованных чанах-биореакторах, в которые вводится множество генов, необходимых для производства всего одного антитела.

Большие размеры белков накладывают ограничения как практического, так и медицинского характера. Высокие температуры или колебания кислотности заставляют полипептидные цепочки раскручиваться, если их не хранить при температуре около 0°C, то они теряют годность всего за несколько недель. Антитела быстро перевариваются в кишечнике, они не могут попасть в мозг, им доступны лишь края плотных опухолей. По этой причине многие болезни для МАТ недостижимы.

При некоторых заболеваниях, когда МАТ не эффективны, могут помочь более простые полипептиды меньшего размера.

В 80-х гг. ученые начали экспериментировать с фрагментами антител, полученных при отделении от Y-образной молекулы ствола, оставляя для выполнения химических обязанностей всего одну ветвь антитела. Как и полноценные МАТ, фрагменты антител могут лечить заболевания, связываясь с токсинами, патогенами или сигналами aberrантных клеток или же с теми клеточными рецепторами, с которыми связываются «агрессоры». Однако в отличие от полноценных антител, подобные фрагменты не могут вовлечь в работу такие компоненты иммунной системы, как клетки-киллеры, или T-лимфоциты, поскольку

Лама из лаборатории компании *Ablynx* производит специфичные для семейства верблюдов антитела – исходный материал для нанотел.



они не обладают полипептидным стволом, ответственным за выполнение этой задачи.

Фрагменты антител можно производить с помощью бактерий, дрожжей или грибов. С одной стороны, они могут проникать вглубь опухолей, и к ним можно химически прикрепить радиоактивные изотопы или химиотерапевтические препараты, которые будут доставлены непосредственно в больную ткань. С другой – фрагменты антител быстро исчезают из кровяного русла, поэтому время их полужизни составляет лишь несколько часов, в то время как настоящие антитела могут существовать в организме неделями.

Английская компания *Domantis* укоротила фрагменты человеческих антител еще больше, оставив всего лишь кончик тяжелой цепи и полностью удалив легкую. Этот сегмент, уникальный для каждого антитела, содержит участки, определяющие комплементарность (*CDR*), от которых зависит, какую мишень будет распознавать данное антитело и насколько сильной будет их связь в случае встречи. В результате получаются доменные антитела (так *Domantis* называет свои полипептиды).

Однако доменные полипептиды получены как сегменты значительно более крупных двухцепочечных антител, что делает их склонными к прочному связыванию, объясняет Серж Мулдерманс (*Serge Muyldermans*), специалист по белкам из Свободного Брюссельского университета. В результате фрагменты слипаются друг с другом внутри бактерий, в которых они производятся, а также в организме принимающего их пациента.

### От верблюда к лекарству

В то время как биохимики работают над созданием фрагментов антител, лишенных перечисленных недостатков, бельгийская биотехнологическая компания *Ablynx*

Миллионы разновидностей человеческих антител представляют собой вариации одной и той же базовой структуры: две более крупные (или тяжелые) цепи соединены с двумя цепями меньшего размера (или легкими). Пара переменных сегментов на концах ветвей уникальна для каждого типа антител и определяет, с какой мишенью оно будет связываться. Нанотело – это переменная часть верблюжьего антитела, в котором исходно отсутствуют легкие цепи. По размерам оно в десять раз меньше антитела.



воспользовалась альтернативой, предложенной самой природой. В 1989 г. Мулдерманс работал в составе группы биологов в Свободном Брюссельском университете, возглавляемой Раймондом Хамерсом (*Raymond Hamers*). Ученые исследовали проблему защиты одногорбых верблюдов и буйволов от паразитов. Один из анализов антител в крови животных выглядел как ошибочный: согласно его результатам, в дополнение к нормальным четырехцепочечным антителам были выявлены более простые антитела, составленные всего из пары тяжелых цепей.

Потратив несколько лет на исследования, Хамерс и Мулдерманс в 1993 г. опубликовали статью о своем открытии в журнале *Nature*. У одногорбых верблюдов (а также двугорбых из Азии и южноамериканских лам) половина антител в крови лишена легких цепей. Столь же удивительным оказалось и то, что «неполноценные» антитела связываются со своими мишенями так же прочно, как и нормальные, хотя и обладают всего половинным количеством участков, определяющих

комплементарность. В отличие от фрагментов антител, антитела из одних тяжелых цепей друг с другом не слипаются.

Почему верблюды отличаются от всех остальных млекопитающих, до сих пор остается загадкой. Когда ученые из группы Мулдерманса вырезали из новых молекул характерные переменные сегменты, то оказалось, что они сохранили сильную аффинность по отношению к своим мишеням, практически такую же, какой обладают в десять раз более крупные полноценные антитела. К тому же укороченные белковые молекулы были очень подвижны, что позволяло им связываться с мишенями, в том числе с активными сайтами ферментов и с молекулами внутри щелей в клеточных мембранах, которые слишком малы для антител. Так родились нанотела, а вслед за ними и компания *Ablynx*.

Поскольку нанотела намного мельче антител и не обладают гидрофобностью (в отличие от доменных антител), они более устойчивы к температуре и кислотности. Петер Роттирс (*Pieter* ▶

## КОНСТРУИРОВАНИЕ АНТИТЕЛ И НАНОТЕЛ

Создание эффективного нанотела требует меньше времени и денег, чем для разработки антител. В обоих случаях иммунная система живого животного осуществляет начальное «проектирование» белка, который может связываться с молекулой-мишенью. Затем генетики орудуют с ДНК, кодирующей эту полипептидную последовательность, чтобы привнести новые свойства, необходимые лекарству.

### ТРАДИЦИОННЫЕ МОНОКЛОНАЛЬНЫЕ АНТИТЕЛА

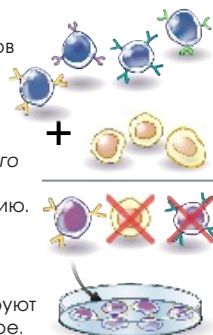
#### 1. Иммунизация



Исследователи вводят мыши молекулу-мишень. В-лимфоциты ее иммунной системы производят антитела, распознающие этот антиген.

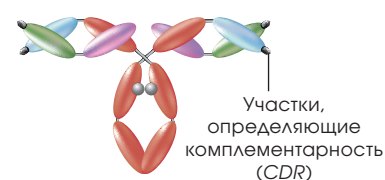
#### 2. Слияние, отбор и тиражирование

Слиянием В-лимфоцитов (голубого цвета) с раковыми клетками миеломы (оранжевого цвета) получают гибридомы (фиолетового цвета), способные к бесконечному делению.



Клетки гибридомы, производящие нужное антитело, идентифицируют и выращивают в культуре.

#### 3. Получение антител



#### Мышиное антитело

Культура клеток выделяет антитела, которые затем очищают и проверяют.

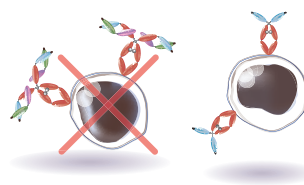
### НАНОТЕЛА КОМПАНИИ ABLYNX

#### 1. Иммунизация



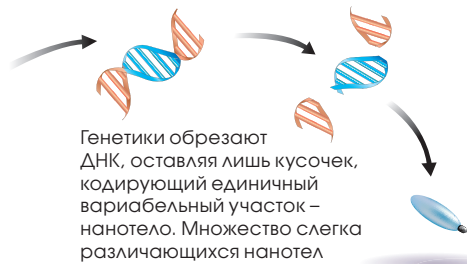
Ламу иммунизируют, и в ее организме вырабатываются как нормальные антитела (слева), так и состоящие из одних тяжелых цепей (справа).

#### 2. Изоляция и клонирование



Взяв пробу крови, ученые обнаруживают клетки, производящие антитела, состоящие лишь из одних тяжелых цепей. Затем они находят участок ДНК с геном, кодирующим данное антитело.

#### 3. Генная инженерия



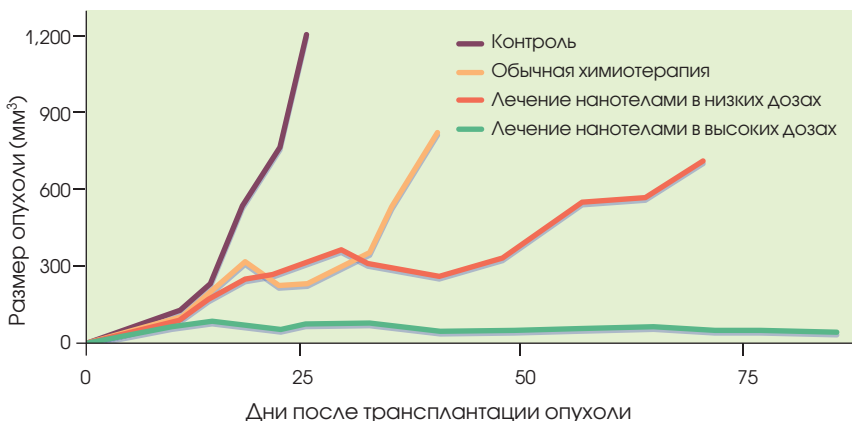
Генетики обрезают ДНК, оставляя лишь кусочек, кодирующий единственный переменный участок – нанотело. Множество слегка различающихся нанотел проверяют, чтобы выделить наиболее пригодные для медицинского применения.

Нанотела против рака были испытаны на мышах, которым ввели опухолевые клетки человека. Обычная химиотерапия просто задержала развитие рака, в то время как химиотерапевтическое воздействие в высоких дозах с применением нанотел привело к выздоровлению.

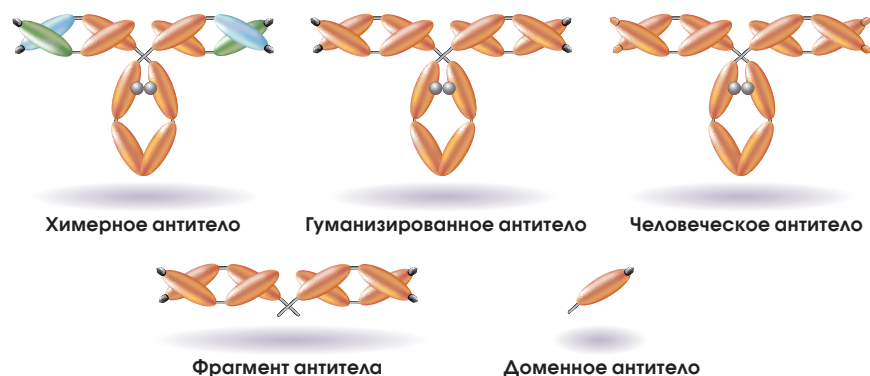
Rottiers) и Хильда Реветс (Hilde Revets) из Института биотехнологии Фландерса в Бельгии показали, что такие соединения сохраняют свою активность при прохождении через желудочно-кишечный тракт мышей, что внушает надежду на создание таблеток с нанотелами

ми для лечения воспалительного заболевания кишечника, рака прямой кишки и других заболеваний пищеварительной системы.

Поскольку нанотела проще антител по химическому строению и форме, они могут быть закодированы в одном гене, и микробам легче их синтезировать. В 2002 г. биологи из компании *Unilever Research* в Нидерландах получили более килограмма нанотел из стандартного чана объемом в 15 тыс. литров с дрожжами (выход составил 67 мг на литр), в то время как ученые из *Ablynx* сообщили о выходе, превышающем один грамм нанотел на литр культуры дрожжей (производительность, намного превышающая таковую для полноразмерных антител). «К тому же наши нанотела стабильны при комнатной температуре и могут долго

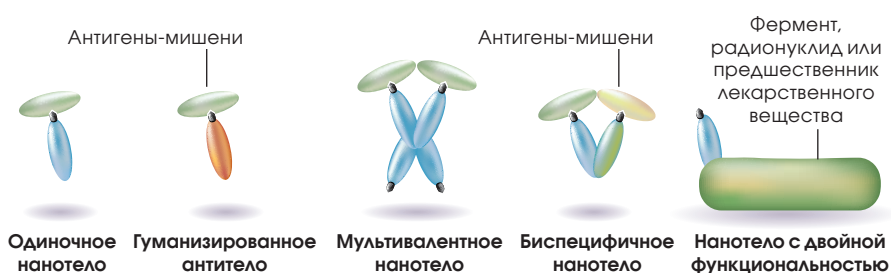


## 4. Гуманизация



Генные инженеры могут заменить участки мышиного антитела сегментами человеческого антитела (золотистого цвета), могут также разрезать антитела, создавая фрагменты различного размера.

## 4. Сборка



Гены нанотел можно соединить с генами других нанотел или другими веществами, создавая лекарства, синтезируемые затем культурами бактерий, грибов или дрожжей.

храниться без холодильника», – утверждает Тим ван Хаувермейрен (Tim Van Hauwermeiren), ответственный за расширение бизнеса компании.

«Создавать новые типы нанотел не так уж и сложно, – утверждает ван Хаувермейрен. – Иммунизируя лам необходимым антигеном и извлекая затем лишь антитела, состоящие из одних тяжелых цепей, мы можем получить высокоаффинные нанотела к заданному антигену всего за четыре месяца». При некоторых заболеваниях, в том числе при ревматоидном артрите, нанотело может выполнять задачу само по себе, заглушая патогенные клеточные сигналы путем связывания с сигнальной молекулой, либо путем блокирования рецепторов сигнала, расположенных на поверхности клеток.

Одно из главных преимуществ нанотел состоит в том, что они достаточно легко соединяются друг с другом или же с самыми разнообразными веществами. Хаард соединил нанотела к альбумину с нанотелами к специфическим мишеням, в результате чего их время полужизни в кровяном русле возросло до недель. Он объединил четыре нанотела, создав «мультивалентные» комплексы, которые могут связать больше антигена в расчете на одну молекулу или же связываться с одной из двух различных мишеней или с обеими одновременно.

Недавно Реветс и Мулдерманс опубликовали результаты экспериментов по созданию нанотел, связывающихся с рецепторами на раковых клетках, в результате чего эти молекулы присоединяются

ко всем опухолям. Исследователи наделили такие группы двойной функциональностью, связав их с ферментом, который превращает другое вещество, называемое пролекарством, из безобидной формы в токсический химиотерапевтический препарат, который убивает клетки, располагающиеся в непосредственной близости.


Эксперименты проводились на мышах, которым ученые ввели человеческие раковые клетки, вскоре разросшиеся в опухоли размером в полтора сантиметра. Для одной группы грызунов Реветс применяла только химиотерапию. Зверьки плохо себя чувствовали и теряли в весе, а опухоли уменьшились лишь незначительно. Другой группе мышей ввели высокую дозу нанотел с двойной функциональностью, в состав которых был включен фермент. Подождя, пока свободные нанотела выйдут из организма, ученые ввели пролекарство. Ожидания оправдались: нанотела направили химиотерапию на раковую опухоль, щадя при этом здоровые ткани, и обеспечили полное рассасывание опухолей.

Пока нанотела не пройдут клинические испытания, никто не сможет сказать, будут ли они работать в организме человека так же эффективно, как в организме мышей. Но если у них и найдут недостатки, то связаны они будут с иммунной системой. Ученые из *Ablinx* разработали способы гуманизировать нанотела, а исследования на бабуинах показали, что у них не возникает иммунного ответа на эти небольшие белки, полученные от лам. Однако Хаард признает, что нанотелам не удастся ускользнуть от более сложной сети клеточного наблюдения, которая защищает людей. Результаты клинических испытаний, намеченных на следующий год, покажут, удастся ли нанотелам продолжить свой стремительный успех, либо же они падут жертвой совершенства иммунной системы человека. ■



# МИГРАНТЫ из африки

Место захоронения гоминид, заключенных в затвердевший вулканический пепел. Этот факт может свидетельствовать о внезапно настигшей их природной катастрофе.



Нани Асланикашвили,  
Аслан Суладзе

Сенсационные открытия ископаемых гоминид за пределами Африки, в Дманиси (Восточная Грузия) заставили ученых пересмотреть многие теории, связанные с миграциями древних людей и их дальнейшей жизнью на чужбине. (См. «Первооткрыватели Евразии», «В мире науки», №2, 2004 г.)

Прежде чем ответить на вопрос, почему наши предки отправились на поиски лучшей доли в другие земли, следует выяснить два обстоятельства. Во-первых, случайно ли древние люди появились именно в Восточной Африке? Во-вторых, добровольно ли они покинули обжитые районы, и если нет, то какие обстоятельства вынудили их к подобному шагу?

Одна из теорий предполагает, что причиной исхода наших предков из Африки стало ухудшение климатических условий и дефицит пищевых ресурсов. Однако возникает вопрос: чем было обусловлено столь резкое изменение климата, если оно вообще имело место? Найти ответ возможно лишь путем реконструкции особенностей природной среды обитания гоминид: климата, геологического строения местности, древних ландшафтов и экосистем.

Вряд ли причиной перемены места жительства гоминид стало появление ручного рубила и других каменных орудий, как предполагалось ранее. Скорее всего, новые приспособления лишь облегчили их существование в новых условиях. Страх – основной инстинкт всех живых существ, – вероятно, вынуждал древних людей сниматься с насиженных мест и пускаться в долгие походы в поисках безопасности.

Большая часть останков первых людей сосредоточена в районе Восточно-Африканского рифта (ВАР), берущего начало на юге континента, у реки Замбези. В глубоких впадинах, образованных тектоническими сбросами (сброс – разрыв, вызванный опусканием одного участка земной



После долгих странствий наши предки обосновались в этой живописной долине. Как уверяет профессор А. Векуа, здесь выросло несколько поколений пришельцев. Об этом свидетельствуют обнаруженные им полностью лишенная зубов челюсть пожилого индивида и зуб годовалого ребенка.

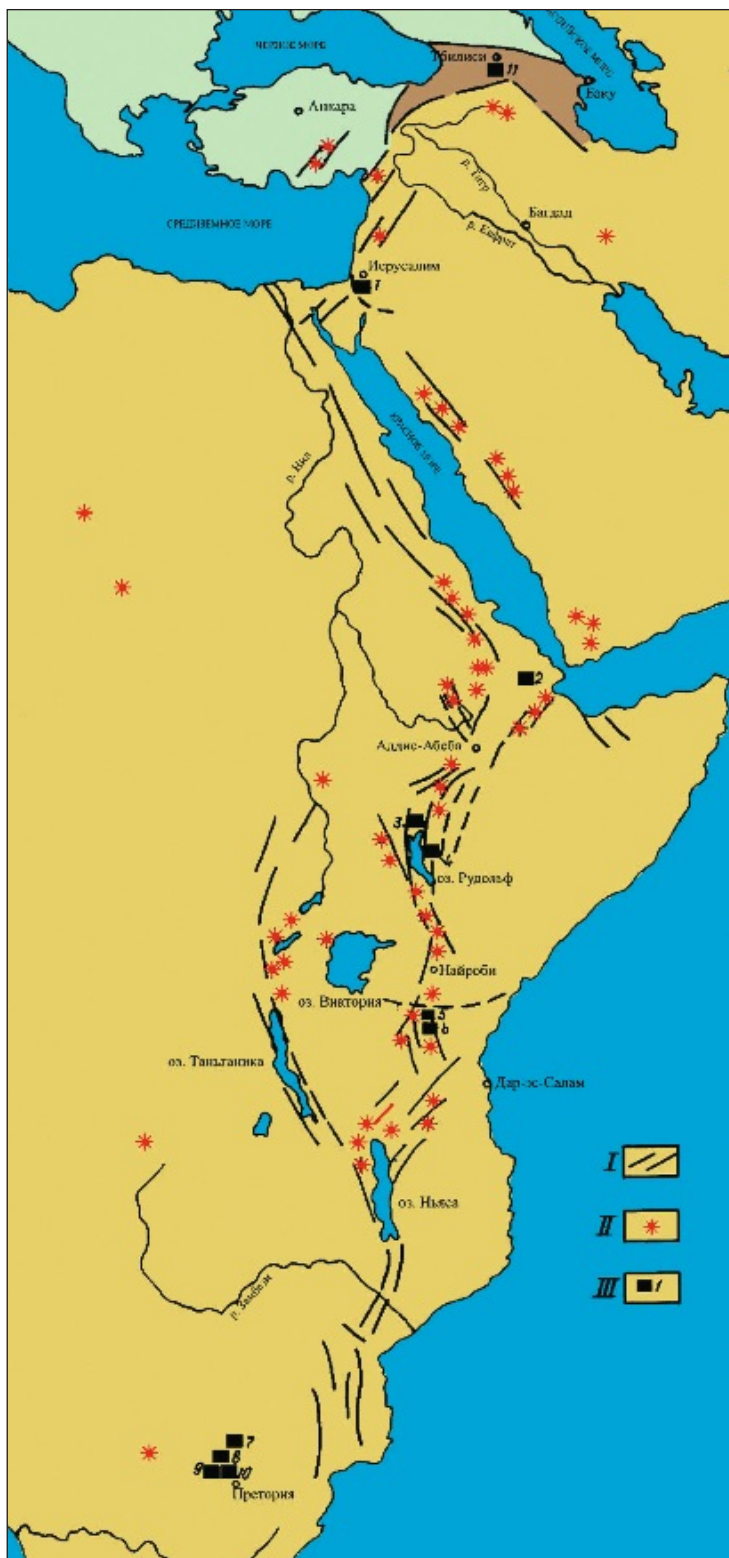
точной части континента, которая не имеет аналогов на земном шаре.

Согласно геологическим описаниям Олдувайского ущелья, расположенного в рифтовой долине на границе Танзании и Кении, максимальная мощность озерных, речных и эоловых отложений с шестью прослоями туфа и пепла составляет около 120 м. Следовательно, за время формирования толщи произошло как минимум шесть вулканических извержений. Везде, где были обнаружены останки *Homo habilis*, фрагменты скелетов, орудия труда и кости животных перемешаны в слое глины, покрывающей поверхность туфа.

Для геологических разрезов районов активного вулканизма характерен широкий гранулометрический спектр продуктов извержений и пород смешанного вулканогенно-осадочного генезиса. Направление и дальность перемещения выброшенного при извержениях пирокластического материала зависит от силы и направления взрыва и ветра, состава и насыщенности газами вулканического пепла. При сильных вулканических взрывах клубящиеся тучи тонкого пепла поднимаются на высоту в несколько десятков километров и, подхваченные в верхних слоях атмосферы и стратосферы ветрами, вызывают необычные атмосферные явления, подобные тем, что наблюдались после извержения вулкана Кракатау в 1883 г. Пепел разносится очень быстро, поэтому время формирования сложенных им слоев крайне ограничено. Таким образом, атмосферные флуктуации, приводящие к смене климата,

коры относительно другого; образуется преимущественно в условиях растяжения), лежат озера Ньяса, Рукаву, Танганьика, Киву, Альберта, Эдуарда, Рудольфа. Затем рифт поворачивает к северо-востоку, в Эфиопию (Грабен Афар) и выходит к Красному морю, сформировавшемуся в процессе рифтогенеза. На севере рифт продолжается в виде залива Акаба, долины реки Иордан, впадины Мертвого моря, долины Бекаа в Ливане и далее к северу уходит в складчатую систему Тавра. Современный облик Восточно-Африканский рифт начал приобретать в палеогене, в период усиления тектонических процессов на земном шаре. Почти все действующие вулканы Африки расположены в пределах рифта. В результате бурной деятельности огнедышащих гор, особенно в период неогена, мощные потоки лавы залили обширные пространства. Ученые предполагают, что подобное сочетание тектонической активности с процессом развития озерных бассейнов, своеобразие растительного покрова и животного мира привело к формированию новых экосистем.

Основываясь на палеонтологических, палинологических и седиментологических (колебания уровня воды в озерах) данных, исследователи пришли к выводу, что в Африке, в отличие от Европы, влияние материковых оледенений почти не ощущалось, и колебания климата от более холодного к более теплomu не были главным климатообразующим фактором. Согласно новейшим данным, изменение климата Африки (аридизация и опустынивание) началось относительно недавно, и 5–7 тысяч лет назад там существовали вполне комфортные условия для развития богатейших экосистем, климат менялся незначительно, и на большей части континента преобладали саванны. Об этом свидетельствуют и широко известные скальные рисунки в пещерах Сахары и на сопредельных территориях. Таким образом, реконструкция климата древней Африки путем синхронизации с европейскими климатическими циклами невозможна, поскольку геологическая история развития африканского континента существенно отличается от Евразийского. Индивидуальный характер его развития наиболее ярко выражен в вос-



МУРМАН КВИНИКАДЗЕ (фото); ГОГА ГАБАШВИЛИ (компьютерная графика)



Примерно так должны были выглядеть территории раннепалеолитических стоянок в то время, когда там обитали различные представители семейства приматов.

В пустыне Хадар, в Эфиопии, обнаружены останки, возраст которых около 4 млн. лет (Йохансон, Иди, 1984). Главной сенсацией стал скелет прямоходящего гоминида – Люси. Позже было найдено большое количество костей, принадлежащих, по меньшей мере, 13 особям того же вида. «Похоже, все они погибли одновременно. Вероятная причина – стихийное бедствие, возможно, они отравились вулканическим газом» (Ян Линдبلاد, 1991).



Пустыня Сахара. О бурной вулканической активности прошлых эпох на-зад свидетельствуют сохранившиеся палеовулканические постройки, т.н. некки. О том, что животный мир на этой территории отличался исключительным богатством видов, свидетельствуют широко известные наскальные рисунки.

### ВАЖНЕЙШИЕ РАННЕПАЛЕОЛИТИЧЕСКИЕ СТОЯНКИ ГОМИНИД ВОСТОЧНОЙ АФРИКИ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ:

- I – система рифтов, глубинные разломы; II – очаги плиоцен-плейстоценового вулканизма;
- III – местонахождение раннепалеолитических стоянок:
- 1 – Убейдия; 2 – Хадар; 3 – Омо; 4 – Кооби-Форэ; 5 – Олдувай; 6 – Летоли; 7 – Макапансгат; 8 – Стеркфонтейн; 9 – Сварткрант; 10 – Кромдрей; 11 – Дманиси.

В цепи вулканов, расположенных по Азоро-Гибралтарской системе разломов, произошли два катастрофических землетрясения – взрывы вулканов Кракатау и Тамборо.

С точки зрения известного российского геолога и геофизика, профессора, заведующего лабораторией Института океанологии РАН Александра Моисеевича Городницкого, взрыв вулкана Санторин с позиции геофизики, тектоники плит – не причина, а следствие столкновения плит, вызвавшего целый ряд катастроф в средиземноморском регионе. Санторин мог взорваться вследствие активизации некоего соседнего вулкана, который, как и Санторин, мог действовать еще в доисторические времена (об этом подробнее в статье «Диалоги землетрясений», «В мире науки», №5, 2003 г.). Наглядный пример такого взаимодействия или взаимозависимости демонстрируют события XIX в.: сначала произошло извержение вулкана Тамборо, а потом, почти 80 лет спустя, в той же горной системе – Кракатау. С геологической точки зрения, это ничтожно малое время.

В Зондском архипелаге в 1883 г. взорвался вулкан Кракатау. Весь архипелаг представлял собой остатки вулкана высотой около 2 тыс. м, разрушенного еще в доисторические времена. 26–27 августа разразилась катастрофа. Громадные массы пепла, пемзы, шлаков и тягучей, подобной тесту, грязи направились в Зондский пролив. Берега Суматры и Явы изменились до неузнаваемости: богатая тропическая растительность исчезла, серая грязь и продукты извержений, вырванные с корнями деревья, остатки зданий, трупы людей и животных усеяли ее. По официальным данным, число

погибших приближалось к 40 тыс. человек. Волна в море (цунами), вызванная взрывом, была настолько мощной, что обошла всю планету, а грохот взрыва слышался на огромном расстоянии – в г. Маниле, отстоящем на 2 тыс. км от Кракатау, и на острове Мадагаскар, в 4775 км от Кракатау.

Наиболее губительным вулканическим извержением в нашей истории стало извержение вулкана Тамборо 1815 г. Почти 12 тыс. жителей погибли во время грандиозного взрыва, еще 37 тыс. человек умерли на соседних островах от голода и болезней. По приблизительным подсчетам, 1,7 миллиона тонн обломков было выброшено в воздух. Мельчайшая пыль перенеслась в стратосферу и стала кружиться вокруг Земли, отражая солнечные лучи назад в космос, что лишило Землю какой-то части тепла и окрашивало закаты в оранжевый цвет. Извержение вызвало знаменитый «год без лета». Долгое время никто не связывал вулканическую катастрофу с погодой: со снегопадами в Новой Англии в июне и повсеместными трескучими морозами.

Мощность взрыва Тамборо в 10 раз превышала мощность извержения Кракатау и вызвала колоссальную инъекцию пепла в атмосферу, что привело к глобальному похолоданию. Это событие подробно изучалось в связи с эффектом ядерной зимы. Если б человечество в своем безумии взорвало все запасы ядерного оружия, то это вызвало бы сравнимый эффект. Стандартное извержение вулкана предполагает выброс в атмосферу около кубического километра газов, обломков и лавы, Кракатау выбросил порядка 10–15 км<sup>3</sup>, а Тамборо изверг около 150–200 км<sup>3</sup>.

### КОММЕНТАРИИ:

Важен факт о гранулометрическом составе пород, слагающих костеносные разрезы. Во всех известных по литературе местонахождениях гоминид речь идет о пепловом материале, что однозначно указывает на то, что на упомянутых территориях вулканические явления не приводили к катастрофическим последствиям. В частности, там отсутствует эксплозивный материал, а также т.н. бомбы и лапилли. Наличие пирокластике пепловой размерности однозначно указывает на определенную дальность извержений. Хотя пеплопады, землетрясения, кратковременное похолодание и др. явления, конечно же, имели место.

### ОБ АВТОРАХ:

**Нани Асланикашвили**, доктор геолого-минералогических наук, зав. отделом в Кавказском институте минерального сырья, г. Тбилиси. Занимается изучением проблемы вулканизма и биогенеза, формирования залежей углеводородов и углей в вулканогенно-осадочных образованиях и реконструкции палеоклиматов.

**Аслан Суладзе**, ведущий научный сотрудник этого же института. Сфера исследований – геология и геохимия осадочных пород; палеоэкология и экосистемный анализ нижнеплиоценовых бассейнов седиментации Черноморско-Каспийской области.

весьма кратковременны и, за исключением единичных случаев, не распространяются на значительные территории. В областях повышенной вулканической деятельности ландшафтно-климатические процессы приводят к последствиям, имеющим более или менее локальный, кратковременный характер.

Думается, что при подобных обстоятельствах не следует интерпретировать однозначно данные палинологии. Спориво-пыльцевый материал может переноситься ветрами на огромные расстояния, и судить по нему о климате именно в местах его обнаружения следует лишь в комплексе с другими индикаторами среды. Палеонтологические находки также не позволяют точно определить палеоклимат. Так, обнаружение останков, например, жителей саванны, вовсе не означает, что процессы аридизации имели место именно на данной территории, а не на со-

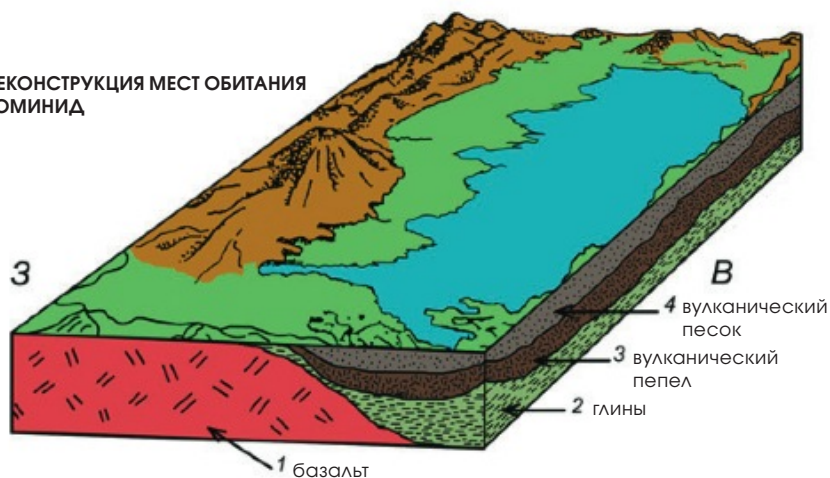
предельной, откуда животные могли приходить, допустим, на водопой.

В разрезах Олдувайского ущелья туфы перемежаются с покровами базальтовой лавы и с озерными глинами, в которые заключено огромное количество костных фрагментов. Судя по всему, речь идет о бентонитовых глинах, поскольку именно в них, как правило, превращается в процессе диагенеза вулканокластике базальтоидного состава в щелочных условиях (в описаниях местности упоминается о существовании соленых озер). Из этого следует, что археологический материал, заключенный в их слое, изначально был засыпан вулканическим пеплом, так же, как антропологические находки, обнаруженные в пустыне Хадар. Однако в последнем случае из-за отсутствия соответствующих условий пепел не подвергся изменению.

Во время раскопок в пустыне Хадар были найдены кости 13 осо-

Судя по захоронениям гораздо более позднего периода, накопленный опыт помог древним людям найти относительно безопасное место – они начали селиться в известняковых, доломитовых и песчаниковых пещерах.

### РЕКОНСТРУКЦИЯ МЕСТ ОБИТАНИЯ ГОМИНИД



бей. Ученый Ян Линдблад в 1991 г. предположил, что они погибли, отравившись вулканическим газом. Но подобное возможно лишь на относительно небольшом расстоянии от действующего кратера, и вряд ли разумное существо (за исключением разве что вулканолога) посмеет приблизиться к нему по собственной воле. Судя по тому, что на месте раскопок отсутствует крупнообломочная пирокластика, стоянка гоминид находилась довольно далеко (см. врез на стр. 69) от действующих центров, а потому отравление газом маловероятно.

Исключительный интерес представляют находки профессора анатомии из Йоханнесбурга (ЮАР) Раймонда Дарта в известняковых пещерах Южной Африки, где огромное количество (порядка 150 тыс.) фрагментов костей, в том числе гоминид и павианов, оказались заключены в брекчию – сцементированную обломочную горную породу. Из 42 разбитых черепов павианов у 27 (64%) повреждена левая сторона. Ученый строил разные гипотезы, но с самого начала отверг возможность появления подобных повреждений вследствие обвала породы в пещере.

Думается, что причины бедствий живых существ следует искать в геологических процессах той эпохи. Как можно видеть на схеме (см. врез на стр. 69), вулканические центры мио-плиоценового и плейстоценового возрастов расположены к западу и юго-западу от стоянок древних людей. Наличие многочисленных слоев пепла в разрезах свидетельствует о периодических извержениях вулканов, как правило,

сопровождавшихся сильнейшими и многократными землетрясениями. Таким образом, гоминиды, как и другие представители животного мира, оказывались в весьма неблагоприятной обстановке и вынуждены были в страхе спасаться бегством. Ведь представители животного мира гораздо раньше современного цивилизованного человека чувствуют приближение природных катастроф – будь то землетрясения, извержения вулканов и пр. Поэтому нет ничего удивительного в том, что африканские гоминиды остро чувствовали опасность и «в своем неясном стремлении имели осознанность верного пути» (Гете, «Фауст»).

Надо думать, большого выбора пути у них не было – единственно безопасной была дорога на север, так как с востока их окружала цепь озер, а южное направление из-за геоморфологических и гипсометрических особенностей ландшафта было труднодоступно. Если в пути им грозила опасность, они, вероятнее всего, укрывались в тех же пещерах, что служили убежищем животным. Возможно, этим и объясняется тот факт, что во многих пещерах обнаруживается большое количество костных останков самых разных представителей фауны. Можно также предположить, что павианы, о которых речь шла выше, могли получить травмы левой стороны черепа именно во время

бегства, поскольку очаги вулканических извержений располагались именно с левой стороны – к западу от выбранного ими пути.

В пользу такой гипотезы говорят и обнаруженные М. Лики в Летоли (Танзания) следы гоминид на вулканическом пепле. Изучив отпечатки, ученые заключили, что стопы этих существ были хорошо приспособлены для прямохождения, однако большой палец не так хорошо развит, как у современного человека, прилежного ходока, и, если бы предки человека сразу приспособились к передвижениям в саванне, стопа должна была бы подвергнуться более сильным изменениям.

Существует еще один нерешенный вопрос, связанный с переходом гоминид на прямохождение. Ученые сходятся на том, что наши предки научились ходить на двух ногах миллионы лет раньше, чем взялись за работу, более того – встав на задние конечности, они освободили передние для труда. Но зачем понадобилось, спустившись с деревьев, выбирать столь странный способ передвижения? Можно предложить следующую гипотезу. Частые извержения вулканов, летящий при этом пепел и камни, естественно, доставляли обитателям этих мест значительные неудобства и наносили им серьезные травмы. Естественная реакция живого существа, во-круг которого падают тяжелые ▶



На территории Восточной Грузии древние люди селились в преимущественно в песчаниковых пещерах

древнего человека обнаружены на Левантийском рифте – ветви Афаро-Красноморской рифтовой зоны.

Мысленно прослеживая путь наших странников через Армянское вулканическое нагорье, приближаемся к стоянке Дманиси. Обнаруженные там ископаемые останки гоминид (их возраст, по самым последним данным, составляет 1,78 млн. лет) свидетельствуют о том, что они начали уходить из Африки еще до того, как на Земле появился *Homo erectus*.

По свидетельствам специалистов, ни в одном другом месте планеты ученым не доводилось еще сталкиваться с таким обилием древних человеческих костей и инструментов на таком ограниченном (150 м<sup>2</sup>) участке.

Согласно данным известного палеонтолога профессора А.К. Векуа (Грузия) – первооткрывателя дманисских гоминидов, в раскопе Дманиси выделяются шесть слоев. Самый нижний лежит непосред-

предметы, – уклониться и, прежде всего, заслонить голову, что, согласитесь, невозможно, если при этом одновременно бежать на четвереньках. Если учесть, что раскаленные продукты извержения – обломки кристаллов, пепел и др. – в первую очередь поражают именно деревья, то спуск на землю с горящих ветвей представляется единственно правильным поступком – адекватной реакцией древожителей. Частые землетрясения (в районах современного вулканизма за день происходит порядка ста толчков различной силы), несомненно, превращали их существование в настоящий ад. В дальнейшем они по своему горькому опыту должны сторониться деревьев и подыскивать себе другую, более безопасную экологическую нишу.

Напротив, вдали от горячих участков представители семейства приматов, не оказывавшиеся лицом к лицу с опасностью, миллионы лет жили и живут поныне, не меняя своих привычек.

Следовательно, можно предположить, что спуск с деревьев и переход на прямохождение был спонтанным, вынужденным действием, обусловленным экстремальными условиями.

Трудно сказать, насколько массовым был исход гоминид в иные зем-

ли. Конечно же, какое-то количество индивидов все же осталось, выстояло и рассеялось по другим территориям африканского континента. (В пользу этого указывают находки трех окаменелых черепов возрастом около 160 тыс. лет, обнаруженных в ходе раскопок в Эфиопии. Считают, что это древнейшие из всех известных ныне останков *Homo sapiens*.)

Однако, судя по географии более поздних захоронений, чаще всего

они оказывались в тех же условиях, что и в покинутых владениях. Дело в том, что в вулканических областях обычно складываются благоприятные ландшафтно-климатические условия: наличие воды и плодородной почвы, богатая растительность, обилие пищевых ресурсов, многочисленные пещеры, предоставляющие естественное убежище.

Можно предположить, что дальнейший путь беглецов должен был пролегать на северо-восток, по направлению развития рифтовых долин. Следы присутствия

Вероятно, страх – основной инстинкт всех живых существ – вынуждал древних людей сниматься с насиженных мест и пускаться в долгие походы в поисках безопасности.

ственно на базальтах и представляет собой плотный вулканический песок черного цвета. Он содержит свежие, неокатанные обломки базальтов, указывающие на то, что накопление осадков здесь началось вскоре после извержения лавы. В этом слое на глубине 4 м обнаружен фрагмент нижней челюсти носорога и его коренной зуб. Следующий слой состоит из суглинков с прослойками песка и глины. Именно там обнаружены черепа гоминид, многочисленные останки позвоночных и каменные орудия труда. Четвертый

пласт образован суглинками и также содержит множество артефактов. В третьем слое – известковой корке – находок практически нет. Во втором пласте обнаружено много каменных изделий, но останков позвоночных мало.

Раскопки свидетельствуют о том, что стоянки древних людей были расположены на сравнительно близком расстоянии от очагов извержений, и естественно, обитатели этих мест должны были испытывать воздействие вулканической активности и сопутствующих явлений. Важно и то, что кости дманисских позвоночных не несут сколько-нибудь заметных следов окатанности.

Поражает наличие огромного количества позвоночных на месте обитания людей. Однако животные, скорее всего, оказались здесь несколько позднее. Такое скопление костей различных представителей животного мира на небольшом участке заставляет предположить, что их приход был вызван каким-то экстремальным событием. Другое объяснение трудно найти, так как невозможно поверить в сосуществование людей и такого количества (найденно больше 2000 фрагментов) зверей, в том числе хищников.

Судя по останкам, местная фауна была весьма разнообразна – тут жили страусы, грызуны, слоны, этрусские волки и этрусские медведи, мегантереоны, олени, быки и др. Данные палинологии свидетельствуют и о богатой флоре.

В аналогичных образованиях (стоянка Дилиски, Грузия) озерного происхождения обнаружен целый комплекс диатомитов, содержащих элементы водорослей (диатомов), распространенных в теплых водах (*Rhopalodia gibba*, *Ellerbeckia arenaria*, *Fragilaria brevistriata*). А в слоях, расположенных над верхними лавами, представлены виды, характерные для холодных вод. Возможно, этот факт свидетельствует не о различных глубинах их обитания в древнем мелководном озере



(о том, что это было именно озеро, говорит небольшая мощность отложений), а о термическом режиме вод. А в соседней Армении, в толщах, относящихся к плейстоцену, также обнаружены следы многочисленных небольших озер вулканического происхождения, в осадках которых присутствие диатомитов связывается с гидротермальным процессом при участии вулканического пепла.

Все вышесказанное может свидетельствовать о том, что место обитания гоминид по своим ландшафтно-климатическим особенностям относилось к тропикам или субтропикам и выгодно отличалось от окружающей местности, которая скорее напоминала саванну.

Согласно палеовулканологической реконструкции, центры извержений располагались в нескольких десятках километров к западу от Дманиси. Можно предположить, что обитающие там животные, спасаясь от потоков раскаленной лавы, направлялись к воде – вероятно, к озеру, поскольку вряд ли в ту эпоху существовали реки в их нынешнем течении. Судя по мощности разрезов в ущельях рек Машавера и Пиназаури, формирование современной орографической сети произошло гораздо позднее.

Существует еще одна важная деталь. На месте раскопок обнаружено

В известняковых пещерах Абхазии (Западная Грузия) известны многочисленные стоянки древних людей. По обилию и богатству находимого здесь каменного инвентаря данная территория считается одним из значительных очагов древней каменной культуры на Кавказе.

более тысячи единиц каменных орудий. Вряд ли такое количество предметов принадлежало небольшой группе гоминид. Вероятно, основная часть обитателей внезапно покинула эти места. Поскольку климат не мог резко измениться за короткий промежуток времени, остается предположить, что исход, как и в предыдущих случаях, стал вынужденным.

География расселения гоминид в пределах африканского континента и на сопредельных территориях не ограничивается рифтовыми долинами. Пример тому – Южно-Африканские известняковые пещеры, расположенные за пределами рифта, в зоне развития плиоцен-плейстоценового вулканизма.

Таким образом, можно заключить, что вулканические палеоландшафты и соответствующие им экосистемы были средой обитания самых ранних представителей семейства приматов и их потомков (см. рис. на стр. 71). Этим и объясняется тот факт, что абсолютное большинство известных на сегодня захоронений сосредоточено в районах плиоцен-плейстоценового вулканизма, а не только в районах рифтовых долин. Следовательно, в ряду причин, повлиявших на быт и поведение первых людей в самых различных концах Земли, вулканизм наверняка был важным, а подчас и определяющим событием, способным повлечь за собой радикальные изменения.

Вероятнее всего, на определенных этапах развития жизни на Земле основной движущей силой эволюционного процесса был экстрим, определявший его скачкообразный характер. ■



# к насущным проблемам энергетики

**Ж**изнь любого мегаполиса в мгновение ока может выйти из-под контроля. Каскадные отключения электроэнергии в США и Канаде в августе 2003 г., в результате которых пострадали более 50 млн. человек, московская энергоавария в мае 2005 г. стали ярким примером того, какими серьезными последствиями для экономики оборачиваются сбои в энергосистемах. Механизм регулирования процессов жизнедеятельности городского хозяйства оказался уязвимым. Необходимы конкретные шаги для стабилизации обстановки. Поэтому перед современной экономикой стоит важнейшая задача – повышение надежности энергоснабжения.

Большая энергетика, являясь сегодня основой промышленного и социального развития, а также одной из самых науко- и капиталоемких отраслей экономики, испытывает серьезные трудности. Резкий рост стоимости топлива и требования к экологическим показателям создали условия, вынуждающие внедрять высокоэффективные технологии производства

электроэнергии с электрическим КПД ( $\eta_e$ ) 50% и более. Проектируемые крупные паротурбинные установки со сверхкритическими параметрами на входе ( $T_0 = 600^\circ\text{C}$ ,  $P_0 = 25$  МПа) имеют коэффициент полезного действия  $\eta_3 < 43\div 44\%$  в конденсационном режиме.

В Европейском союзе разрабатывается проект с пароводяным циклом с суперкритическим давлением и начальной температурой до  $800^\circ\text{C}$ . Планируется достичь  $\eta_3$  55%.

Паротурбинные установки малой и средней мощности до 25 МВт на высокие параметры ( $T_0 = 500^\circ\text{C}$ ,  $P_0 = 10$  МПа) имеют  $\eta_3 < 32\div 34\%$ .

Изготавливаемые и проектируемые газотурбинные установки российских производителей в диапазоне до 25 МВт (э) имеют электрический КПД, не превышающий  $30\div 35\%$ , а установки иностранных производителей – до  $36\div 39\%$  с начальной температурой рабочего тела до 1700 К.

Крупные (более 300 МВт) парогазовые установки (ПГУ) при работе паровых турбин в конденсационном режиме имеют  $\eta_3$  50...55%. Осуществляется проектирование установок с  $\eta_3$  60%.

ПГУ малой и средней мощности до 25 МВт на современном уровне развития науки и техники имеют электрический КПД не более 45%.

В России, в Санкт-Петербурге, создана единственная крупная электростанция с парогазовым циклом мощностью 450 МВт с  $\eta_3$  около 50%. В декабре 2004 г. была запущена в опытно-промышленную эксплуатацию парогазовая Сочинская ТЭС (Краснодарский край) средней мощностью 78 МВт с расчетным  $\eta_3$  до 50%.



Однако внедрение этих технологий требует значительных материальных затрат.

Повышение КПД электрогенерирующих установок планируется осуществлять также за счет использования высокотемпературных топливных элементов, устанавливаемых перед парогазовыми установками. Предполагается, что на крупных установках подобного типа электрический КПД может достигнуть 75%. Однако проектный ресурс работы топливных элементов сегодня не превышает 5000 тыс. часов, а их единичная мощность – 200 кВт.

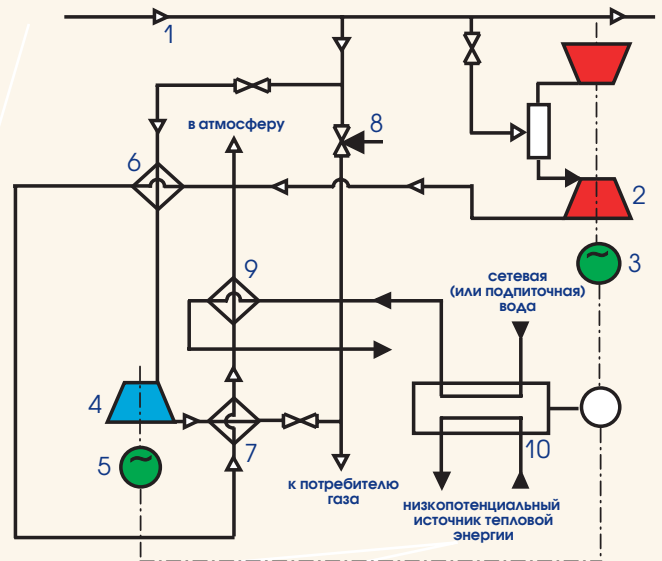
В то же время стало очевидно, что подключение потребителей к крупным энергосистемам не дает 100%-ной уверенности в том, что серьезных аварий можно избежать.

## Автономные источники теплоснабжения

**К**омплекс превентивных мер, подразумевающий модернизацию оборудования и контроль над его состоянием в данной ситуации недостаточен. Необходимо создать механизмы, которые позволят муниципальным энергосистемам действовать автономно, в том числе и при авариях в центральной энергосистеме.

Автономные источники теплоснабжения (АИТ), по сравнению с другими системами, обладают рядом преимуществ. Главный упор делается на максимальное использование энергии, заключенной в органическом топливе и низкопотенциальных источниках тепла с температурой 8÷30°C (реки, озера и т.д.). Использование для этой цели тепловых насосов увеличивает коэффициент использования топлива (КИТ) системы в 2–3 раза.

Современные отопительные котлы и парогенераторы, использующие природный газ, имеют высокие КПД (отношение отпущенного тепла и тепла сожженного газа) на уровне 92÷94%. Новая технология, предложенная в проекте, призвана не только максимально эффективно использовать низкопотенциальную



энергию окружающей среды, снижая затраты на природное топливо, но и вырабатывать при этом и электроэнергию. Одновременно повышается надежность теплоснабжения: электрогенератор в котельной обеспечивает запуск автономного источника теплоснабжения при аварии в системе централизованного электро-снабжения.

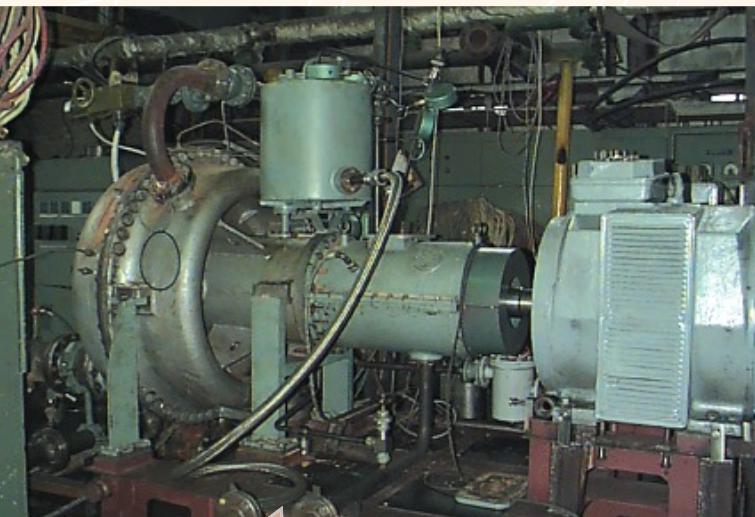
Принципиальная схема комбинированной установки для производства электроэнергии и тепла с использованием природного топлива и газорасширительной турбины, а также теплового насоса.

## Эффективность комбинированной установки

**М**ногие российские и зарубежные компании производят котельные установки в диапазоне мощностей от 0,5 до 50 МВт. По экспертным оценкам, проведенным специалистами Федерального агентства по науке и инновациям, ОАО «Газпром», Московского энергетического института, ЗАО НПВП «Турбокон», такой диапазон наиболее перспективен на рынке предлагаемых технологий.

Все эти факторы определили выбор специалистов автономной некоммерческой организации «Центр энергетической политики» (ЦЭП). В результате родилась идея создать устройство модульного типа мощностью до 50 МВт с высокой энергетической и экологической эффективностью.

Схема комбинированной установки представлена на рисунке (см. стр. 75). Она содержит магистральный газопровод 1, газовую турбину (газопоршневой двигатель) 2 с электрогенератором 3, газорасширительную турбину 4 с электрогенератором 5, теплообменники для подогрева газа 6 и 7, регулятор расхода 8, сетевой подогреватель 9, тепловой насос 10.



Газорасширительная установка мощностью до 300 кВт российского производства.

В работе установки главную роль играют три составляющих: газотурбинная установка, газорасширительная турбина с генератором (детандер – генераторный агрегат), тепловой насос.

Принцип действия системы заключается в максимальном использовании химической энергии и технологического перепада давлений газа, а также низкопотенциальных источников тепла. В результате сгорания газа, поступившего в газовую турбину (ГТУ), выделившаяся энергия приводит в движение электрогенератор. Отработавший газ ГТУ имеет большой запас теплоты: температура его колеблется от 300 до 500°C. Такое тепло полезно можно использовать для работы детандера, который устанавливается на станциях снижения давления.

Природный газ высокого давления в газорасширительной турбине (детандере) играет роль пара в паровой турбине. Таким образом, процесс выработки электроэнергии происходит дважды: сначала в газовой турбине, затем тепловая энергия отработавшего газа создает возможность для работы детандера и производства электричества.

Благодаря тому, что компоненты установки соединены последовательно, выработка электроэнергии проходит одновременно с понижением давления транспортируемого газа с коэффициентом использования топлива (КИТ) 85% и более (только при производстве электроэнергии). Это в 1,5 раза больше, чем у лучших парогазовых установок – наиболее современных устройств для производства электроэнергии, уже запущенных в производство.

Если далее использовать полученную электроэнергию для привода теплового насоса (в 4–5 раз дешевле электроэнергии по сравнению с покупкой), то в результате получим в 2–3 раза больше полезного тепла по сравнению со сжиганием топлива в лучших отопительных котельных.

## История разработок

Специалисты Автономной некоммерческой организации (АНО) «Центр энергетической политики» и Московского энергетического института (Технического университета) уже 10 лет занимаются реализацией идеи автономных источников теплоснабжения. С 1995 г. в контакте с коллегами из Германии российские ученые изучают термодинамику процессов, происходящих в детандер-генераторных агрегатах, определяют эффективность с точки зрения влияния на тепловую экономичность работы электрических станций.

При разработке схемы комбинированной установки специалистам центра помог практический опыт внедрения автономных источников теплоснабжения на предприятиях и объектах жилищно-коммунального хозяйства. Среди последних проектов – разработка концепции перевода на автономное энергоснабжение ресурсов Пущинского научного центра РАН, в ходе которой был проведен энергетический аудит зданий, соотнесены затраты централизованной системы и автономной котельной. По результатам выполненных исследований уже ведется строительство первой очереди блочно-модульных котельных.



Газотурбинная установка мощностью 60 кВт американского производства.

Сегодня ученые «Центра энергетической политики» занимаются разработкой идеи автономных источников теплоснабжения в рамках федеральной целевой научно-технической программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники». Сотрудничество с коллегами Закрытого акционерного общества Научно-производственного внедренческого предприятия «Турбокон» позволяет на основе разработанного ими комплекта конструкторской и проектной документации перейти к монтажу опытного образца на полигоне предприятия.

## Что мешает?

**Д**ля того чтобы создать высокоэффективную установку, имея за плечами патент на изобретения, авторам проекта предстоит решить ряд задач, позволяющих встать на путь инновационного развития технологии.

Во-первых, необходимо найти производителей высокоэффективного оборудования. Сегодня предполагается использовать несколько основных агрегатов российского и американского производства.

На рисунках (см. этот разворот) показаны электроагрегаты, которые предполагается использовать в новой технологии: газорасширительная и газовая турбины.

Во-вторых, необходимо найти инвесторов на приобретение оборудования (Роснаука финансирует лишь проведение научных исследований). Ведутся переговоры с Калужским отделением СБ РФ.

Третья задача: где установить и эксплуатировать установку. Первый наукоград России – Обнинск, в котором зародилось и воплощалось большое количество научных идей в области энергетики, – стал бы для этого наиболее удачным местом.

По предварительным оценкам, рынок сбыта новых технологий может достигать 4÷4,5 млн. кВт, что составляет около 3% мощностей РАО «ЕЭС России».

Несмотря на то что крупная энергетика играет основополагающую роль, необходимо интенсивно внедрять энергосберегающие технологии комбинированного производства электроэнергии и тепла непосредственно у потребителей, используя тепловые двигатели малой и средней мощности.

**ТАТЬЯНА БАРХАТОВА**

# НОВЫЕ ПОДХОДЫ для лечения СПИДА

Сегодня наиболее распространенные и опасные вирусные инфекции – это ВИЧ и гепатит. Эпидемиологическая ситуация последнего десятилетия в России характеризуется прогрессирующим увеличением числа больных СПИДом. На начало 2005 г. в нашей стране зарегистрировано более 300 тысяч ВИЧ-инфицированных. Однако есть все основания полагать, что их реальное число достигает одного миллиона.

Борьба с вирусными инфекциями в настоящее время становится одной из главных задач медицины. Для лечения вируса иммунодефицита человека в мире зарегистрировано около двадцати препаратов. По механизму действия и особенностям химического строения они разделяются на три группы: нуклеозидные ингибиторы обратной транскриптазы, ненуклеозидные ингибиторы обратной транскриптазы и ингибиторы протеазы. Для проведения терапии, как правило, используются комбинации из этих лекарств.

Несмотря на солидный перечень коммерческих препаратов, ученые всего мира

продолжают разрабатывать все новые и новые противовирусные средства. Годовая стоимость лечения одного больного составляет \$5 тыс. При этом использование всех указанных лекарств и их комбинаций не позволяет полностью излечить человека, а только препятствует прогрессированию заболевания и предполагает проведение пожизненной терапии.

Принципиально новым и наиболее перспективным направлением лечения ВИЧ-инфекции сегодня является генотерапия. В результате реализации этого подхода возможно как полное излечение больных СПИДом, так и создание популяции, устойчивой к данному вирусу. Основа современной генотерапии – применение природных механизмов клетки, регулирующих экспрессию генов. На сегодняшний день наиболее изучены механизмы эпигенетического сайленсинга генов (от англ. *silence* – молчание). К ним относятся РНК-интерференция (древний защитный механизм, блокирующий работу строго определенных генов и не позволяющий им работать) и хромосомный сайленсинг.



## Новые методы генотерапии

**Р**оссийские ученые из Института молекулярной биологии им. В.А.Энгельгардта РАН (Москва) предложили использовать РНК-интерференцию для блокирования экспрессии генов ВИЧ-1. Совместно с Государственным научным центром вирусологии и биотехнологии «Вектор» (Новосибирск) были получены первые генетические конструкции, способные с помощью РНК-интерференции ингибировать продукцию ВИЧ-1 в клетках человека. Результаты исследований были доложены бывшему в то время министру здравоохранения США Томасу Томсону во время его визита в Россию в 2004 г. и получили высокую оценку. Сегодня группа этих исследователей совместно со специалистами из Новосибирского государственного университета разрабатывает новые подходы для генотерапии СПИДа. Цель ученых – создание генетических кассетных конструкций, предназначенных для экспрессии малых интерферирующих РНК (siРНК). Эти siРНК, имеющие длину в 21 нуклеотид, служат «наводчиками», которые узнают только мРНК вируса и вызывают их деградацию. Оказалось, что лишь немногие siРНК биологически активны. Одна из основных задач проекта состоит в выявление экспериментальным путем наиболее активных последовательностей siРНК.

Преимущество данного подхода заключается в том, что он может быть использован для сайленсинга любых генов, вовлеченных в развитие патологии, а также позволяет разработать средство, пригодное как для лечения уже заболевших людей, так и для создания популяции, невосприимчивой к ВИЧ.

В отличие от зарубежных лабораторий, проводящих аналогичные исследования и применяющих для оценки противовирусного эффекта молекулярные клоны ВИЧ-1, в работе российских ученых по тестированию siРНК использовались лабораторные вирусные штаммы. Проведение таких исследований более трудоемко, так как предполагает работу с живым вирусом. Тем не менее подобная модель экспери-

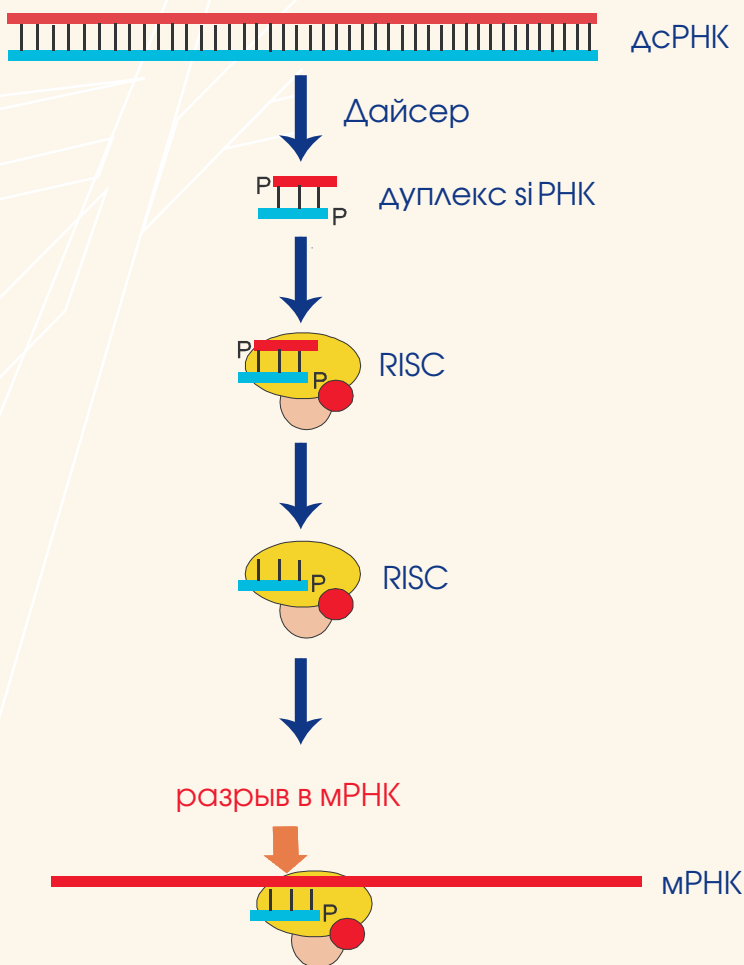


мента наиболее адекватна, если учитывать уникальное свойство вируса иммунодефицита человека – постоянное изменение его генетической структуры. Ученые уже доказали, что различные вирус-специфические siРНК обладают разной эффективностью подавления репродукции ВИЧ-1 на культуре клеток человека. Созданы две генетические конструкции, которые кодируют пока только две (отобранные из многих) siРНК, эффективно ингибирующие продукцию вируса.

## Новые генетические конструкции

**Р**НК интерференция – природный механизм, обеспечивающий физиологическую регуляцию работы генов, а также защиту клеток от экспрессии чужеродной ДНК и РНК. Она отвечает за мощное и специфическое подавление экспрессии генов, транскрипты которых вовлечены в образование дуплексов РНК. Ключевым элементом в механизмах РНК-интерференции служат так называемые малые интерферирующие РНК (siРНК). Они обеспечивают узнавание молекул РНК, вовлеченных в образование дуплексов, а комплекс белков, в который входит siРНК, нарезает данные РНК до размеров siРНК (см. рисунок). В результате данный вид РНК практически полностью деградирует и экспрессия соответствующего гена блокируется.

В клетке чужеродные или «неправильные» дуплексы РНК (дсРНК) запускают мощный механизм РНК-интерференции. На первом ее этапе белок Дайсер нарезает дсРНК на «кубики», содержащие короткие 21-нуклеотидные фрагменты РНК. Затем такие кубики захватываются комплексом белков – RISC (*RNA induced silencing complex*). В нем дуплекс коротких РНК расплетается, и лишь одна цепь siРНК остается в нем. Далее RISC ведет сканирование молекул РНК клетки, с помощью siРНК-наводчика находит комплементарную последовательность нуклеотидов в соответствующей мРНК и разрезает ее.



Российские ученые планируют создать эффективно работающие генетические конструкции, так называемые кассеты. Они способны кодировать набор siРНК, подавляющих продукцию ВИЧ-1 в клетках человека, несмотря на появление нуклеотидных замен в каких-то отдельных мишенях вируса. Данные об эффективных siРНК позволяют также выбрать их последовательности для химического синтеза олигонуклеотидов ДНК и РНК.

Основным фактором, определяющим эффективность siРНК как эффективного «наводчика», служит правильный выбор мишеней – последовательностей в геноме ВИЧ-1. Для выбора наиболее перспективных мишеней ДНК ВИЧ-1 синтезируются олигонуклеотиды ДНК, соответствующие различным областям вирусного генома, и создаются конструкции, которые обеспечивают экспрессию siРНК в клетках.

Затем проводится функциональный анализ активности siРНК-конструкций в первичных векторах, способных экспрессировать РНК-шпильки, из которых в клетках образуются siРНК. Для такого анализа российские специалисты создали тест-систему, позволяющую регистрировать интерференцию, направленную на определенные районы вирусного генома. В Институте молекулярной биологии исследователи применяют безвирусную систему, в которой в качестве репортерного гена используется ген люциферазы из коралла, слитый с выбранным фрагментом генома ВИЧ-1, а также ген люциферазы светлячка. При ко-трансфекции с первичными конструкциями, кодирующими siРНК, эффект РНК-интерференции регистрируется по снижению свечения репортерной коралловой люциферазы. А экспрессия светлячковой люциферазы служит внутренним контролем.

Применяя такую систему, можно провести скрининг различных конструкций и получить количественные данные об эффективности РНК-интерференции. Несомненное достоинство подхода состоит в том, что он не требует работы с вирусом, а предполагает использование лишь разных коротких областей его генома, полученных с помощью ПЦР (полимеразной цепной реакции).

## Кассетные конструкции

**Д**ля вируса иммунодефицита человека первого типа характерно быстрое возникновение и отбор мутантных вариантов, обладающих резистентностью к различным противовирусным препаратам. Для решения проблемы вирусной изменчивости ученые разработали и создали кассетные конструкции, стабильно экспрессирующие одновременно несколько siРНК. Затем, после оценки экспрессии сложных кассетных конструкций в безвирусной системе, разработчики использовали вирусную модель — культуру клеток человека, инфицированную различными штаммами ВИЧ-1, в частности, штаммами, репродуцирующимися по типу острой и хронической инфекции. Такой подход позволяет проводить исследования, приближенные к реальным процессам развития ВИЧ-инфекции в организме. Применение лабораторных штаммов ВИЧ-1 (в отличие от молекулярных клонов вируса) дает возможность оценивать влияние интерферирующих РНК на естественный пул вирусной популяции, заведомо обладающий

генетическим разнообразием. Это также допускает проведение более объективной оценки противовирусной эффективности генетических конструкций.

Эффективность влияния различных конструкций ДНК и РНК оценивается по их способности подавлять репродукцию вируса в культуре клеток человека. Имея большой опыт работы по исследованию влияния различных противовирусных препаратов на репродукцию ВИЧ-1, российские ученые широко используют разработанную ими

тест-систему для количественного определения вирусного антигена р24, которая позволяет достоверно оценивать интенсивность развития ВИЧ-инфекции в клетках.

Возможно, в скором будущем уже начнется работа по практическому использованию полученных результатов в генотерапии СПИДа. Достоинство разработанного метода состоит в использовании биологических данных об эффективных последовательностях siРНК для экспрессии этих siРНК *in vivo*, а также для химического синтеза биологически значимых последовательностей в виде модифицированных препаратов РНК. Разработка российских ученых — это новый подход к лечению ВИЧ-инфекции.

## О федеральной целевой научно-технической программе «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники на 2002–2006 годы»

**Михаил Алфимов**, председатель Российского фонда фундаментальных исследований, академик РАН:

«Есть еще один важный положительный фактор реализации ФЦНТП. Научное сообщество — это самоорганизующаяся структура, она начинает ориентироваться на то, что названо приоритетом. Академическая и вузовская наука имеют другие источники финансирования, но государство дало им сигнал, где требуются знания. На мой взгляд, схема менеджмента Программы выстроена правильно. Так построены системы госзаказа в научно-технической сфере во всех передовых странах».



## госпремия за фундаментальный труд

Выход в свет «Новой философской энциклопедии», безусловно, стал заметным событием в интеллектуальной жизни России. Фундаментальное научно-справочное и аналитическое издание, выпущенное Институтом философии РАН и Национальным общественно-научным фондом, было подготовлено в рекордно короткие сроки – всего за два года. Над статьями (а их около 5000) трудились более 300 крупнейших отечественных и зарубежных ученых. Руководили проектом академик В.С. Степин и Г.Ю. Семигин. В 2004 г. книга была удостоена Государственной премии РФ.

Читатель найдет здесь не краткие и сухие ответы на вопросы, а глубоко продуманные концепции, стройную систему сведений по всем значимым направлениям мысли, в

том числе таким, как структура научной теории, идеалы и нормы научного познания и т.д. Четыре тома энциклопедии представляют самый полный и основательный свод философских представлений, от отдельных понятий до научных комментариев к классическим философским произведениям. Новое издание дает четкое представление о современной всемирной философии, отражая и то новое, что привнесено в нее постмодернистскими течениями. Оно не только суммирует накопленные данные, но осуществляет подлинный исследовательский прорыв в ряде областей, в частности, в таких, как античная и средневековая философия, восточные учения, философия науки, этика.

Издание сопровождается указателями по европейской, арабско-мусульманской, индийской, китайской



**Новая философская энциклопедия:**  
В 4-х томах. – Т. 1, 2000 г., 722 с.; т. 2, 2001 г., 636 с.; т. 3, 2001 г., 649 с.; т. 4, 2001 г., 606 с. – М.: Мысль, 2001.

философиям, хронологическими таблицами по античности, позднему Риму и Средневековью, новому и новейшему времени, XX в.

## цена культурного прогресса



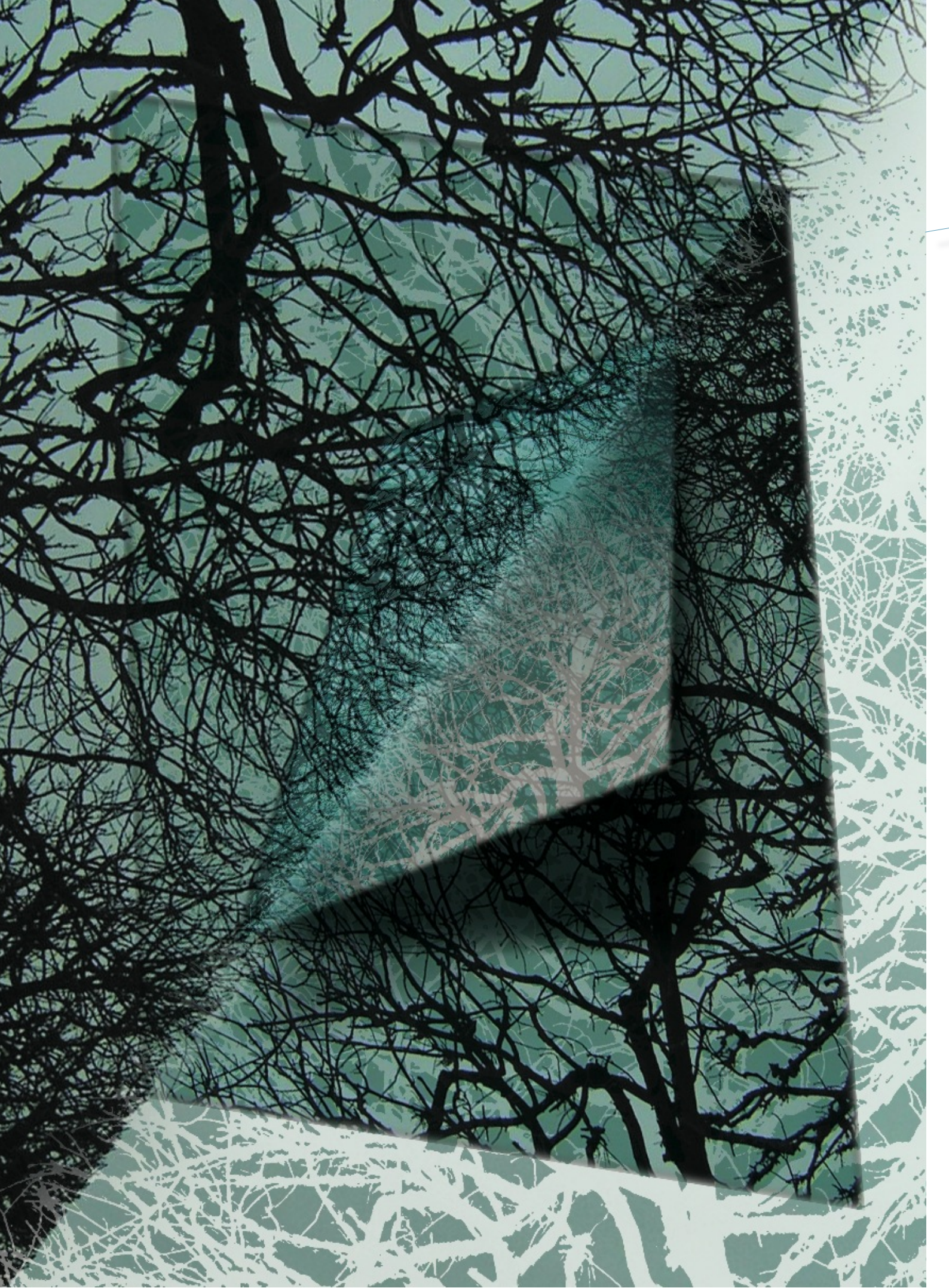
**Миронов В. В. Философия и метаморфозы культуры.**  
Монография. – М.: Современные тетради, 2005 г.

«Человечество уходит от одних традиций и вырабатывает новые. Так же как оно меняет одежду и привычки, ритуалы и формы общения, оно меняет формы коммуникации. Приращение культурных ценностей должно опираться на традиции для сохранения культурного смысла ценностей, ... которое всегда осуществляется через критику традиций и отбрасывания старых ценностей», – размышляет автор монографии, профессор В.В. Миронов, вице-президент Российского философского общества. Как в современном динамичном и прагматичном мире, который стремительно меняет приоритеты и моральные ориентиры, выделить «псевдокультурные» или внекультурные компоненты? Где та грань, за которой неизбежные

и закономерные изменения мировосприятия могут привести к крушению культуры? Какова при этом роль науки? Ответы на эти и многие другие вопросы гуманитарного и мировоззренческого характера пытается нащупать автор книги.

В.В. Миронов последовательно и объективно рассматривает основные социокультурные факторы, влияющие на формирование представлений о философии и науке, анализирует, как исторически менялось их восприятие человеком, как создавались метаморфозы бытия культурных пластов.

Монография предназначена не только специалистам – философам и культурологам, но и всем, кому небезразлична судьба духовных и нравственных ценностей цивилизации.



Алексей Иваницкий

# СОЗНАНИЕ и МОЗГ

Сознание человека – это его жизнь, состоящая из бесконечной смены впечатлений, мыслей и воспоминаний.

Возникновение сознания – одна из величайших тайн природы, над разрешением которой не одно тысячелетие бьются физики и писатели, философы и священнослужители, медики и психологи. В последние годы накопление знаний о работе мозга происходит очень быстро. Поэтому наука вплотную подошла к решению загадки сознания. Каков же современный взгляд на соотношение сознания и процессов, происходящих в мозге? Ответить на этот не только естественно-научный, но и философский вопрос в передаче «Очевидное–невероятное» попытался член-корреспондент РАН, доктор медицинских наук, руководитель лаборатории высшей нервной деятельности человека Института высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН Алексей Михайлович Иваницкий.

Сознание человека – есть, по существу, его жизнь, состоящая из бесконечной смены впечатлений, мыслей и воспоминаний. Загадка нашего мозга многопланова и затрагивает интересы многих наук, исследующих тайны бытия. Один из главных вопросов – как сознание связано с мозгом. Данная проблема находится на стыке естественно-научного и гуманитарного знания, поскольку сознание возникает на основе происходящих в мозге процессов, но

его содержание в значительной мере определяется социальным опытом. Решение этой головоломки могло бы перекинуть мост между двумя основными видами научного познания и способствовать созданию единой картины мироздания, органично включающей человека с его духовным миром. Вероятно, такова высшая цель науки, достижение которой необходимо для удовлетворения присущего человеку стремления к всеобъемлющему знанию. Но велико и практическое значение данной проблемы для медицины, образования, организации труда и отдыха.

Интерес к взаимосвязям сознания и мозга возник давно. Для русской физиологии начиная со времен И.М. Сеченова и И.П. Павлова он в известной мере традиционен. Однако долгое время решение столь сложной проблемы считалось делом отдаленного будущего. Понимание того, что исследование проблемы сознания – насущная задача сегодняшнего дня, пришло к физиологам сравнительно недавно: быстрый прогресс науки о мозге вывел данную тему на первые страницы журналов по нейронаукам. Возникла даже, по образному выражению английского ученого Джона Тейлора, «гонка за сознанием». Прорыв в данной области был во многом связан с появлением методов «изображения живого мозга», ▶

таких как позитронно-эмиссионная томография, функциональный магнитный резонанс и многоканальная запись электрических и магнитных полей мозга. Новейшие приборы позволили увидеть на экране дисплея, какие зоны активизируются при выполнении различных задач, требующих умственного напряжения, а также с большой точностью определять локализацию поражения при заболеваниях нервной системы. Ученые обрели возможность получать соответствующие изображения в виде красочных карт мозга.

С философской точки зрения, можно задать вопрос, насколько правомерно вообще пытаться

Опыт научного познания показывает, что сложное явление, как правило, не возникает из ничего, а развивается в процессе эволюции из более простых форм. То же в полной мере относится и к субъективным переживаниям. Они проходят путь от элементарных проявлений, таких как ощущения и эмоции, к сознанию высшего порядка, связанному с абстрактным мышлением и речью. Если исходить из данных соображений, существует несколько подходов к изучению сознания, которые, однако, не исключают, а взаимно дополняют друг друга, объясняя феномены разной степени сложности. При этом некоторые базисные принципы орга-

### Сознание тесно связано с вниманием: осознается только то, на что обращается внимание.

объяснить движением нервных импульсов то, что мы воспринимаем как цвет или звук. Ощущение – глубоко личное чувство, «внутренний театр» каждого из нас, и задача науки о мозге – понять, какие нервные процессы приводят к возникновению субъективного образа. В то же время загадка человеческой психики по своей методологической сложности не уникальна и стоит в ряду других тайн природы. По существу, возникновение нового качества происходит на каждом этапе принципиального усложнения природных процессов. Примером качественного перехода, сопоставимого по сложности с возникновением сознания, американские ученые Ф. Крик и К. Кох считают зарождение жизни в результате действия цепочек ДНК и ферментных белков. Присущие живым объектам свойства не вытекают непосредственно из физико-химических свойств каждой из этих молекул. Такой пример кажется особенно убедительным в устах Ф. Крика, одного из первооткрывателей генетического кода.

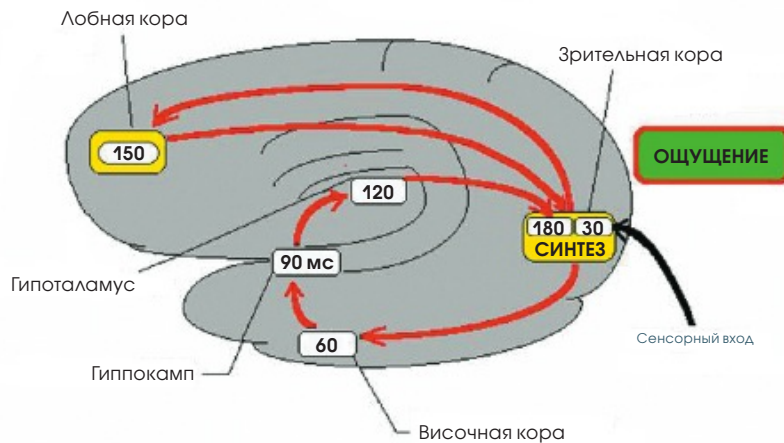
низации нервных процессов, обнаруженные на ранних этапах эволюции психики, постепенно приобретают более сложные формы для обеспечения их высших проявлений.

#### Возврат возбуждения и механизм ощущений

Первый подход к пониманию принципов природы психики основан на идее, что субъективный опыт возникает в результате определенной организации происходящих в мозге процессов и сопоставления в зонах коры новой информации с той, которая извлечена из памяти. Сведения о внешних событиях как бы проецируются на индивидуальный опыт субъекта. Это возникает в результате кольцевого движения возбуждения, которое после дополнительной обработки в других структурах мозга возвращается к местам первоначальных проекций. Впервые такая гипотеза была выдвинута нами в 1970-х гг. в результате исследований мозговых механизмов ощущений. В настоящее время ее разделяют многие специалисты.

Как уже сказано, данная гипотеза была основана на наших исследованиях механизма ощущений. Мы изучали вызванные потенциалы (ВП) мозга, то есть его электрическую реакцию на вновь поступивший сигнал. ВП представляет собой сложное по форме колебание, состоящее из ряда последовательных компонентов, и необходимо было понять, какие информационные процессы мозга они отражают. Анализ данных привел к выводу, что ранние волны ВП связаны с поступлением импульсов в кору по сенсорным путям от органов чувств. Они отражают физические параметры стимула. Поздние волны, вызванные передачей возбуждения от мотивационных центров, характеризуют значимость сигнала. Далее возник вопрос, как данные информационные процессы соотносятся с субъективным опытом. Я обратился к директору Института психологии РАН – в те годы этот пост занимал член-корреспондент АН СССР Б.Ф. Ломов. Его ответ был неожиданным и интересным. Он сказал, что в психологии есть теория, близкая по своим положениям к нашим взглядам. Речь шла о теории обнаружения сигнала, рассматривающей восприятие как результат взаимодействия сенсорного и мотивационного факторов, которые называются, соответственно, показателем сенсорной чувствительности и критерием решения. Интересно, что данный подход позаимствован психологией из техники, в частности, из принципа устройства радаров, состоящих из чувствительного приемника и системы опознавания сигнала.

В ходе дальнейших исследований предстояло сопоставить в одном эксперименте две концепции: физиологическую и психологическую. Трудность заключалась в том, что теория обнаружения работает в области слабых сигналов, близких к порогу, так как вычисления соответствующих индексов восприятия основано на соотношении



**С**интез информации о физических и сигнальных свойствах стимула на нейронах зрительной коры приводит к возникновению ощущения, которое затем опознается, категоризируется при участии лобной коры. Ощущения возникают в результате циклического движения нервных импульсов и синтеза в проекционной коре сенсорной информации со сведениями, извлекаемыми из памяти. Числа в рамках – миллисекунды после предъявления стимула.

правильных и ошибочных реакций. В то же время запись ВП с его ранними волнами требует достаточно интенсивных раздражителей. Было принято решение использовать не абсолютный, а дифференциальный порог. Участник эксперимента должен был различить интенсивность двух близких по силе раздражителей (в одной серии – зрительных, в другой – кожных), при этом записывались ВП мозга на предъявляемые стимулы. Для получения количественных параметров ощущений были использованы методы теории обнаружения сигнала с вычислением двух упомянутых показателей. Затем была получена корреляция между физиологическими и психологическими показателями, причем результаты, в принципе, оказались сходными для зрения и кожного чувства. Как и ожидалось, было установлено соответствие ранних волн ВП с сенсорным фактором психофизики, а поздних – с критерием решения. Несколько неожиданной и поэтому наиболее интересной оказалась взаимосвязь промежуточных волн ВП проекционной коры (куда поступают импульсы от органов чувств) с обоими индексами восприятия, то есть и с показателем сенсорной чувствительности, и с критерием решения. Такая двойная корреляция отражает синтез информации о фи-

зических и сигнальных свойствах стимула на нейронах проекционной коры. Эти волны возникали в ВП через 150–180 мс после стимула.

Принципиально важно, что это время достаточно точно совпало со скоростью возникновения ощущений, полученных ранее в ходе психофизических экспериментов. Еще в 20–30-е гг. прошлого века было установлено, что ощущения появляются только через 100–150 мс после предъявления стимула. При этом использовались методы, основанные, главным образом, на феномене «обратной маскировки». Суть его такова: если после одного слабого стимула через короткий интервал следует второй, более сильный, первый не воспринимается. Постепенно увеличивая промежуток времени между обоими сигналами, можно вычислить момент, когда маскирующий эффект исчезает, так как успевает сформироваться ощущение первого раздражителя. Было установлено, что ощущение появляется примерно через 150 мс после воздействия стимула. Наиболее достоверные данные были, однако, получены, когда в качестве маскирующего сигнала была использована прямая стимуляция коры коротким магнитным импульсом, который прикладывался к коже головы непосредственно над соответствующей

областью коры мозга – полученные результаты практически совпали с приведенными выше. Важно, что магнитный импульс вызывал маскирующий эффект только в том случае, если он воздействовал на затылочную кору, проекционную для зрительных стимулов, то есть только там, где наблюдалась описанная выше двойная корреляция волн ВП с показателями восприятия. Интервал в 150 мс называется «психологическим рефрактерным периодом», и психическое переживание не может быть короче его. Интересно сравнить приведенные показатели с данными физиологии о продолжительности обработки информации на одиночный стимул в зрительной коре, которая составляет около 200 мс (И.А. Шеелев).

На основе данных о физиологическом механизме волн вызванного потенциала и их связи с отделами мозга нами был описан ▶

## ОБ АВТОРЕ:

**Иваницкий Алексей Михайлович**, член-корреспондент РАН, профессор, доктор медицинских наук. Заведующий лабораторией высшей нервной деятельности человека Института высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН.

## ТОПОГРАФИЯ ЦЕНТРОВ СВЯЗЕЙ (ФОКУСОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ) ПРИ ДВУХ ТИПАХ МЫШЛЕНИЯ

**ОБРАЗНОЕ** (опознание эмоций)

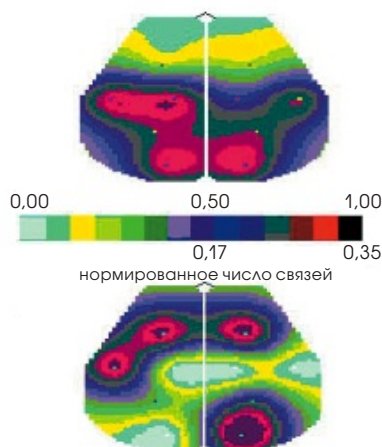


«РАДОСТЬ»

**ВЕРБАЛЬНОЕ** (решение анаграмм)



«БУРАН»



На картах мозга цветом обозначены области коры, в зависимости от нормированного числа подходящих к ним связей. При образном мышлении фокусы расположены в теменно-височной, а при вербальном – в лобной коре. Центр восприятия речи в левой височной коре (зона Вернике) задействован в обоих случаях.

диффузным проекциям обеспечивает и интеграцию отдельных признаков стимула в единый образ. Исследования последних лет показали, что при этом важную роль играет ритм электроэнцефалограммы (ЭЭГ) с частотой около 40 Гц. Именно синхронизация биопотенциалов мозга на определенном ритме создает условия для объединения нейросетей в единую систему, что необходимо для поддержания сознания.

Ощущение относится к достаточно простым психическим феноменам, которые некоторые ученые относят к так называемому первичному сознанию, куда можно отнести и эмоции, в исследование которых выдающийся вклад внес П.В. Симонов. Он впервые предложил формулу, согласно которой сила эмоции Э пропорциональна потребности П, умноженной на разность между сведениями, имеющимися у индивидуума, и теми, что необходимы ему для удовлетворения данной потребности:

$$Э = П (\text{Инф. налич.} - \text{Инф. необх.})$$

Из этой формулы следует, что эмоции, так же как и ощущения, возникают в результате сравнения двух информационных потоков. Здесь действует, таким образом, некоторая универсальная закономерность.

Интерес представляет вопрос, как в ходе эволюции могла возникнуть система возврата возбуждения и сравнения двух информационных потоков. В соответствии с концепцией Н. Хамфри психическое появилось

процесс, обеспечивающий синтез информации (см. врез на стр. 87). Он включает кольцевое движение возбуждения по отделам мозга. Из проекционной коры, получающей сигналы от органов чувств, возбуждение поступает в ассоциативную кору (нижневисочную для зрительных стимулов), где сведения сравниваются с эталоном и опознаются. Затем возбуждение переходит на энторинальную кору, находящуюся на внутренней поверхности височной доли полушарий и имеющую отношение к памяти. Там определяется значимость сигнала, его отношение к той или иной потребности организма. Потом импульсы возбуждения перемещаются в мотивационные центры промежуточного мозга, откуда вновь возвращаются по системе диффузных проекций в кору, в том числе и в зоны первичной проекции. Через 100 мс также возникают связи между проекционной и лобной корой. Такой цикл, продолжительность которого составляет около 150 мс, получил название «круг ощущений». Суть его в том, что он обеспечивает сравнение сенсорного сигнала со сведениями, извлеченными из памяти,

включая данные о значимости полученной информации, что положительно и лежит в основе перехода физиологического процесса на уровень психического, субъективного переживания. В результате возникшее ощущение не только точно передает физические характеристики стимула, но и эмоционально окрашено. Вышеприведенная концепция получила название гипотезы информационного синтеза.

В последующие годы ее подтвердили результаты многих исследований, в том числе данные о топографии отделов мозга, входящих в «круг ощущений», и использование самой идеи возврата возбуждения для объяснения механизмов сознания. Среди наиболее значимых можно назвать работы нобелевского лауреата Дж. Эдельмана, который использовал термин «повторный вход (re-entering)», обозначающий не обратную связь, под которой обычно понимают сигнал коррекции, а поступление дополнительной информации, полученной в результате опроса структур мозга, связанных с функцией памяти и мотивацией.

Помимо информационного синтеза возврат возбуждения по

в результате действия ответвлений отходящих от коры двигательных волокон к направляющимся к коре чувствительным путям, что сделало возможным направленную регуляцию поступающей к коре информации. В более простых системах такой процесс мог происходить на периферии, однако постепенно развились внутрикорковые способы фильтрации исполнительными центрами наиболее значимой для определения поведения информации, которые могли действовать и в отсутствие моторных команд. Н. Хамфри назвал такой механизм «чувственной петлей» (*sentient loop*), что даже терминологически близко к нашему «кругу ощущений».

Говоря о механизмах ощущений, уместно вспомнить слова, сказанные некогда И. Гете: «Если бы я не носил в себе весь мир, я был бы слепцом со здоровыми глазами».

### Сознание и речь. Мышление. Лобная кора

Более сложные психические феномены, в первую очередь связанные с появлением речи, относятся к сознанию высшего порядка. По мнению П.В. Симонова, оно возникло в результате общения между людьми. Данный процесс также связан со специализацией полушарий. Интересное мнение высказал М. Корбаллис: он считает, что речь развилась из необходимости в передаче достаточно сложной информации, причем сначала на уровне обмена жестами. Лишь потом, когда передние конечности оказались заняты орудиями труда, движения рук стали соединяться с голосовыми сигналами, которые постепенно превратились в главное средство общения. Поскольку голосовые центры у многих животных расположены слева, корковые центры речи возникли также в левом полушарии. Одновременно изменились и функции зоны Брока – двигательного центра речи, находящегося у человека в левой лобной об-

ласти. Аналогичные корковые зоны у обезьян имеются в обоих полушариях, но их функция несколько иная: там находятся «зеркальные нейроны», которые управляют действиями, повторяющими движения другой особи («обезьянничанием»). Любопытно, что и у маленьких детей речевые двигательные центры также двусторонни, и повреждение одного из них не приводит к потере речи, как это бывает у взрослых. Говоря о механизмах высших психических функций, особенно мышления, необходимо сказать и о работах Н.П. Бехтеревой и ее школы.

Последние годы прошлого века, объявленные «десятилетием мозга», ознаменовались быстрым накоплением знаний о принципах корковой организации психических функций. С помощью «изображений живого мозга» было установлено, что определенные поля коры отвечают за отдельные когнитивные, мыслительные операции. Однако высшие психические функции возникают в результате объединения специализированных полей за счет корковых связей.

В исследовании связей – центральной проблемы мозговой интеграции – особенно плодотворной оказалась выдвинутая российской нейрофизиологической школой идея, что нервная связь образуется на основе согласования ритмов работы нейронных ансамблей, расположенных в разных отделах коры, что напоминает явление резонанса. При этом нервные импульсы от одной группы нейронов постоянно подходят к другой в повышенной фазе ее возбудимости, то есть возникает явление, до известной степени сходное с «зеленой волной» при движении транспорта. Исследования М.Н. Ливанова и В.С. Русинова установили, что показателем связи является синхронизация ритмов ЭЭГ, включая и отдельные составляющие ее спектра.

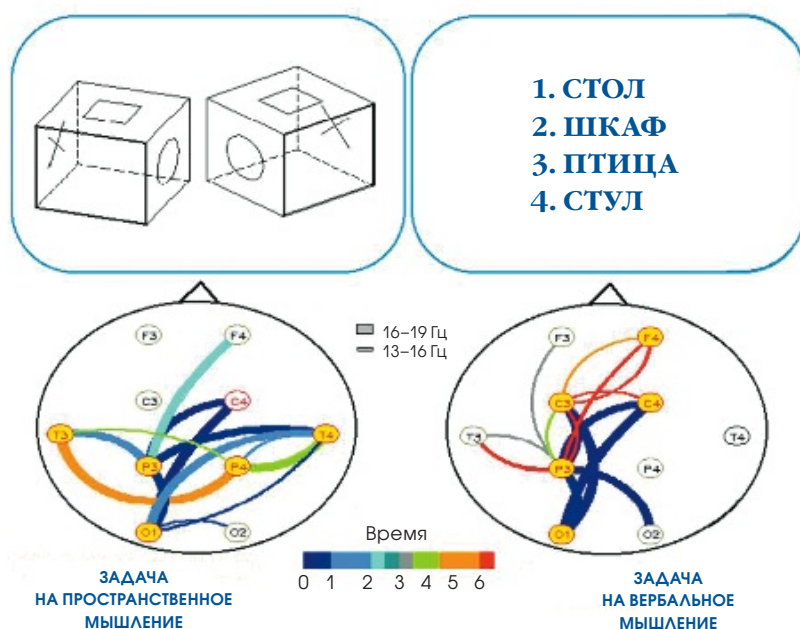
В наших работах по изучению мышления с применением ново-

го метода картирования корковых связей впервые был описан рисунок связей, типичный для разных видов мышления. Испытуемому на экране монитора предлагались задания на образное, пространственное и абстрактно-вербальное мышление, о готовом ответе он сообщал словесно или движением джойстика. При этом проводилась многоканальная запись ЭЭГ в период между постановкой задачи и ее решением.

В результате исследований было установлено, что симметричный в состоянии покоя рисунок связей при решении задачи изменяется: связи начинают сходиться к определенным полям коры, которые были обозначены как фокусы взаимодействия. При этом их топография различается в зависимости от вида мыслительной деятельности. Так, при образном мышлении (допустим, следует определить, какие эмоции выражают лица на фотографиях) фокусы локализовались в теменно-височной коре. При абстрактно-вербальном мышлении (решении анаграмм или категоризации слов) они располагаются в лобной коре (*см. рис. на стр. 88*). При пространственном мышлении, включающем элементы как ▶

### ПСИХИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ

Психическая функция возникает на основе синтеза трех видов информации: исходящей из внешней среды (сенсорной), извлекаемой из памяти и входящей из центров мотивации. Первая определяет связь сознания с внешним миром, вторая связывает настоящее и прошлое, включая личный опыт субъекта, и обеспечивает континуум сознания. Третья посылка связывает реальную ситуацию с удовлетворением определенной потребности, что придает сознанию жизненный смысл и лежит в основе понимания, которого нет у компьютера.



Корковые связи в двух поддиапазонах частот бета-ритма при решении пространственной (слева) и вербальной (справа) задачи. В первом случае исследуемый должен был определить, одинаковы или зеркально симметричны две показанные ему фигуры, во втором – найти слово, относящееся к иной смысловой категории, чем три остальных. Связи показаны по мере их появления в процессе решения задачи, в соответствии с приведенной временной шкалой.

зей, которая захватывала достаточно обширные области коры, затем образовывались более специализированные связи между левой и правой лобной корой. Потом возникали мощные связи между лобной и левой височно-теменной корой. Височная кора, таким образом, активировалась дважды: в первые 100–150 мс после предъявления слова и затем в интервале 185–460 мс. Семантика, то есть значение слова, определяется главным образом в лобной, а не в височной коре. В то же время для определения смысла предложения – элементарной единицы вербального мышления – необходимо взаимодействие лобной коры с зоной, расположенной в левой височной коре Вернике, поражение которой приводит к нарушению понимания речи.

## Запоминание последовательности событий. Декларативная память и гиппокамп. Избирательное внимание

Важным свойством сознания представляется способность удерживать в голове последовательность происходивших событий и произвольно извлекать их из недр памяти. Французский философ Анри Бергсон (1859–1944) называл данное свойство «памятью души», в отличие от «памяти тела», ответственной за двигательные и другие навыки. Современная терминология именует их, соответственно,

образного, так и абстрактного мышления, связи сходились к теменной и лобной коре (см. рис. внизу). Было установлено также, что информация поступает к фокусам из различных отделов коры, имеющих свою специализацию, по связям, которые поддерживаются на разных частотах. В синтезе важную роль играет определенная мотивационная составляющая, так же как и при возникновении ощущений.

В фокусе, нейронные группы которого соединены жесткими связями, происходит синтез поступающих сведений, вследствие чего, вероятно, и принимается решение. В этих работах идея информационного синтеза была распространена и на мышление, так как оказалось, что принцип организации нервных процессов при ощущении и мышлении в известной степени сходен. Различие заключается в том, что в первом случае происходит сопоставление двух потоков информации, а во втором – нескольких. Кроме того, центры синтеза при мышлении находятся не в проекционной, как при возникновении ощущений, а в ассоциативной коре. Интересно, что при решении любых задач, даже

не требующих словесного ответа, на последнем этапе мыслительного процесса фокусы возникают в левой височной области, где расположен центр восприятия речи (так называемая зона Вернике), что говорит о том, что вербализация – важный компонент человеческого мышления. Итак, психическое восприятие возникает на основе определенной организации нервных процессов, в ходе которых происходит возврат возбуждения к местам первоначальных проекций. При более сложных функциях в этом процессе участвуют отделы лобной коры.

Такой вывод нашел подтверждение и в наших исследованиях коркового механизма вербальных ассоциаций, проведенных совместно с лабораторией М. Познера в США. Испытуемый должен был подобрать глагол, ассоциирующийся с предложенным существительным (например, молоток – ударить). Поскольку такой поиск занимал менее одной секунды, нами был разработан метод, временное разрешение которого составляло 100 мс, т.е. было близко к длительности отдельных мыслительных операций. При поиске ассоциаций сначала возникала диффузная система свя-



декларативной и процедурной памятью.

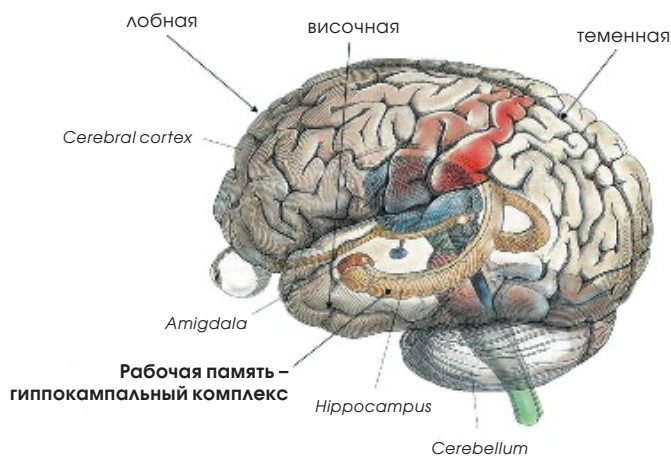
Последние десятилетия ознаменовались прорывом в исследовании их мозговых механизмов (см. рис. внизу). Считается, что долговременная память связана с ассоциативной корой. В адресации памятных следов в определенные участки коры важную роль играют медиальные отделы височной области полушарий, включающие энторинальную кору и гиппокамп (он представляет собой изогнутую полосу нейронов, напоминающую по форме морского конька, откуда и название). Вышеназванные образования имеют обширные связи как между собой, так и с проекционными (теми, куда приходят сигналы от органов чувств) и ассоциативными отделами коры. При запоминании они направляют сигнал в ассоциативную кору для длительного удержания в памяти, а при необходимости вспомнить — указывают адрес, где хранится связанная с поступившим сигналом информация. Приведем простой пример. Долговременная память соответствует книгохранилищу в библиотеке, а гиппокампальный комплекс можно сравнить с каталогом, который показывает, где хранится нужная книга. Различие между двумя структурами гиппокампального комплекса заключается в том, что энторинальная кора участвует в сохранении сведений вне их связи с контекстом (процедурная, а для более сложных сигналов — семантическая память), а гиппокамп важен для декларативной памяти. Для пояснения различия между видами памяти можно привести такой пример. Предположим, что вы встречаете человека, лицо которого вам знакомо, но вы не можете понять, кто он, — это узнавание, или семантическая память. Если же вы помните, кто этот человек и при каких обстоятельствах вы познакомились, речь идет о воспоминании, о декларативной памяти. Оба вида памяти

имеют определенное электрофизиологическое выражение в рисунке ВП в виде позитивного сдвига его поздних «когнитивных» волн с латентностью около 400 мс для семантической и 500–700 мс для декларативной памяти, что было доказано, в частности, с помощью прямого отведения ВП от гиппокампальных структур через вживленные электроды. Повреждение гиппокампа приводит к нарушению декларативной памяти. Такие больные могут достаточно хорошо усваивать новые сведения, в том числе язык, приобретать сложные двигательные навыки, успешно учиться в школе и иметь высокий интеллектуальный коэффициент. В то же время они беспомощны в повседневной жизни, так как не помнят последовательности событий, не ориентируются во времени, не могут составить плана на будущее. Англоязычные авторы говорят при этом о нарушении двух свойств: *belongings* (принадлежности) и *appointments* (приурочения события ко времени). Интересно, что данное заболевание проявляется только с 5–6-летнего возраста, то есть с того момента, когда здоровый человек начинает себя помнить.

В сохранении в памяти последовательности событий важную роль наряду с гиппокампом играет лобная кора. В ней можно выделить три группы нейронов: одни реагируют на действующий сигнал, другие сохраняют его след до того момента, когда необходимо дать поведенческий ответ, и, наконец, третьи включают ответную реакцию. Нейроны разряжаются последовательно и как бы передают эстафету от одной группы к другой. Можно заключить, что «память души», та самая, которую писатель Д.Гранин сравнил с прочитанной книгой, которую можно листать, останавливаясь на нужной странице, обеспечивается взаимодействием лобной коры и гиппокампа.

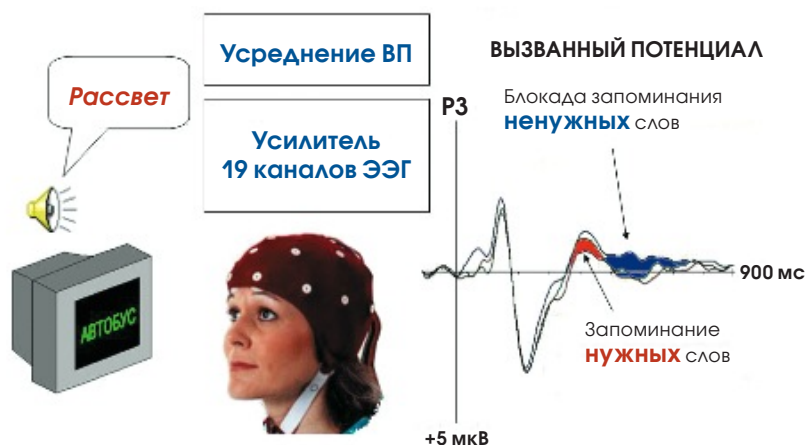
Сознание тесно связано с вниманием: осознается только то, на что обращается внимание. Наши исследования показали, что память играет важную роль в механизмах избирательного восприятия словесных сигналов, когда человек должен реагировать лишь на определенные слова, выделяя их из массы других. Такая ситуация возникает, например, когда человек читает книгу при включенном радио. Сложность заключается в том, что слово всегда ▶

#### Долговременная память – ассоциативная кора:



#### СТРУКТУРЫ МОЗГА, СВЯЗАННЫЕ С ФУНКЦИЕЙ ПАМЯТИ

## ИЗБИРАТЕЛЬНОСТЬ ВНИМАНИЯ КАК БЛОКАДА ЗАПОМИНАНИЯ НЕЗНАЧИМЫХ СЛОВ



Механизм избирательного внимания к словесным сигналам. При необходимости запоминать все слова – будь то прочитанные или услышанные – вызванные потенциалы различаются в поздней части ответа, относящейся к когнитивным компонентам ВП. Сдвиг отрезка вызванного потенциала в сторону позитивности при запоминании нужных слов (красная заливка) и в сторону негативности при торможении запоминания ненужных слов (синяя заливка).

### ЛИТЕРАТУРА:

Иваницкий А.М., Стрелец В.Б., Корсаков И.А. Информационные процессы мозга и психическая деятельность. М.: Наука, 1984. 200 с.

Иваницкий А.М. Главная загадка природы: как на основе процессов мозга возникают субъективные переживания // Психологический журнал. 1999. Т. 20. В. 3. С. 93–104.

Ливанов М.Н. Пространственная организация процессов головного мозга. М.: Наука, 1972. 181 с.

Пенроуз Р. Тени разума. В поисках науки о сознании. Часть 1. Понимание разума и новая физика. М., Ижевск: Институт компьютерных технологий, 2003. 368 с.

Симонов П.В. Лекции о работе головного мозга. Потребностно-информационная теория высшей нервной деятельности. М.: Наука, 2001. 96 с.

Edelman G.M., Tononi G. Consciousness. How matter becomes imagination. London. Pinguin Books. 2000. 274 p.

Ivanitsky A.M., Nikolaev A.R., Ivanitsky G.A. Cortical connectivity during word association search // Int. J. Psychophysiol. 2001. Vol. 42. No 1. P. 35–53.

Mishkin M., Suzuki W., Gadian D.G., Varha-Khadem F. Hierarchical organization of cognitive memory // Phi. Trans. R. Soc. Lond. B. 1997. V. 352. P. 1461–1467.

Posner M.I., Raichle M.E., 1997. Images of Mind. New York: Scientific American Library. 1997. 255 p.

имеет определенную значимость, несет смысловую нагрузку. В нашей работе использовалась запись ВП мозга на слова, одновременно появившиеся на экране монитора и звучащие через компьютерные колонки. Задача испытуемого состояла в том, чтобы запомнить как можно больше слов, поступавших по одному из каналов, игнорируя другие. В следующей серии экспериментов нужно было определить, означает слово абстрактное или конкретное понятие. Как уже говорилось, запоминание и извлечение из памяти вербальной информации имеет определенное электрофизиологическое выражение в «когнитивных» компонентах ВП с латентностью от 400 до 700 мс. Было установлено, что ВП на значимый раздражитель характеризовался позитивным сдвигом, в то время как в ответ на игнорируемый сигнал имел место негативный сдвиг потенциала, то есть сдвиг, обратный по полярности тому, который возникает при запоминании, что свидетельствует об активном торможении процессов запоминания (см. врез вверху). Судя по всему, избирательность внимания обеспечивается за счет того, что ненужная информация хотя и воспринимается (так как сохранены компоненты

ВП, ответственные за данный процесс; человек также может узнать это слово, если ему показать список слов, которые он должен был проигнорировать), но затем передача сведений на структуры гиппокампа блокируется. Преимущества такой организации вербального внимания в том, что человек может отреагировать на неожиданный сигнал, если потребует изменившаяся ситуация (в нашем примере – важное сообщение по радио). В обычных же условиях лишняя информация просто не сохраняется в сознании.

Таким образом, мысль о важной роли памяти в возникновении субъективного опыта получает в исследованиях внимания дополнительное подтверждение. Полученные результаты дают основание с новых позиций подойти к пониманию природы некоторых детских и старческих болезней. К первым относится синдром двигательной гиперактивности и дефицита внимания у детей школьного возраста, ко вторым – нарушения памяти при болезни Альцгеймера и церебральном атеросклерозе. Можно предполагать, что в последнем случае, особенно на ранних этапах болезни, ослаблена не только память, но и способность сосредоточивать внимание на нужной информации

(такие нарушения внимания известны клиницистам). В таком случае для борьбы с заболеванием может быть рекомендован новый класс лекарственных средств. Дело в том, что отделы мозга, регулирующие внимание, и структуры, ответственные за память, используют различные медиаторы. В первом случае это дофамин, во втором – ацетилхолин и глутамат. Имеющиеся клинические наблюдения указывают на перспективность данного подхода.

Подведем итог представлениям о наиболее вероятных механизмах сознания. Фундаментальным принципом является возврат возбуждения к местам первоначальных проекций, что обеспечивает информационный синтез; в формировании абстрактных представлений и речи большую роль играет лобная кора; медиобазальные отделы височной области полушарий важны для поддержания декларативной памяти и обеспечения процессов избирательного внимания. Сопоставление вновь поступившей информации с прошлыми переживаниями определяет содержание сознания как постоянную корректировку личного опыта и того, что можно назвать чувством внутреннего «я». В основе сознания лежит идея обновления, придающего жизни ее высший смысл и определяющего постоянное стремление человека к новизне.

### Сознание и искусственный интеллект

В заключение несколько слов еще об одной проблеме, которая в последнее время привлекает все больше внимания, – сравнения живого мозга с искусственным интеллектом. Остановимся на том аспекте проблемы, который в наибольшей степени связан с сознанием. По мнению известного английского математика и физика Р. Пенроуза, сознание не может быть сведено к вычислениям, так как живой мозг отличается от компьютера тем, что обладает способностью к пониманию. На вопрос,

что такое понимание и каковы его мозговые механизмы, ответ должен дать физиолог. Представляется, что понимание возникает в результате того, что, как уже говорилось, вновь поступившая информация все время сравнивается в мозге с накопленным опытом, с тем, что хранится в памяти в результате обучения. Важно, что в информационном синтезе весьма существенна роль мотивационной составляющей. Благодаря этому внешний стимул соотносится с прошлыми действиями субъекта и удовлетворением определенной потребности. Понимание, таким образом, имеет глубокий жизненный, приспособительный смысл. Оно свойственно не только человеку, но и животным. Животное научается производить определенные действия, чтобы удовлетворить ту или иную потребность, то есть начинает понимать связь внешних событий, своего поведения и достижение желаемого результата. На этом же основана и дрессировка: чтобы научить собаку выполнять, то есть понимать, определенные команды, дрессировщик использует подкрепление в виде пищи или наказания. По существу, все это изначально относится и к человеку начиная с раннего детства. Так, приобретая жизненный опыт, ребенок начинает понимать, «что такое хорошо и что такое плохо». Хороший ученик получает высокие оценки, хороший работник имеет более высокую зарплату, а нерадивого работника штрафуют, герой получает награду, а преступника сажают в тюрьму, чтобы он понял, что нельзя нарушать закон. Практически все поведение основано на тех же принципах.

Для обоснования своих взглядов Р. Пенроуз использует теорему Гёделя о том, что нельзя доказать вычислением правильность основных действий арифметики, например, что  $1+1=2$ . Но живое существо в этом убеждается, когда получает два банана, двух врагов или двух жен, добавляя в результате тех или

иных действий к первому объекту (или субъекту) второй (или вторую). При этом понимание сущности удвоения (или сложения вообще) возникает в эволюции раньше, чем умение считать. Описан, например, случай, когда коренной житель севера не знал, сколько у него оленей, но легко мог перечислить каждого по их признакам. Ребенок также может перебрать в памяти всех окружающих его людей или свои игрушки, хотя еще не знает счета. Может быть, это покажется парадоксальным, но понимание как в эволюции, так и в процессе индивидуального развития предшествует вычислению. Дело в том, что вычисление основано на абстракции, а это функция более совершенного мозга. Приспособительный эффект достигается, когда эти сложные функции, такие как способность к абстракции, сочетаются с более простыми.

Сознание человека – результат долгой эволюции. По мере совершенствования высших функций мозга становилось более полным и понимание, основанное на фундаментальных принципах его работы.

Сказанное выше, конечно, является далеко не полным. Мы еще многое не знаем о работе мозга, и особенно о том, что лежит в основе его высших функций и человеческого сознания. Тем не менее прогресс в этой области в последние годы достаточно очевиден, и наука о мозге постепенно приближается к раскрытию этой тайны природы. ■

*Работа выполнена при поддержке Российского гуманитарного научного фонда, Российского фонда фундаментальных исследований, программы Президиума РАН «Фундаментальные науки – медицине» и программы ОБН РАН «Интегративные механизмы регуляции функций и организмов».*

## Что такое мастопатия и как с ней бороться?

Отвечает кандидат медицинских наук, врач-онколог Руслан Гостанович ЮСИФОВ.

Мастопатия – заболевание молочной железы, при котором в ней появляются доброкачественные образования, вероятность перерождения которых в злокачественные не более 10%. Тем не менее при обнаружении недуга постоянное наблюдение у врача-маммолога обязательно.

Считается, что данное заболевание поражает в основном женщин климактерического возраста, но за последнее десятилетие оно, к сожалению, помолодело. Чаще всего проблемы начинаются на фоне гормональных изменений. Перед критическими днями в молочной железе под действием гормонов возникают уплотнения, которые исчезают, если организм достаточно силен. Но если данные образования не рассасываются, это свидетельствует



о наличии дисфункции. Причиной возникновения мастопатии могут стать и аборт, т.к. они вызывают резкое гормональное потрясение. В зоне риска оказываются также женщины с патологией щитовидной железы, гинекологическими заболеваниями или сахарным диабетом.

Различают диффузную и узловую мастопатию: первая характеризуется тем, что в груди появляются многочисленные «расплывчатые» уплотнения, во втором случае возникают образования размером от горошины до куриного яйца. В зависимости от диагноза специалист назначает гормональную терапию или препараты, оказывающие комплексное воздействие. После курса лечения нормализуется гормональный фон, корректируется патологи-

ческий процесс в молочных железах, улучшается функция печени, укрепляются защитные силы организма. При возникновении узловой формы предлагается оперативное вмешательство, чтобы снизить риск заболевания раком.

Мужчины тоже страдают заболеваниями молочной железы, правда, гораздо реже, чем женщины. Внешние признаки гинекомастии (*gynes* – женщина, *mastos* – грудь, молочная железа – «женственная грудь») беспричинное увеличение молочной железы с одной или двух сторон от 1 до 10 см, некоторое втяжение соска. Если мужская грудь становится похожа на небольшую женскую, стоит обратиться к врачу, который при необходимости проведет лабораторные исследования, маммографию, биопсию, УЗИ. На ранних стадиях заболевания очень успешно применяется гормональная терапия. И только в крайних случаях назначается оперативное вмешательство.

Причины возникновения гормональных нарушений у мужчин условно можно разделить на три группы: преобладание в организме женских половых гормонов; снижение уровня мужских гормонов (тестостерона); применение лекарственных средств, способствующих развитию подобных дисфункций.

Отвечает Роберт КЛАРК (Robert Clark) из Инженерной школы Пратта при Университете Дьюка.

К появлению неприятных звуков приводит так называемый механизм обратной связи. Обратная связь возникает, когда звук, издаваемый динамиками, попадает в микрофон и усиливается снова и снова. В результате усилитель достигает насыщения и превращается в генератор. Частота генерации зависит от многих факторов, в том числе от количества микрофонов и динамиков, расстояния между ними, их взаимной ориентации и наличия поверхностей, отражающих звук. Чтобы

подавить этот эффект, используют полосный эквалайзер, с помощью которого можно отрегулировать усиление сигнала на разных частотах.

Если микрофон используется вместе с акустической гитарой, то обратная связь возникает, когда звук динамика достигает деки, которая начинает сильно вибрировать с определенной частотой (обычно 100–200 Гц). Резонировать может и само помещение. Аналогичный механизм имеет место и в электрогитарах: колебания инструмента приводят к увеличению амплитуды сигнала звукоснимателей и возникновению неустойчивой обратной связи.

## почему электрогитары и микрофоны иногда издадут громкое гудение или свист?

ежемесячный научно-информационный журнал

**В мире науки**  
scientific american

Открыта предварительная подписка  
по специальной цене 300 рублей

**В начале 2006 года выходит в свет  
сборник материалов журнала  
«В мире науки»,  
посвященный космосу.**

www.sciam.ru

Оформить подписку можно по телефонам:  
**105-03-72 и 727-35-30**

SCIENTIFIC AMERICAN  
в мире науки

**КОСМОС**

АЛЬМАНАХ

Потерянная планета  
Загадочный Марс  
Теория струн  
План Вселенной

Читайте в следующем **специальном** выпуске журнала:

## КАКОЙ ПУТЬ ИЗБЕРЕТ ЦИВИЛИЗАЦИЯ?



### ПЕРСПЕКТИВЫ МАЛЫХ ЗЕМЛЕДЕЛЬЧЕСКИХ ХОЗЯЙСТВ

Использование недорогих систем орошения позволит земледельцам в развивающихся странах повысить урожайность и выбиться из бедности.

### КУЛЬМИНАЦИЯ ИСТОРИИ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА

В зависимости от того, какие шаги предпримет человечество в ближайшие десятилетия, цивилизация либо достигнет гармонии с окружающей средой, либо погибнет.

### КАК ПОДДЕРЖАТЬ РАЗНООБРАЗИЕ ЖИВЫХ ФОРМ НА ЗЕМЛЕ?

Поняв причины исчезновения с лица Земли различных видов животных и растений, мы сможем найти способ сохранить те, что остались.

### ЧЕЛОВЕЧЕСТВО РАЗРАСТАЕТСЯ

В ближайшие 50 лет численность населения планеты увеличится примерно до 9 млрд. человек. Успешно ли мы справимся со своим «взрослением»?

### КАК РАССТАВИТЬ ПРИОРИТЕТЫ?

Миром правят экономические отношения, и даже когда мнения политических лидеров по тому или иному вопросу совпадают, окончательные ответы определяет его величество мировой рынок.

### ЭКОНОМИКА В ПЕРЕПОЛНЕННОМ МИРЕ

Для развития экономики, которая сможет самостоятельно поддерживать свое существование в пределах ограниченной экосистемы, необходимы новые способы мышления.

## КАК ОФОРМИТЬ ПОДПИСКУ/ЗАКАЗ НА ЖУРНАЛ «В МИРЕ НАУКИ»:

1. Указать в бланке заказа/подписки те номера журналов, которые вы хотите получить, и ваш полный почтовый адрес.
  2. Оплатить заказ/подписку в отделении Сбербанка (для удобства оплаты используйте квитанцию, опубликованную ниже).
  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». Бланк подписки можно отправить по электронной почте **distr@sciam.ru**, или по факсу: **105-03-72**.
- Подписку можно оформить со следующего номера.**

### БЛАНК ЗАКАЗА ПРЕДЫДУЩИХ НОМЕРОВ ЖУРНАЛА

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

2005 г.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

2004 г.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

2003 г.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Ф.И.О. \_\_\_\_\_

Индекс \_\_\_\_\_

Область \_\_\_\_\_

Город \_\_\_\_\_

Улица \_\_\_\_\_

Дом \_\_\_\_\_ Корп. \_\_\_\_\_ Кв. \_\_\_\_\_

Телефон \_\_\_\_\_

Дата рождения \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / 20 \_\_\_\_

**Цена за один номер журнала 65 руб. 00 коп.**

### БЛАНК ПОДПИСКИ

Я хочу подписаться на 6 номеров журнала «В мире науки» и плачу \_\_\_\_\_ руб. \_\_\_\_ коп.

Я хочу подписаться на 12 номеров журнала «В мире науки» и плачу \_\_\_\_\_ руб. \_\_\_\_ коп.

**Цена за один номер журнала по подписке в 2005 г. 65 руб. 00 коп.**

**В 2006 году стоимость подписки на полугодие составит 540 руб. 00 коп., на год – 1080 руб. 00 коп.**

**Цена за один номер журнала по подписке в 2006 г. 90 руб. 00 коп.**

Ф.И.О. \_\_\_\_\_

Индекс \_\_\_\_\_

Область \_\_\_\_\_

Город \_\_\_\_\_

Улица \_\_\_\_\_

Дом \_\_\_\_\_ Корп. \_\_\_\_\_ Кв. \_\_\_\_\_

Телефон \_\_\_\_\_

Дата рождения \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / 20 \_\_\_\_

### ОФОРМИТЬ ПОДПИСКУ МОЖНО:

- по каталогам «Пресса России», подписной индекс 45724; «Роспечать», подписной индекс 81736; изданий органов НТИ, подписной индекс 69970; «Почта России», подписной индекс 16575

- на Украине по каталогу подписных изданий агентства KSS, подписной индекс 69970

- Все номера журналов можно купить в редакции журнала по адресу: ул. Радио, дом 22, а также в ООО «Едиториал УРСС» по адресу: проспект 60-летия Октября, д. 9, оф. 203, тел./факс (095) 135-42-16.

ЗАО «В мире науки»  
 Расчетный счет 40702810100120000141  
 в ОАО «Внешторгбанк» 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 «Внешторгбанк» 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

