ежемесячный научно-информационный журнал

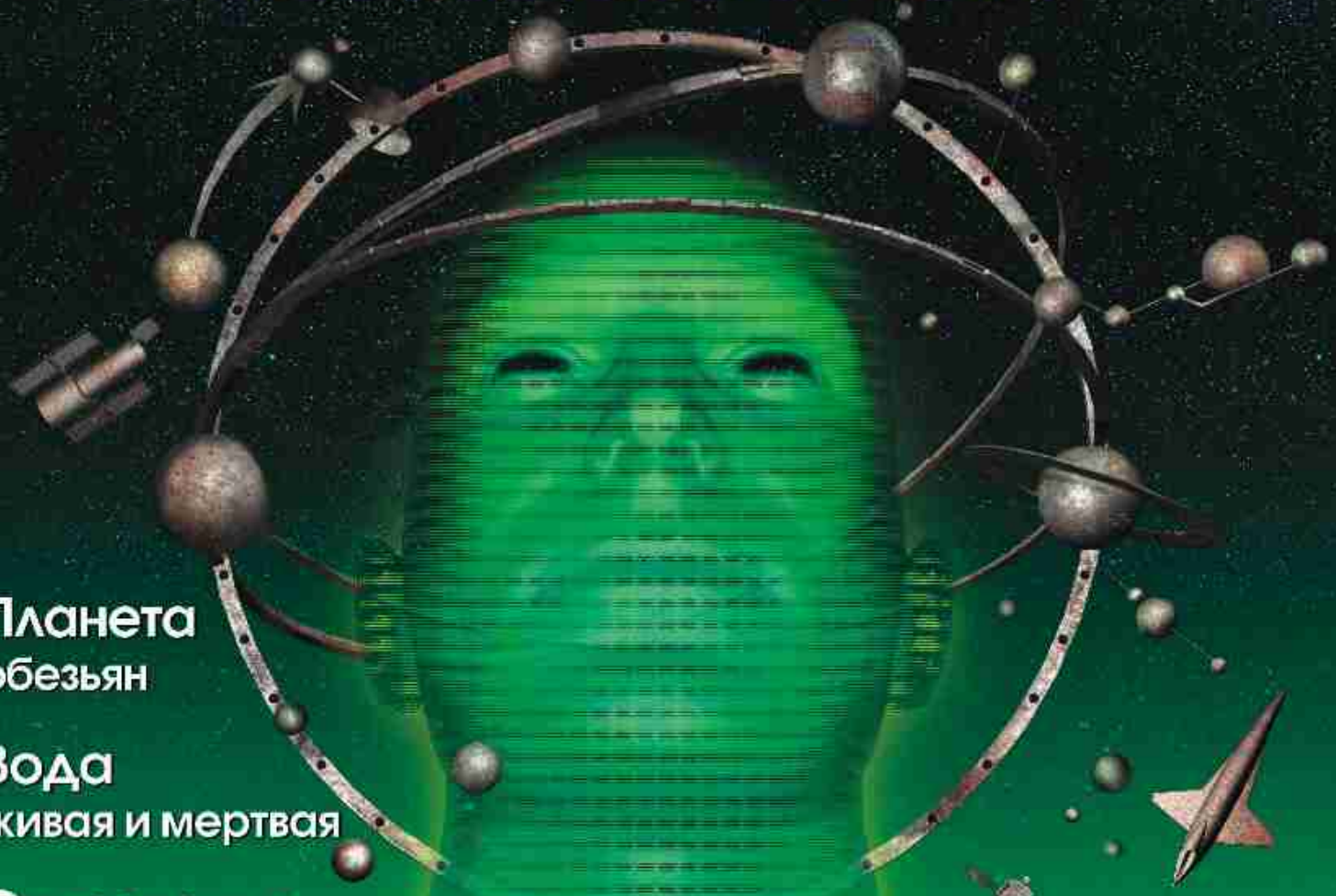
В мире науки

scientific american

№11 2003

тема номера:

Информация
в голографической Вселенной



Планета обезьян

Вода живая и мертвая

Откровения дельфийского оракула

ISSN 0208-0621

содержание

НОЯБРЬ 2003

ГЛАВНЫЕ ТЕМЫ НОМЕРА

БИОТЕХНОЛОГИИ
30 **ГЕНОМНЫЕ ЦЕНЗОРЫ**
Нельсон Ло и Дэвид Бартел
Большинство животных и растительных клеток обладает механизмом избирательного подавления экспрессии генов с помощью коротких двухцепочечных РНК, гомологичных данному гену. Биотехнологи уже размышляют над практическим применением этого механизма

НЕЙРОБИОЛОГИЯ
38 **ЭТОТ ЗАГАДОЧНЫЙ МОЗЖЕЧОК**
Джеймс Бауэр и Лоренс Парсонс
Последние исследования говорят, что функции мозжечка связаны скорее с координацией сенсорного входа, нежели моторного выхода

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
46 **ЦИФРОВОЙ РАСКОЛ**
Марк Варшауэр
Последние 10 лет политические лидеры и социологи серьезно озабочены социальным разрывом между теми, у кого есть компьютер и доступ к Интернету, и теми, у кого нет ни того, ни другого

ФИЗИКА
52 **ИНФОРМАЦИЯ В ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ ВСЕЛЕННОЙ**
Якоб Бекенштейн
Результаты теоретического изучения энтропии черных дыр наводят на мысль, что Вселенная подобна гигантской голограмме

АРХЕОЛОГИЯ
60 **СПРОСИ ДЕЛЬФИЙСКОГО ОРАКУЛА**
Джон Хейл, Джелл де Боер, Джефри Чантон и Рик Спиллер
В Древней Греции наука и религия благополучно уживались. При этом обе выиграли

ЭВОЛЮЦИЯ
68 **ПЛАНЕТА ЧЕЛОВЕКООБРАЗНЫХ**
Дэвид Биган
Судя по новым ископаемым находкам, человекообразные обезьяны, давшие начало современным гоминоидам и человеку, возникли и эволюционировали не в Африке, а в Евразии

ЭКОЛОГИЯ
78 **ЧИСТАЯ ВОДА – МИФ ИЛИ РЕАЛЬНОСТЬ?**
Татьяна Потапова
Внимания ученых вода удостоилась более 200 лет назад, когда было доказано, что она – не простой элемент, как полагали средневековые алхимики, а молекула, построенная из двух видов атомов – водорода и кислорода

в мире науки

Учредитель и издатель:
Негосударственное образовательное учреждение «Российский новый университет»

Главный редактор: С. П. Капица
Заместитель главного редактора: В. Э. Катаева

Ответственный секретарь: О. И. Стрельцова

Редакторы отделов: А. Ю. Мостинская, В. Д. Ардаматская

Редакторы: Д. В. Костикова, А. А. Приходько

Старший менеджер по распространению: С. М. Николаев

Старший менеджер по PR: А. А. Рогова

Научные консультанты:
с. н. с. лаборатории анализа генома человека Института общей генетики РАН С. А. Боринская
кадидат биол. наук Г. Л. Коган
доктор экономических наук, профессор М. В. Конотопов
Е. В. Кожевникова, Ю. В. Пухначев
кадидат физ.-мат. наук В. Г. Сурдин

Над номером работали:
А. А. Алешин, Е. В. Базанов, С. А. Буланов, Е. Г. Богадист, Е. Г. Булгакова, О. А. Василенко, Ф. С. Капица, Т. М. Колядич, Д. А Мисюров, Т. В. Потапова, И. П. Потемкин, М. А. Сажин, И. Е. Сацевич, В. И. Сидорова, В. В. Свечников, М. Г. Смирнова, Н. Н. Шафрановская, П. П. Худолей

Корректура: Ю. Д. Староверова

Препресс: P-studio

Отпечатано: ОАО «АСТ Московский полиграфический дом» Заказ №2120

Адрес редакции:
105005 Москва, ул. Радио, д. 22, к. 409
Телефон: (095) 105-03-72, тел/факс (095) 105-03-83
e-mail: red_nauka@rosnou.ru

© В МИРЕ НАУКИ РосНОУ, 2003

Журнал зарегистрирован в Комитете РФ по печати. Свидетельство ПИ № 77-13655 от 30.09.02

Тираж: 15000 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, Carol Ezzell, Steve Mirsky, Georg Musser

News Editor: Philip M. Yam

Contributing editors:
Mark Fichetti, Marguerite Holloway, Michael Shermer, Sarah Simpson, Paul Wallich

Art director: Edward Bell

Vice President and publisher: Bruce Brandfon

Chairman emeritus: John J. Hanley

Chairman: Rolf Grisebach

President and chief executive officer: Gretchen G. Teichgraeber

Vice President and managing director, international: Charles McCullagh

Vice President: Frances Newburg

© 2003 by Scientific American, Inc.

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

РАЗДЕЛЫ

НАУКА И ОБЩЕСТВО
20 **ЭКОНОМИКА ЗНАНИЙ**
Алла Рогова

НАУКА И ОБЩЕСТВО
24 **ПОД ЗНАКОМ ВОДЫ**
Марина Смирнова

ПРОФИЛЬ
28 **ДОЗОРНЫЙ НЕБА**
Брайан Марсден предупреждает об угрозе мировой катастрофы, исходящей с неба

ОБЗОРЫ

ОТ РЕДАКЦИИ
3 **У ХЬЮСТОНА – ПРОБЛЕМЫ**

4 **50, 100 И 150 ЛЕТ ТОМУ НАЗАД**

6 **НОВОСТИ И КОММЕНТАРИИ**
- Управляемый ядерный синтез
- Эффективность процесса чтения
- Вступила в строй еще одна гравитационная обсерватория
- Путешествие к центру Земли
- Колыбель человечества
- Секретные компоненты в составе репеллентов
- Калифорнийский энергетический кризис
- На языке цветов
- Самая восточная точка Европы

86 **КНИЖНОЕ ОБОЗРЕНИЕ**

ОЧЕВИДНОЕ-НЕВЕРОЯТНОЕ
88 **ТАЙНЫ ЗВУЧАЩЕГО МЕТАЛЛА**
Весть, призыв, торжество, красота, богатство, власть и святыня – так на исходе античности складывается семантический ряд, определяющий значение колокола.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НЮАНСЫ
94 **КОНВЕРГЕНЦИЯ НА ДИВАНЕ**
Уэйт Гиббс

У ХЬЮСТОНА – проблемы

Сегодня, по прошествии времени, ошибки, приведшие к гибели *Columbia*, становятся очевидными. Начиная с 1981 г. в ходе каждого из 113 полетов челноков при старте от внешнего топливного бака отрывались небольшие фрагменты теплоизоляционного пеноматериала, ударявшиеся затем об орбитальный блок. В октябре 2002 г. при старте *Atlantis* отпала часть теплоизоляции размером в 30 см и задела один из твердотопливных ускорителей. Однако в отчете о готовности к следующему запуску челнока руководители *NASA* сделали вывод, что эти удары не опасны. Вместо тщательного изучения проблемы они отделались несерьезными высказываниями: «Крепление теплоизоляционного материала требует доработки» и «Все работы выполнялись опытными сотрудниками».

16 января 2002 г., через 1 минуту и 21 секунду с момента старта *Columbia*, кусок теплоизоляционного материала размером с кейс оторвался и на скорости 800 км/ч врезался в левое крыло орбитального блока. По данным комиссии по расследованию катастрофы *Columbia*, при этом была пробита брешь в передней кромке крыла. 1 февраля при входе челнока в атмосферу раскаленные газы стремительно ворвались в эту пробоину.

Задним числом легко судить. Кто бы мог подумать, что рядовая неполадка, приводившая в 112 полетах лишь к возникновению мелких отметин на орбитальном блоке, в 113-м окажется гибельной? Но это уже не первый случай, когда *NASA* не смогло распознать опасность. В середине 80-х гг. инженеры отмечали тревожный симптом – частичную эрозию уплотнительных прокладок в твердотопливных ускорителях *Space Shuttle*, но никто не внял их предостережениям. Когда в 1986 г. подобный дефект привел к взрыву *Challenger*, *NASA* пересмотрело состав комиссии, принимающей решения о готовности к запуску, включив в нее больше специалистов по безопасности. Однако события, связанные с последним полетом *Columbia*, показали, что руководство Национального космического агентства так и не научилось прислушиваться к предостережениям. Когда инженеры *NASA* попросили Национальное картографическое агентство предоставить фотографии *Columbia*, сделанные со спутников, чтобы рассмотреть повреждения, вызванные ударом теплоизоляционного материала, начальство отменило их запрос.

Из факта гибели семи космонавтов *Columbia* руководству *NASA* следует извлечь урок: нельзя ограничиться лишь техническим совершенствованием. Прежде чем разрешить дальнейшие полеты, необходимо предоставить инженерам и специалистам по безопасности возможность полного исследования всех неполадок, какие могут возникнуть в полетах из-за непредвиденных обстоятельств. На слушаниях в конгрессе отставной адмирал Харолд Геман-мл. (Harold W. Gehman, Jr.), возглавлявший комиссию по расследованию катастрофы *Columbia*, заявил, что инженеры *NASA* не смогли предоставить руководству убедительных данных об опасности подобных полетов. Геман сказал: «Люди, отстаивающие интересы безопасности, не могут в полной мере документально обосновать свою позицию, потому что не получают достаточного финансирования».

Поскольку при космических полетах риск неизбежен, а конструкция челноков несовершенна, Национальное космическое агентство не может гарантировать, что не произойдет третьей катастрофы (особенно если вплоть до 2015 г. будут эксплуатироваться стареющие *Space Shuttle*). Но можно снизить вероятность катастрофы в космосе, если наземные службы будут лучше следить за безопасностью полетов. ■

Космонавты Калпана Чавла (Kalpana Chawla) и Рик Хазбэнд (Rick Husband) незадолго до катастрофы.

NASA-TV Getty Images

50, 100, 150 ЛЕТ НАЗАД

Детская математика • Культура острова Крит • Философия высокой температуры

НОЯБРЬ 1953

ПРОЦЕСС ПОЗНАНИЯ. «Интересно наблюдать, как дети самостоятельно учатся определять размеры предметов. С одним из моих сотрудников, доктором Барбелом Инхелдером (Barbel Inhelder), мы провели следующий эксперимент: показали ребенку башню из блоков, стоявшую на столе, и попросили его построить вторую, такой же высоты, на другом столе, который был ниже или выше, чем первый. Первый измерительный инструмент, который приходит малышу на ум, – его собственное тело. Он помещает одну руку на вершину башни, другую – в ее основание, а затем, пытаясь не двигать руками, идет к другому столу, чтобы сравнить башни. Дети в возрасте шести лет, как правило, абсолютно уверены, что руки не меняют своего положениеяпри перемещении!» – Жан Пиаже (Jean Piaget). ■

КОМПАКТНАЯ МОЩЬ. «Появившись всего десяток лет назад, газовая турбина, широко известная как турбореактивный двигатель, быстро нашла применение не только в авиации, но и в других областях. К 1965 г., если не раньше, она бесспорно, станет двигателем века и произведет революцию транспортных и энергетических систем. Газовая турбина – самый универсальный двигатель из когда-либо построенных человеком. В 1949 г. два крупнейших производителя паровых турбин *General Electric* и *Westinghouse* практически одновременно ввели в эксплуатацию свои первые газотурбинные электрогенераторы. Сейчас на территории США уже построено 20 таких электростанций.» ■

Жан Пиаже: изучение процесса познания у детей.

НОЯБРЬ 1903

РЕВОЛЮЦИЯ В ПЕЧАТИ. «Производство алюминия стало коммерчески выгодным лет десять назад. Оказалось, что этот легкий белый металл может заменить литографский камень, который находит применение только в планшетных прессах. Металлической пластине можно придать цилиндрическую форму. В ротационном прессе бумажные листы пропускаются между двумя цилиндрами, как в машине для отжима белья, благодаря чему скорость печати увеличивается как минимум в два раза. В результате полиграфической революции крупные издательства стали печатать на ротационных прессах 90% продукции». ■

ДРЕВНОСТИ ОСТРОВА КРИТ. «Доктор Артур Эванс (Arthur Evans) на время прекратил масштабные раскопки на Крите. Где же будут храниться добытые им сокровища? Принимая во внимание национальность доктора Эванса многие надеялись, что часть из них окажется в Британском музее. Однако, как сообщили из Мюнхена, в Кандии уже заложен фундамент Критского музея, куда и попадут бесценные экспонаты, найденные при раскопках Кноса. Памятуя о позорном происшествии с античными скульптурами, украденными из Парфенона лордом Элджином, мы можем только приветствовать такое решением. Разумеется, остров Крит, перед которым все в большом долгу, имеет полное право на те произведения искусства и глиняные таблички, с которых, собственно, и началась история Европы 3 500 лет назад». ■

НОЯБРЬ 1853

СЛЕД МОСКИТА. «Нет никаких сомнений в том, что спящий человек больше рискует заболеть малярией, чем бодрствующий. Те, кто ночуют в Кампана-ди-Рома, неизбежно подвергаются воздействию ее вредного воздуха, в то время как путешественникам, проезжающим мимо, болезнь не грозит». ■

ЧТО ТАКОЕ ТЕПЛОТА? «Что мы знаем о сущности тепла? Кто может увидеть тепло, потрогать руками или взвесить на весах? Никто. У нас нет никаких доказательств его материального существования и мы ничего об этом не знаем. Но мы многое знаем о тепле как об одном из *качеств* материи, развившемся при определенных условиях. Тепло, как и тяготение, – это *свойство*, которым великий Создатель наделил материю». ■

ГЛАЗАМИ VIRGO

Александр Хельманс

Интерферометр *VIRGO* построен на аллювиальной равнине реки Арно неподалеку от Пизы. Создателей детектора это место привлекло низким уровнем микросейсмичности.

Астрофизики давно мечтают о возможности наблюдать гравитационные волны, источниками которых являются вспышки сверхновых и слияние черных дыр. Большие надежды возлагаются на километровые детекторы. В прошлом году начал работу самый большой из них – Лазерная интерферометрическая гравитационная обсерватория (*LIGO*) стоимостью $371 млн. А в июле этого года вступила в строй франко-итальянская установка *VIRGO*, которая уступает *LIGO* по размерам, но более удачно сконструирована и обошлась существенно дешевле – всего в $75 млн.

Оба детектора представляют собой интерферометр Майкельсона: лазерный луч поступает на светоделительную пластину и распространяется внутри двух перпендикулярных вакуумированых труб, оканчивающихся зеркалами. Отраженные лучи интерферируют таким образом, что световые волны гасят друг друга. Малейшее изменение времени прихода отраженного света (а значит, и его фазы) приводит к появлению слабенького луча, который регистрируется оптическим датчиком.

Плечи интерферометра *LIGO* протянулись на 4 км, а плечи *VIRGO* – на 3 км. В обоих случаях эффективная длина намного больше, так как каждый луч, переотражаясь, проходит трубу примерно 50 раз. При таких расстояниях изменение фазы лучей позволяет зарегистрировать искажение пространства на одну миллиардную долю от размера атома. Главная трудность – повысить чувствительность детекторов: вибрация зеркал мешает различать слабые сигналы.

Для интерферометра *LIGO* самой большой проблемой стала сейсмичность, резко снижающая чувствительность прибора в области частот ниже 60 Гц. Именно в этом диапазоне астрофизики ожидают обнаружить наиболее мощные гравитационные сигналы.

Все оптические компоненты интерферометра *VIRGO* снабжены сейсмическими изоляторами. Каждый «суператтенюатор» состоит из 6 наборов спаренных пружин и грузов, расположенных в 10-метровой башне. Маятники подавляют горизонтальные колебания, а комбинации пружин и грузов скрадывают вертикальные. Благодаря аттенюаторам, уменьшающим сейсмическую вибрацию в 10–12 раз, удается снизить предельную частоту детектора до 10 Гц.

Вторая неприятность – тепловой шум, особенно вызванный самими лазерными лучами, неравномерно нагревающими и деформирующими зеркала. Рассчитывая на дальнейшее увеличение мощности лазеров (для повышения чувствительности), конструкторы *VIRGO* решили использовать криогенные установки несмотря на то, что чрезмерное охлаждение приведет к увеличению мощности низкочастотных механических шумов. В 2006 г. сотрудники *LIGO* планируют ввести в эксплуатацию новое поколение детекторов с сейсмоизоляторами и терморегулированием. Зеркала будут не охлаждаться, а, наоборот, нагреваться по краям, чтобы компенсировать перегрев центральной части.

Первыми наблюдаемыми объектами скорее всего станут сливающиеся массивные черные дыры. Поскольку источники гравитационного излучения, как правило, не испускают свет, астрономы могут обнаружить совершенно новый класс объектов.

VIRGO дополняет мировое семейство малых гравитационных детекторов, таких как *GEO* в Германии и *TAMA* в Японии. Неопровержимым доказательством существования гравитационных волн станет одновременное обнаружение непредвиденного сигнала интерферометрами разных стран. И хотя сейчас сотрудничество разных обсерваторий носит неформальный характер, в будущем они будут функционировать как единый агрегат. ■

ОБРАЗЦОВЫЙ ПОИСК

Чтобы обнаружить гравитационные сигналы, утопающие в шумах, ученым необходимо знать, что искать. Сигналы интерферометров будут сравниваться с так называемыми шаблонами – образцами гравитационных волн. Их получают при моделировании двойных черных дыр или нейтронных звезд, мчащихся по спирали навстречу друг другу. Таким образом, успех наблюдений во многом зависит от правильности математических моделей. К сожалению, массы и скорости объектов могут изменяться в широком диапазоне. Получается замкнутый круг: чтобы распознать сигнал, нужно обладать точным шаблоном, который можно получить лишь обнаружив искомый сигнал.

EUROPEAN GRAVITATIONAL OBSERVATORY

СЕКРЕТНЫЕ ИНГРЕДИЕНТЫ

Дэвид Эпстейн

«Инертные» составляющие средств для борьбы с насекомыми могут быть химически активны и даже токсичны.

Вследствие распространения вируса западно-нильской лихорадки во многих областях спрей от москитов стал привычным летним атрибутом. Желающие выяснить, что именно они распыляют, могут ознакомиться с этикеткой на баллончике. Впрочем, приведенная там информация не дает полного представления о составе средства: большинство «инертных» компонентов, нередко составляющих до 90% репеллента, в списке, как правило, не значатся.

Однако именно они зачастую отличаются биохимической активностью: например, дибромнафталин, содержащийся в средстве от комаров, может стать причиной рака и замедленного развития детей. Активисты требуют от Агентства по охране окружающей среды (*EPSA*), чтобы оно обязало производителей химических средств указывать на упаковке полный состав препарата. Согласно закону об инсектицидах, фунгицидах и родентицидах, ингредиенты считаются инертными, если они не смертельны для насекомых. Такой компонент может сделать средство липким, жидким, привлекательным для определенного вида насекомых или грызунов. В то же время определение «инертный» не всегда оправданно по отношению к другим организмам.

Результаты исследований, проведенных в 2000 г. в Техническом колледже при Техасском университете, свидетельствуют об уменьшении у подопытных мышей производства некоторых репродуктивных гормонов на 90% при воздействии на них средством *Roundup* компании *Monsanto* (один из самых популярных гербицидов в мире). Когда исследователи давали мышам глифосат, единственный заявленный активный компонент, изменений в производстве гормона выявлено не было. Ученые пришли к выводу, что уменьшение производства гормона вызвано «инертными» компонентами.

В марте 2000 г. Агентством по охране окружающей среды был проведен симпозиум, в котором приняли участие как общественные группы, так и представители компаний – изготовителей пестицидов. Обсуждалась необходимость объявить состав «инертных» компонентов потребителям и работникам здравоохранения, чтобы они могли оказывать помощь людям, обращающимся в лечебные учреждения с признаками химического поражения. С 1987 г. производители пестицидов должны были регистрировать в *EPSA* рецепты своих изделий, но большинство инертных веществ

GALEN ROWELL Corbis

Этикетки на баллончиках не содержат информации об «инертных» компонентах.

СМЕРТЬ НАСЕКОМЫМ!

Средства для борьбы с насекомыми содержат химикалии, определяемые как «инертные». Агентство по охране окружающей среды разделяет их на четыре категории. Вот несколько примеров (см. **www.epa.gov/opprd001/inerts/lists.html**):

Категория 1 («токсично»; 7 составов):
Фенол, гидрохинон.
Категория 2 («потенциально ядовито»; 95 составов):
Дизельное топливо, нитрометан, некоторые продукты нефтеперегонки, толуол.
Категория 3 («степень токсичности не установлена»; приблизительно 2 тыс. наименований):
Асфальт, атропин, бура, угольная смола, сухая кровь, формальдегид, перекись водорода, керосин, нафталин, пропан, шеллак, серная кислота, скипидар, табачная пыль.
Категория 4 («минимальная токсическая опасность»; более 1 тыс. наименований):
Пиво, яичный белок, раковины устриц, красный перец, полиуретан, спермацет, сахар, сера, дрожжи.

объявляются коммерческой тайной. Агентство разбило химические соединения на четыре категории в зависимости от токсичности и занялось анализом проб.

Более половины всех зарегистрированных веществ попадают в третью категорию: «степень токсичности не установлена». Согласно обзору Северо-западной коалиции альтернатив пестицидам (*NCAP*), многие вещества третьей категории уже признаны опасными согласно положениям о контроле за загрязнением воздуха, о контроле за качеством питьевой воды и другими федеральными законами.

Представители химической промышленности считают, что указание всех «инертных» соединений приведет к большим осложнениям. «У наших конкурентов, покрывающих затраты на производство более дешевой рабочей силой и снижением требований по технике безопасности, появится серьезное преимущество», – комментирует Чип Коллинз (Chip Collins) из фирмы *Stepan*, производителя инертных веществ для разнообразных изделий, в том числе и пестицидов.

Представители *NCAP* и других общественных организаций утверждают, что выявление состава пестицидов под силу хорошо оборудованным лабораториям. Данные о якобы безопасных веществах должны быть доступны согласно закону о свободе информации. Путем подобных запросов *NCAP* получила от Агентства по охране окружающей среды документацию по инертным соединениям в сотнях продуктов, но некоторые запросы остаются без ответа с 1996 г. Кроме того, изготовители пытаются скрыть информацию, утверждая, что ее обнародование нанесет вред компании-производителю. Во время симпозиума Агентство по охране окружающей среды формально отвергло ходатайство *NCAP*, обязывающее компании указывать все инертные компоненты на этикетках пестицидов. Однако ранее, в этом же году, *EPSA* начало проведение экспериментальной программы «Добровольное признание», призывающей производителей сообщать полную информацию о компонентах врачам и токсикологам. Тем не менее успех подобных акций весьма сомнителен. *NCAP* пытается через суд обязать агентство признать ходатайство о полном раскрытии составов химических средств. Принесет ли это какие-нибудь результаты – покажет время. ■

КАК ХОРОШО УМЕТЬ ЧИТАТЬ

Чарльз Чой

Чтение требует распознавания мелких особенностей букв.

PETE McARTHUR

К 25 годам образованный человек успевает прочесть более 100 млн. слов. Однако от этого не становится легче воспринимать знакомые слова. В ходе проведенного недавно эксперимента добровольцы пытались различить английские слова или буквы, скрытые различными уровнями контрастности. Выяснилось, что эффективность чтения зависит не от того, знакомо ли человеку слово, а от того, сколько в нем букв: например, слово из четырех букв распознать в два раза сложнее, чем из двух. Более того, слова оказываются нечитаемыми, если невозможно различить мелкие особенности букв. Это говорит о том, что способность мозга обрабатывать зрительные образы строго ограничена. По-видимому, такой недостаток восприятия вызван необходимостью подавлять рефлекторные попытки мозга распознать множество несущественных деталей. ■

У колыбели Homo sapiens

Кейт Вонг

Новые археологические находки и результаты ДНК-тестов приоткрывают тайну происхождения человека.

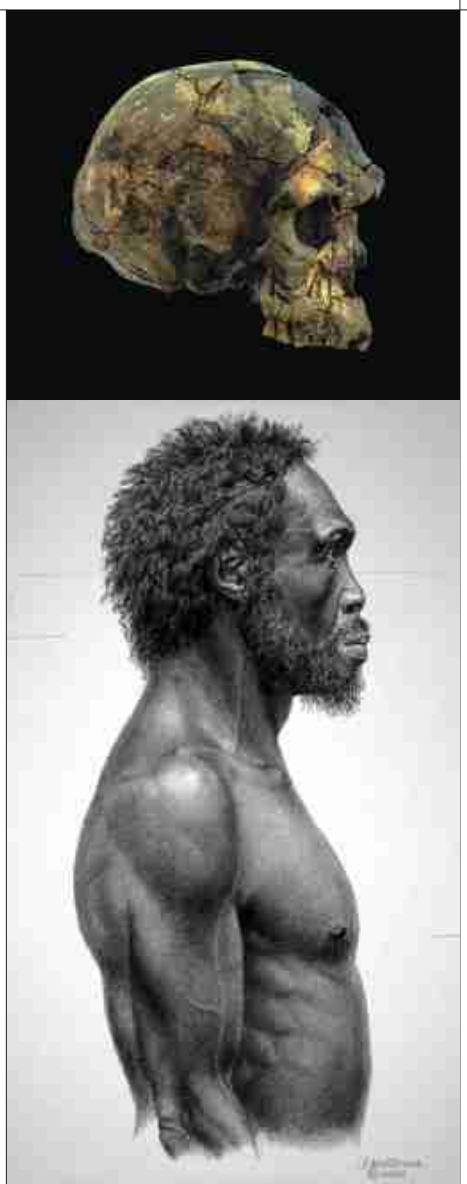
Вот уже более века палеоантропологи спорят о происхождении современного человека. Одни придерживаются африканской теории, которая гласит, что *Homo sapiens* возник в Африке 150–200 тыс. лет назад и затем расселился по всему земному шару, вытесняя древних гоминид; другие поддерживают мультирегиональную версию развития, согласно которой люди в их современном обличье появились одновременно в разных областях Старого Света.

В прошлом десятилетии африканская теория стала почти бесспорной, ее подтверждали многочисленные генетические исследования. Однако ее противники утверждают, что ископаемые останки могут служить доказательством ее несостоятельности. Если Африка была колыбелью современного человечества, то останки первых людей современного облика должны были быть найдены именно там. Однако отсутствие археологических находок 100–300-тысячелетней давности, когда, судя по всему, и происходил переход к современной морфологии, удерживало ученых от полного принятия этой теории.

Новые находки около деревни Херто в районе Афар на востоке Эфиопии заполняют этот пробел. Тим Уайт (Tim D. White) и его коллеги из Калифорнийского университета в Беркли описали в журнале *Nature* три ископаемых черепа, возраст которых около 160 тыс. лет, – это самые древние находки останков, близких человеку современного анатомического типа. Ископаемые останки, названные *H. sapiens idaltu*, внешне очень близки к современным параметрам: они имеют шаровидный череп, но при этом сохраняют некоторые древние особенности, такие как, например, тяжелые надбровные дуги. По мнению исследователей, их возраст и анатомическое строение, сочетающие древние африканские формы с более поздними, и стали теми недостающими звеньями, доказывающими, что нашей прародиной была именно Африка.

Находки из Херто проливают свет и на другую загадку: являются ли неандертальцы одними из предков современных народов? Часть ученых утверждает, что этот древний гоминид не внес никакого вклада в генофонд человечества; сторонники мультирегиональной теории предполагают, что неандертальцы были прародителями современных европейцев. Останки предка *Homo sapiens* были найдены в Африке, в то время как следы неандертальцев обнаружены в основном в Европе – поэтому, считает Уайт, предположение о том, что неандерталец был нашим предком, весьма маловероятно.

К такому же заключению пришли и ученые, работающие с ДНК гоминид. Джорджио Берторелли (Giorgio Bertorelle) из Университета г. Феррары в Италии и его коллеги сообщили, что митохондриальная ДНК (мтДНК) двух древних европейцев заметно отличается от ранее полученной мтДНК четырех неандертальцев. Однако они попадают в пределы диапазона генетической изменчивости современных европеоидов. Но в непричастности неандертальцев к человеческой родословной убеждены не все. Фред Смит (Fred H. Smith) из Университета Лойолы в Чикаго считает, что хотя находка



Почти современный череп человека, жившего 160 тыс. лет назад, найденный в Эфиопии, наводит на мысль, что наши предки пришли из Африки (вверху). На реконструкции видно, как этот человек мог выглядеть при жизни.

© 2001 DAVID L. BRILL Brill Atlanta (top); JAY MATTERNES (bottom)

Митохондриальная ДНК неандертальцев существенно отличается от ДНК современных европейцев. Но некоторые антропологи заявляют, что гарантировать полное отсутствие генов неандертальцев в мтДНК современного человека молекулярная биология не может, так как обычно рассматривает как принадлежащие неандертальцам только те последовательности, отличия которых от человеческих превышают диапазон генетической изменчивость мтДНК современного человека.

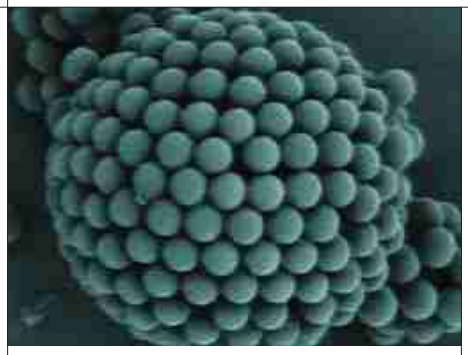
Если бы ДНК неандертальцев была подобна нашей, то обнаружить следы их смешения с человеком современного типа было бы невозможно. Это положение склоняет чашу весов против неандертальцев, которые могли бы иметь ДНК подобную нашей, что подтвердило бы мультирегиональную теорию развития современного человека.

из Херто и добавляет веса теории африканского происхождения современного человека, она не отвечает на вопрос, происходило ли смешение наших предков, переселившихся со своей древней родины, с другими гоминидами. По словам Смита, многие ранние останки, найденные в Европе, имеют черты неандертальцев, что предполагает существование межвидовых групп. Результаты исследований ДНК также не убеждают Смита. «Мы не можем говорить о генетических характеристиках, опираясь всего на два факта, – отмечает он. – Чтобы судить о том, внесли ли неандертальцы свою лепту в гены современного человечества, нужно намного больше информации».

Хотя разногласия по вопросу о происхождении современных людей и судьбе неандертальцев и других древних гоминид сохраняются, сам спор изжил себя. «Теория без фактов мертва, – комментирует Эрик Тринкаус (Erik Trinkaus) из Вашингтонского университета. – Дебаты теперь касаются большего или меньшего смешения». Тринкаус предполагает, что современный человек и древние гоминиды, в том числе неандертальцы, придавали мало значения физическим различиям между собой. «Они видели друг в друге людей и действовали как люди», – считает он. ■

ПОВЕРХНОСТНАЯ УПАКОВКА

Дж. Минкель



Капля воды в панировке из полистироловых зерен диаметром 1 мкм.

Частицы, оказавшиеся на плоской поверхности, будут образовывать узор, похожий на узор из мячей для тенниса, но исследователи годами ломали голову над тем, как будет выглядеть структура поверхности, если эти частицы расположить на сфере. Леонард Эйлер (Leonhard Euler) в XVIII в. доказал, что равносторонние треугольники, вписанные в сферу, будут иметь по крайней мере 12 дефектов – участков, имеющих пятерых соседей вместо шести (вот почему футбольный мяч имеет 12 пятиугольников среди всех шестиугольников). Теперь физики соглашаются с предположением, что напряжение в сферах, состоящих из нескольких сотен или более частиц, уменьшается за счет появления дополнительных дефектов (помимо 12-и о которых говорил Эйлер) – частиц, имющих пять или семь соседей. Эти соседствующие дефекты выстраиваются в линии, или шрамы, длина которых пропорциональна размеру сферы. Ученые использовали микроскоп, чтобы увидеть изображение микроскопических бусинок из полиэстера, покрывающих крошечные водяные капли. Как писали в журнале *Science* от 14 марта, длина шрамов должна быть независима от типа частиц. Этот результат поможет в разработке самоорганизующихся материалов и в понимании строения биологических протеиновых оболочек, а также дефектов в полостях молекул. ■

DAVID A. WEITZ Harvard University

ГОЛОГРАФИЧЕСКОЕ управление

Грэхем Коллинз

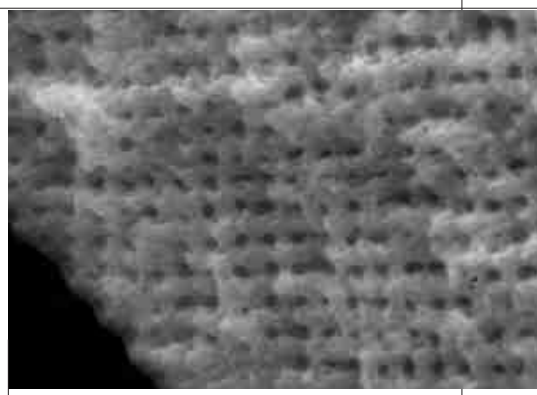
Фотонные кристаллы влияют на свет так же, как полупроводники – на электрический ток. Они представляют собой регулярную решетку полостей в преломляющей среде и отражают или пропускают свет в зависимости от длины волны благодаря специфической интерференции волн, рассеивающихся на отдельных полостях. По своим показателям фотонные кристаллы сильно уступают кремниевым собратьям: модулировать их свойства (например, для переключения между режимами отражения и пропускания) очень трудно. Недавно несколько исследовательских групп продемонстрировали универсальный способ изготовления материалов, состоящих из полимера, начиненного жидкокристаллическими капельками, оптические характеристики которых можно изменять с помощью электрического напряжения.

Смесь молекул мономера и молекул жидкого кристалла помещают между двумя подложками – стеклянными пластинами, покрытыми тонким слоем проводника. Полученный «бутерброд» облучается двумя или несколькими лазерными лучами, направленными и поляризованными так, чтобы получить заданную интерференционную картину – чередование освещенных и темных участков (это голографическая часть метода). В освещенных участках молекулы мономера связываются между собой, образуя сложную полимерную сеть. Она, в свою очередь, присоединяет к себе свободные молекулы мономера, диффундировавшие из темных областей, где концентрируются молекулы жидкого кристалла. В результате получается твердый полимер с жидкокристаллическими включениями, которые образуют структуру, соответствующую темным участкам интерференционной картины.

Поскольку капельки жидкого кристалла с хаотической ориентацией оптических осей рассеивают свет, материал представляет собой фотонный кристалл. Подавая на подложки электрическое напряжение, можно сориентировать оптические оси всех жидких кристаллов в одном направлении. Тогда коэффициент преломления капелек станет таким же, как у полимера, и материал превратится в однородный кусок прозрачного пластика.

Если использовать только два лазерных луча, жидкий кристалл расположится в полимере в виде плоскостей, образующих дифракционную решетку. Устройства такого рода изготавливаются довольно давно – с конца 80-х гг. Они структурированы только в одном направлении и фотонными кристаллами не являются.

В 1999 г. Курт Буш (Kurt Busch) из Университета Карлсруэ и Саджив Джон (Sajeev John) из Торонтского университета предложили использовать жидкие кристаллы для изготовления фотонных (Джон был од-ним из создателей базовой концепции фотонного кристалла в 1987 г.). Сначала кристалл составляли из плотно упакованных шариков кварца, пространство между которыми заполнялось жидким кристаллом. Однако таким способом можно создать лишь ограниченный диапазон структур, изготовление которых требует нескольких этапов. Голографический метод позволяет получать произвольные регулярные решетки за один этап. Для создания полностью трехмерного массива капелек необходимо не менее четырех лазерных лучей, длина волны и направление которых будут определять параметры получаемой структуры, а интенсивность и поляризация – форму и размер отдельных вкраплений жидкого кристалла.



Трехмерная решетка капелек жидкого кристалла (вытравленных для получения этого микроснимка) образует фотонный кристалл, свойствами которого можно управлять, прикладывая электрическое напряжение. Расстояние между полостями составляет около 0,25 мкм.

MICHAEL J. ESCUTI Brown University

УДАРНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ

С помощью компьютерного моделирования Джон Иоаннопулос (John D. Joannopoulos) и его коллеги из Массачусетского технологического института установили (а затем подтвердили экспериментально), что ударные волны в фотонном кристалле позволяют добиться трех важных эффектов.

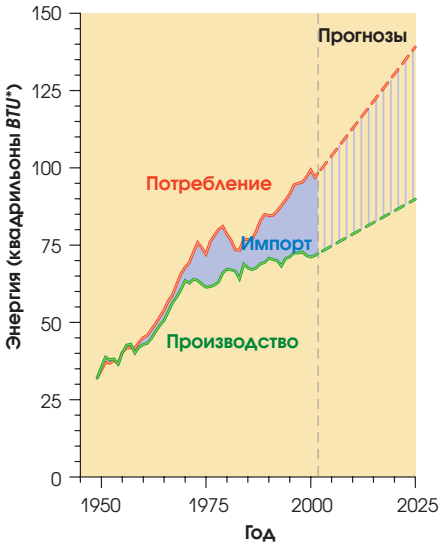
Во-первых, ударной волной можно захватывать свет на контролируемый промежуток времени. Во-вторых, можно без особого труда повышать и понижать частоту световой волны даже при слабой интенсивности потока излучения, что до сих пор удавалось лишь при мега- и терраваттных мощностях. В-третьих, можно сужать спектр излучения в десятки раз без потери световой энергии, чего нельзя достичь ни в одном другом неквантовом процессе.

Недавно такие кристаллы были изготовлены двумя группами ученых. Тимоти Баннинг (Timothy J. Bunning) и его коллеги из Научно-исследовательской лаборатории ВВС США на авиабазе Райт-Паттерсон продемонстрировали трехмерный фотонный кристалл, дифракцию в котором можно было полностью гасить. А Грегори Кроуфорд (Gregory P. Crawford), Майкл Эскути (Michael J. Escuti) и Цзюн Хи (Jun Xi) из Университета Брауна показали, что для «переключения» кристаллов с трехмерной структурой требуется более узкий диапазон напряжений, чем в случае простых одномерных решеток. Также было отмечено, что ширину и расположение запретной зоны (области длин волн, блокируемых кристаллом) можно изменять в небольшом диапазоне, т.е. создавать перестраиваемые фильтры.

Пока оптические свойства жидкокристаллических фотонных кристаллов оставляют желать лучшего, поскольку жидкий кристалл отклоняет свет лишь ненамного больше, чем полимерная матрица. Сейчас ученые работают над созданием кристаллов со значительным различием показателей преломления, которые можно будет использовать в оптических коммутаторах, фильтрах и отражательных дисплеях. ■

КРИЗИСНАЯ СИТУАЦИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Роджер Дойл



Источник: министерство энергетики США. Прогнозы основаны на модели *EIA «Reference»*.

Летняя жара частично спровоцировала калифорнийский энергетический кризис 2001 г., главной причиной которого стали недостаток инвестиций и отсутствие интегрированной сети для передачи электричества из одного района в другой во время чрезвычайных происшествий.

Разрыв между потреблением и производством энергии в США ежегодно увеличивается. Зависимость от импортного топлива ставит страну в опасное положение не только потому, что 53% мировых запасов нефти находится в регионе Персидского залива, но и потому, что в современных условиях становится все сложнее обеспечивать безопасность трубопроводов и международных морских путей. Кроме того, рост внешнего торгового долга с одной стороны, увеличивающаяся потребность в импорте – с другой, делают США экономически уязвимыми. Не все благополучно и с экологией: потребление добываемого топлива приводит к выделению углекислого и других газов, способствующих всемирному потеплению.

Недалек тот день, когда бесперебойные поставки экологически чистой энергии с атомных станций или орбитальных солнечных батарей станут реальностью. Но это произойдет не скоро. В 2001 г. администрация Буша разработала альтернативный план под названием «Национальная энергетическая политика». Он потребует крупных инвестиций в электроэнергетику, в нефтяную, газовую, угледобывающие отрасли. Будут разрешены нефтяные и газовые разработки в Арктическом национальном заповеднике на Аляске. Планируется дальнейшее развитие атомной энергетики и создание общенациональной энергетической сети.

Наиболее важным станет план «Чистая энергия», предложенный консорциумом, включающим Союз заинтересованных ученых. Программа потребует меньше вложений в твердое топливо и больше – в возобновляемые источники энергии.

Через 20 лет, по оценке Союза заинтересованных ученых, предложенные меры сократят ежегодное потребление импортируемой энергии на 20% по сравнению с прогнозом Управления энергетической информации США. По результатам опроса общественного мнения, проведенного Институтом Гэллапа, лишь немногие американцы почувствуют на себе последствия энергетического кризиса. Кроме того, сейчас это не самая главная проблема, с которой столкнулась нация. ■

***BTU**: Британская тепловая единица
1 ккал = 3,97 *BTU*

RODGER DOYLE

ГЛУБОКИЕ ЗАМЫСЛЫ

Сара Симпсон

Путешествие к центру Земли – фантастика?

Если несколько миллионов тонн расплавленного железа влить в небольшую трещину на поверхности планеты, то за пару недель кипящая капля проникнет в глубь Земли на 3 тыс. км и достигнет поверхности ядра. Поместив в погружающийся металл зонд размером с грейпфрут, можно получить массу недоступной информации из земных недр. Так считает Дэвид Стивенсон (David J. Stevenson), планетолог из Калифорнийского технологического института. Многие коллеги открыто высмеивают его мечты, но некоторые ученые сочли проект многообещающим и вполне осуществимым.

Все имеющиеся знания о внутреннем строении Земли получены косвенным путем – в результате анализа сейсмических колебаний, прошедших сквозь планету, и фрагментов мантии, исторгнутых жерлами вулканов. Многие геофизики уже и не надеются провести непосредственные наблюдения: чудовищное давление делает бурение на глубину более 12 км бессмысленным.

Главное преимущество проекта Стивенсона – отказ от бурения. Для создания трещины в поверхности Земли потребуется взрыв мощностью в несколько мегатонн тротилового эквивалента. Затем под воздействием земного тяготения от 50 тыс. до 50 млн. тонн расплавленного железа (которое в 2 раза плотнее окружающей породы) начнут углублять пропасть, подобно топору, раскалывающему бревно. Гигантское давление, достигающее внутри мантии 135 ГПа (1,33 млн. атм.), будет способствовать закрытию трещины.

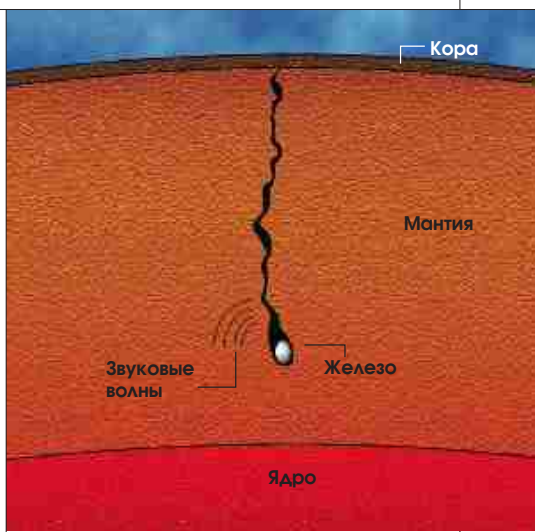
Труднее всего будет управлять формой разлома: через естественные трещины часть железа будет отклоняться от намеченного маршрута. Кроме того, по мере продвижения в глубь довольно холодной земной коры металл будет остывать и затвердевать.

Стивенсон признает, что для преодоления всех технических трудностей придется расплавить уйму железа. Еще один немаловажный вопрос: сколько времени и денег уйдет на создание такого зонда, который сможет выдержать все трудности долгого путешествия и передать ценную информацию из недр планеты на поверхность? Электронику, похоже, придется изготовить из алмаза, а передачу данных осуществлять с помощью звуковых волн малой мощности.

Общая стоимость эксперимента может смутить даже руководителей *NASA*. Но несмотря на то, что от дерзкого проекта проще отказаться, главное уже достигнуто: впервые за много лет геофизики и сейсмологи всерьез задумались о практическом воплощении своей заветной мечты.

Десять лет мысль о путешествии к центру Земли не покидала Стивенсона. И вот однажды, вдохновленный просмотром геофизического триллера *Paramount Pictures* «Ядро», он доработал свои идеи и изложил их на бумаге всего за шесть часов.

Стивенсон надеется, что коллеги серьезно отнесутся к его проекту. За последние 40 лет *NASA* истратила $10 млрд. на беспилотные исследования космоса. Незадачливый геофизик считает, что исследование родной планеты требует не меньших инвестиций. «Изучение состава и распределения температур в мантии и ядре помогут нам раскрыть тайну происхождения нашей планеты, – говорит Стивенсон. – Но мы так ничего и не узнаем, если не спустимся в ее недра». ■



ПОГРУЖЕНИЕ: Опускаясь вместе с озером расплавленного железа к ядру планеты, зонд посредством механических колебаний будет передавать на поверхность данные о температуре и составе породы.

ПОБОЧНЫЕ ЭФФЕКТЫ

Проект отправки к центру Земли гигантской капли расплавленного железа порождает несколько проблем. При сжигании ископаемого топлива, необходимого для плавления 50 млн. тонн железа, резко обострится проблема глобального потепления: домна выбросит около гигатонны двуокиси углерода – примерно 15% от ежегодно выделяемого общемирового объема этого парникового газа. Однако в случае успеха схема Стивенсона может стать средством борьбы с глобальным потеплением. Погружение в недра планеты – неплохой способ избавиться от ядерных отходов. А если проблема их утилизации будет снята, то ускорится переход от угольных электростанций к атомным.

NINA FINKEL; SOURCE: CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ЯЗЫКОЗНАНИЕ: ЯЗЫК ЦВЕТОВ

Ольга Василенко

В мире нет ничего постоянного,
кроме непостоянства.
Джонатан Свифт

При изучении иностранного языка эффективным считается метод сопоставления, т.е. выявления близости, универсализма или аналогий между лексическими единицами иностранного и родного языка или ранее изучавшегося иностранного языка. Данный метод не нов, но анализ характерных особенностей универсалий языкового общения требует более глубокого системного подхода. Метод основан не только на явлении интерференции языков, но и на определенных глубинных процессах, связанных с особенностями человеческой психики вообще и речи как мыслительного процесса в частности. Языковеды давно признали, что в основе мышления лежат одни и те же психологические и логические процессы, свойственные всем людям, независимо от языка, на котором они говорят.

Эмоции, которые составляют мотивационную основу человеческой деятельности, не могут не отражаться в языке. Человек как создатель и носитель языка взаимодействует с другими людьми, предметами и явлениями окружающего мира, испытывает различные эмоции (психологи насчитывают их более 500), специфика которых заключается в том, что они – одновременно и объект отражения в языке, и инструмент отражения самих себя и других элементов действительности, не отторжимый от субъекта, испытывающего эмоции. Таким образом, в каждом языке создается своя система ценностей, входящая в число языковых универсалий.

Как, например, метафорически выразить понятие благополучия? В русской классической традиции ему соответствовало слово «малина». Известно расхожее выражение: «не жизнь, а малина»*. «Он живет в малине», – говорит про Ивана Карамазова завидующий ему Ракитин. Английский реципиент (АР) выразит аналогичную мысль сопоставлением с клевером: «*He lives in clover*». Такое различие объясняется разницей в системе ценностей.

Отличия в этическом отношении к этим растениям у русских и англичан нет; географически клевер и малина одинаково широко распространены как на территории России, так и на Британских островах. Очевидно, истоки подобного выбора нужно искать в далеких временах, когда сахар для русского человека был неслыханным лакомством и его в определенной степени заменяла малина.

Известно, что национальная литература влияет на формирование культурных традиций, которые составляют часть общественного сознания индивидуума. Анализ литературного произведения с позиций условности понятий приводит иногда к переосмыслению даже хорошо известного произведения. Казалось бы, пьеса Шекспира «Гамлет» не нуждается в комментариях – настолько основательно она проанализирована А. Аникстом в книге «Трагедия Шекспира «Гамлет». Однако сопоставительный анализ подлинника и его переводов выявляет многозначность образов художественного произведения. Вспомним сцену появления безумной Офелии: она входит в странном убранстве из соломы и цветов и поет песенку о коварном паже, который похитил дочь рыцаря. Обращаясь к Лаэрту, она говорит: «Вот розмарин, это для того, чтобы помнить; прошу тебя, любовь моя, помни обо мне; а вот анютины глазки – они для размышлений... Вот укроп для тебя и водосбор; вот рута для тебя и для меня... О, ты должен носить руту по другому поводу. Вот ромашка; я бы дала тебе фиалок, но они все завяли с тех пор, как умер мой отец. Говорят, что он умер спокойно». К сожалению, известные советские

*В наши дни слово «малина» приобрело новый смысл. Оно обозначает бандитский притон и стало компонентом устойчивого словосочетания «воровская малина».

комментаторы Шекспира А. Аникст и М. Морозов прошли мимо глубинной символики букета Офелии. Простое перечисление цветов ни о чем не говорит русскому читателю.

При дословном переводе как бы был утерян «художественный шифр», так как розмарин, водосбор и рута не входят в общепринятую цветочную символику России. Наша поэзия и проза выработала свой код на основе хорошо известных и распространенных на нашей территории растений, каждому из которых приписываются особые свойства или символическое значение. Поэтому, чтобы иносказание Офелии стало понятнее русскоязычному читателю, в ее букете должны были быть другие цветы– одуванчики, анютины глазки, желтые розы, укроп, незабудки и ноготки (см. таблицу).

Все переводчики «Гамлета» понимали, что букет Офелии необходимо изменить в соответствии с русским цветочным кодом. Ближе всех подошел к решению этой проблемы Николай Полевой. В его переводе появились незабудки и ноготки, но пиетет к гениальному драматургу был столь велик, что переводчик не решился на коренные преобразования. В результате эпизод с букетом как призыв к отмщению так и остался непонятным.

Наряду с этим существует цветочный код, свойственный лишь английской и американской литературе.

Таким образом, социально-психологические универсалии отражают характерные особенности нации – носителя языка. В результате в любом языке формируются устойчивые фразеологические образования, которые можно использовать и в педагогическом процессе. ■

Букет Офелии

Абстрактные понятия	Цветочный код в англоязычном общении	Цветочный код в русскоязычном общении
Ветреность	Ромашка	Одуванчик
Задумчивость	Анютины глазки	Анютины глазки
Измена	Водосбор	Желтая роза
Лесть	Укроп	Укроп
Память	Розмарин	Незабудка
Печаль	Рута	Белая гвоздика, астра, ноготки

Совпадение цветочного кода в АО и РО

Английское название	Русское название	Символическое значение в АО и РО
Cornflower	Василек	Деликатность, изящество
Daisy	Маргаритка	Невинность
Forget-me-not	Незабудка	Память
Lavender	Лаванда	Недоверие
Lilac	Сирень	Первые волнения любви
Lily	Лилия	Чистота, девственность
Lily of the valley	Ландыш	Вернувшееся счастье
Marigold	Ноготок	Скорбь
Pansy	Анютины глазки	Память
Red rose	Красная роза	Любовь
White rose	Белая роза	Платоническая любовь
Yellow rose	Желтая роза	Измена
Red tulip	Красный тюльпан	Признание в любви
Yellow tulip	Желтый тюльпан	Безнадежная любовь
Black tulip	Черный тюльпан	Смерть
Violet	Фиалка	Скромность, верная любовь
Water-lily	Кувшинка	Чистота сердца

Отсутствие цветочного кода АО в РО

Английское название	Русское название	Символическое значение в АО
Crown Imperial	Персидская лилия	Власть и величие
Daffodil	Желтый нарцисс	Внимание и заступничество
Foxglove	Наперстянка	Неискренность
Gentian	Горечавка	Несправедливость
Geranium: dark, pink, scarlet	Герань: розовая, темно-красная, алая	Меланхолия, предпочтение, утешение
Hollyhock (holily)	Алтей розовый	Честолюбие
Honeysuckle	Жимолость	Расположение
Iris	Ирис	Послание
Ivy	Плющ	Верность
Nasturtium	Настурция	Патриотизм
Orchid	Орхидея	Красота
Peony	Пион	Стыд
Phlox	Флокс	Согласие
Poppy	Мак	Экстравагантность
Primrose	Примула	Ранняя юность
Speedwell	Вероника	Женская верность
Sunflower	Подсолнух	Высокомерие
Wallflower	Желтофиоль	Верность в несчастье

«ЭЛЕКТРОННОЕ ЗАВТРА» УЖЕ СЕГОДНЯ

Информационные структуры не просто являются частью современной цивилизации, без них невозможно представить поступательное развитие ни одной отрасли современной науки, техники, культуры. Они открывают совершенно неожиданные перспективы даже в таких далеких от техники областях, как литературоведение и фольклористика. Выставка «Инфоком-2003», которая одновременно проходила в Москве, Нижнем Новгороде, Краснодаре, Новосибирске и Екатеринбурге, отражает современный уровень развития отечественных информационных систем и демонстрирует новейшие достижения в этой области.

Практическое применение инфокоммуникационных технологий (ИКТ) было представлено в тематической экспозиции «Электронная Россия». Она состояла из нескольких разделов, в каждом из которых демонстрировалось использование ИКТ в определенной сфере деятельности – государственном управлении, торговле, медицине и образовании. Система электронных госзакупок, созданная в Институте системного анализа РАН, была представлена на примере обеспечения Владимирской и Смоленской областей. Информационные ресурсы серверов областной администрации – свыше 600 тыс. документов, поступающих из 140 источников. Для работы с ними созданы специальные нормативно-правовые и социально-экономические базы данных. Во всех органах исполнительной власти этих регионов внедрена система электронного делопроизводства. На выставке можно было увидеть одну из 196 точек доступа к этой системе.

Еще один раздел выставки – федеральные интегрированные базы данных, такие как «Контрагент-М», которая содержит информацию о товарах и услугах. Пока она охватывает только самые крупные города страны, но в недалеком будущем она соберет информацию по всей России и СНГ. Успешный опыт работы подобной системы в туристической отрасли показывает «Матисс» – интернет-площадка для продажи блоков мест на чартерные авиарейсы. Она сводит к минимуму рутинную работу по сопровождению сделки, заменяя многочасовые переговоры по телефону и факсу.

В разделе «Электронная инфраструктура» представлены комплексы технологий и программных средств для корпоративных интегрированных систем управления в различных отраслях – машиностроении, науке, образовании. Они включают в себя нормативные документы, программное обеспечение и методические материалы для обучения персонала. Фрагмент такой сети на базе Интернет-протокола нового поколения *IPv6* был показан на стенде Ярославского госуниверситета.

Экспозиция раздела «Телемедицина» продемонстрировала уже реализованные проекты, в частности единые общероссийские консультационные сети, работающие в Чувашии и Поволжье. Интересен был и региональный телемедицинский центр Нижегородской клинической больницы. На его стенде каждый посетитель мог получить медицинскую консультацию.

Работа современных инфокоммуникаций может быть эффективной только при высоком уровне защиты сетей от несанкционированного доступа, а также обеспечении конфиденциальности информации. Новейшим технологическим решениям в данной области был посвящен целый раздел выставки. На протяжении ряда лет лидером в этом направлении является компания «Анкад». На выставке можно было увидеть устройства и программные средства защиты информации: встраиваемые модули, адаптеры, а также аппаратно-программный криптографический комплекс. Компания представила и новинки – агент для ОС *Windows 2000* и сетевой адаптер *AncNet 100*. Они позволяют удаленным мобильным пользователям обмениваться зашифрованной информацией, а также получать доступ к защищенным сетям с высоким грифом секретности.

Еще одна новинка – комплекс «Удостоверяющий центр *VipNet*» для создания инфраструктуры открытых ключей в различных корпоративных сетях. Он соответствует требованиям законодательства об электронной подписи и гарантирует высокий уровень безопасности.

В рамках выставки прошел третий международный форум «Инфоком-2003», посвященный 40-летию отечественной школы региональной информатизации и 80-летию ее основоположника – академика В. М. Глушкова. Головным мероприятием стала конференция «Современные технологии в проектах информатизации», в которой приняли участие практически все крупнейшие фирмы-производители программных услуг, работающие в России. На отдельном заседании были подведены итоги реализации федеральной целевой программы «Электронная Россия» за 2002–2003 годы. В заключительный день работы конференции состоялось заседание совета главных конструкторов информатизации регионов РФ. На нем

выступали представители крупнейших мировых *IT*-производителей – *IBM*, *ZITE* и других.

Особая область разработок, представленных на выставке, тонкие клиенты – терминальные устройства, сконфигурированные для выполнения конкретных задач. Известно, что большинство предприятий и учреждений используют всего 15–17% возможностей своих компьютеров. Тонкие клиенты не имеют жесткого диска и прочих внутренних накопителей информации. В результате все необходимые данные и ПО хранятся на сервере, от чего многократно возрастает надежность и защищенность системы, а ее стоимость снижается.

Все участники выставки получили блестящую возможность для демонстрации своей продукции и установления полезных связей как с российскими предприятиями, так и с зарубежными фирмами и бизнесменами. ■

на Урале нашли самую восточную точку Европы

Дмитрий Мисюров

В сентябре 2003 г. специальная российско-белорусская экспедиция установила на Урале граничный знак, отмечающий самую восточную точку континентальной части Европы. Таким образом, контуры Европы в начале XXI в. обрели уточненные очертания.

Если береговая линия Европы на юге, западе и востоке позволяет точно обозначить соответствующие крайние точки, то ее восточная, сухопутная, граница оставалась предметом дискуссий. Было время, когда восточная граница Европы проводилась по Бугу, по Волге, предлагалось включить в Европу всю систему Уральских гор. Но в конце концов границу было решено провести по главному водоразделу, тогда же теоретически вычислили самую восточную точку этой линии, по одну сторону которой реки текут в Европу, а по другую – в Азию. Заветная точка находится на границе Республики Коми и Ямало-Ненецкого автономного округа на высоте около 400 м над уровнем моря (т. е. это не самая высокая точка Урала). Примерные ее координаты – 67 градусов северной широты и 66 градусов восточной долготы (между верховьями рек Малая Щучья, впадающей в Обь, и Малая Уса, несущей свои воды в Печору).

Справочники обычно дают координаты крайних точек с точностью до одной минуты (на местности им соответствует площадь в несколько квадратных километров). Для экспедиции было важно исходя из рельефа местности определить точные параметры и установить граничный знак с указателем «Европа–Азия». Оказалась, что в действительности местоположение самой восточной точки Европы расходится с теоретическими расчетами на несколько километров (сейчас данные уточняются до секунд). В будущем это, возможно, будет иметь значение при составлении атласов, карт, определении площади и «центра» Европы.

Граничный знак на фоне Уральских гор.

Сейчас знаки, отмечающие центр Европы, установлены на Украине, в Беларуси, в Польше. Причем в Польше знак был установлен еще в XVIII в.

Инициаторами экспедиции начала XXI в. стали белорусские энтузиасты: заведующий кафедрой философии и культурологии Брестского государственного технического университета Георгий Грибов и его единомышленники. Сотрудник Института географии РАН, ученый секретарь Московского центра Русского географического общества Сергей Буланов научно обосновал цели экспедиции: «Для нас было важно не столько вычислить теоретические параметры, сколько реально, на месте проследить линию водораздела и найти ее самую восточную точку», – говорит он. «С одной стороны – это только географический объект, с другой – его бы не было, если бы развитие мировой цивилизации началось, скажем, с Чукотки. Тогда понятия Европы как отдельной части света могло бы и не существовать», – считает Буланов.

Итак, знак на самой восточной точке Европы установлен. Стала ли Европа ближе к Азии? На этот «междисциплинарный» вопрос россияне будут искать ответ еще очень долго... ■

ЕСТЬ ЛИ В РОССИИ таланты?

2 октября 2003 г. на пресс-конференции в зале гостиницы «Золотое кольцо» жюри литературной премии «Букер-Открытая Россия» огласило список произведений, авторы которых стали финалистами премии-2003. Премия присуждается за лучший роман, опубликованный на русском языке в предшествующем году. С 2002 г. генеральным спонсором букеровской премии в России является общественная организация «Открытая Россия», созданная для поддержки наиболее интересных писателей. С 2003 г. к конкурсу допускаются не только книги, но и журнальные публикации.

В этом году из 31 номинанта были отобраны 6 финалистов: Н. Галкина, Г. Гонсалес, Л. Зорин, А. Мамедов, Е. Чижова, Л. Юзефович. Авторы различаются по мировидению и особенностям индивидуального стиля, но их объединяет высокий уровень мастерства и стремление решать традиционные проблемы новыми художественными приемами.

Перед жюри, однако, стоял нелегкий выбор, по общему мнению, высказанному председателем жюри, главным редактором журнала «Звезда» писателем и публицистом Я. Гординым, на соискание премии было выдвинуто множество авторов, близких по уровню литературного мастерства. Вместе с тем нельзя не согласиться с членом жюри пианистом Н. Петровым, критически заметившим, что среди отобранных произведений нет такого, которое можно безоговорочно признать талантливым.

Состав жюри премии ежегодно обновляется. Неизменным остается лишь секретарь – в последние годы им является профессор РГГУ И. Шайтанов. В нынешнее жюри помимо уже названных Гордина и Петрова вошли критик И. Роднянская, поэт и издатель М. Амелин, критик Н. Александров. ■

«Либерти-2003»

Алла Рогова

В Американском университете в Москве состоялось вручение ежегодной премии «Либерти-2003». Она присуждается за выдающийся вклад в развитие культурных связей между Россией и США.

«Либерти» – первая ежегодная премия российской диаспоры в Америке. Идея ее создания принадлежит нью-йоркскому культурологу и музыковеду Соломону Волкову: «До начала 90-х по ряду социальных и политических причин было не принято говорить о том, что существует единая российско-американская культура, ярчайшими представителями которой стали Владимир Набоков, Иосиф Бродский, Игорь Стравинский, Джордж Баланчин. Явление существовало, но премии, которая поддерживала бы его, не было до 1998 года». Среди лауреатов прошлых лет писатель Василий Аксенов, поэт Лев Лосев, художник Олег Васильев, философ Михаил Эпштейн, директор Библиотеки конгресса США Джеймс Биллингтон.

Лауреатами «Либерти» этого года стали: издатель и редактор журнала «Новое литературное обозрение» Ирина Прохорова, поэт и автор фельетонов Лев Рубинштейн, а также переводчик Виктор Голышев. Каждый из награжденных так или иначе способствовал взаимопроникновению русской и американской культур. Победители получили памятные дипломы и скромное денежное вознаграждение.

Министр культуры РФ Михаил Швыдкой в одном из выступлений отметил, что между Россией и Америкой существуют разнообразные культурные связи. В минувшем году состоялись такие важные мероприятия, как фестиваль российского кино в Голливуде и Первый российско-американский конкурс имени Рахманинова в Пасадине. Однако контакты литературной общественности США и России он назвал проблемными.

Финансовый партнер премии, президент Американского университета в Москве и «Русского дома» в Вашингтоне, Эдуард Лозанский сказал, что премия, как и «Русский дом» в Вашингтоне и Американский университет в Москве, поддерживает сближение России и США, превращение их в стратегических партнеров, союзников.

В этом году премии «Либерти» исполняется пять лет. Впервые награждение проходило в Москве, что стало знаменательным событием в культурной жизни России. ■

ПОЗНАВАЕМО ЛИ ВРЕМЯ?

Карина Тиванова

Достижения научной мысли неоспоримы, но остается еще масса вопросов, на которые она не может дать однозначный и точный ответ.

Время... Оно изменяет мир вокруг нас, изменяется само и не позволяет нам остановиться. Нам всегда не хватает времени, но оно всегда рядом с нами. К нему нельзя прикоснуться – можно только ощутить его бег и попытаться понять, что же оно представляет собой – феномен или ноумен (от греч. – непознаваемая «вещь в себе»), познать его природу, которая до сих пор ускользает от нас...

Исследовать феномен времени издавна пытаются специалисты в различных областях знаний. В результате этих изысканий постепенно формируется новая наука – темпорология. Российские ученые вносят немалый вклад в ее развитие. С 1984 г. в МГУ им. М. В. Ломоносова ежегодно проводится Российский междисциплинарный семинар по темпорологии под руководством А. П. Левича. Исследования ведутся по целому ряду направлений: это и создание моделей времени; и постижение природы изменчивости мира и разработка адекватных способов ее измерения; и приложение моделей времени к законам изменчивости в предметных областях науки; и экспериментальное исследование природных референтов времени; и соотнесение созданных конструкций времени с понятийным базисом естествознания.

Цель этих ежегодных мероприятий – представить наиболее полный обзор современных концепций времени, помочь исследователям понять интуитивные и эксплицитные представления о нем, способствовать популяризации новых научных идей. Семинар создает условия для профессионального изучения феномена времени, для консолидации ученых разных стран, занимающихся данным вопросом. Очень важно, что российские ученые поддерживают контакты с зарубежными коллегами. Этому способствует финансовая поддержка форума различными фондами, в частности, Фондом фундаментальных исследований и Гуманитарным фондом.

В этом году правительство Москвы выделило гранты на проведение семинара, что позволило расширить состав участников и пригласить гостей из других регионов: Дагестана, Украины, Канады, – которые представили доклады с изложением своих концепций.

Участники конференции получили возможность познакомиться с перечнем приоритетных направлений работы семинара: является ли время необходимой составляющей бытия; можно ли создать модель времени; нужны ли для объяснения феномена времени новые понятия; как измеряется специфическое время в предметной области исследований и т.д.

Несомненно, работа над подобными проблемами представляет значительный интерес для участников научных заседаний. ■

Уважаемые читатели!

В сентябрьском номере нашего журнала (№9/2003г.) были допущены две досадные опечатки:
иллюстрация на стр. 62, справа внизу:
напечатано «БЕЗМАССОВЫЕ БОЗОНЫ: Протон, Глюон», должно быть «БЕЗМАССОВЫЕ БОЗОНЫ: Фотон, Глюон»;
иллюстрация на стр. 63, самый верхний рисунок с индексом а):
напечатано «Протон, Электрон», должно быть «Фотон, Электрон».
Приносим свои искренние извинения и благодарим внимательных читателей, заметивших ошибку и сообщивших о ней.

Редакция

экономика знаний

Алла Рогова

Чем отличается экономика знаний от классической стандартной экономики? Прежде всего существенным изменением философии: если раньше экономика знаний была важным, но не главным элементом мировой экономики, то сейчас она приобретает все большее значение. И подходить к ней без должного внимания в высшей степени неразумно.

30 сентября в конференц-зале ММВБ состоялось очередное заседание Никитского клуба, ученых и предпринимателей, посвященное теме «Экономика знаний» в контексте российских проблем. Перед собравшимися выступил президент клуба, профессор Сергей Петрович Капица. Он отметил, что сегодня экономика знаний определяет развитие общества и бросает вызов привычной концепции рынка, поскольку распространить рыночные законы на знания невозможно. Знания обладают способностью бесконтрольно умножаться и распространяться – поскольку обмен идеями ведет к приумножению знаний каждого индивидуума. В конечном итоге система образования и формирует экономику знаний. Специалисты только сейчас начинают понимать, какое место занимает экономика знаний в нашем мире.

Затем председательствующий передал слово академику, директору ЦЭМИ РАН Валерию Леонидовичу Макарову, который в общих чертах изложил свой взгляд на экономику знаний и понимание связанных с этим проблем в обществе.

Академик РАН В. Л. Макаров, профессор С. П. Капица, вице-президент Никитского клуба Н. М. Румянцева, академик РАН В. С. Мясников

В. Л. Макаров отметил, что в последнее время на общественное развитие влияют два фактора: повсеместное развитие рыночных отношений и знания, которые формируют общество знаний, т.е. такое общество, в котором каждый человек их производит или потребляет. Сочетание понятий рыночной экономики и экономики знания приводит к осмыслению необходимости формирования новых понятий. Их отсутствие превращается в серьезную проблему; например, когда перед юристами встают вопросы, связанные с охраной интеллектуальной собственности или в тех случаях, когда знание становится фактором производства и тогда возникает необходимость в оценке нематериальных активов, их рыночной стоимости. В России ни юристы, ни экономисты, ни ученые пока не научились грамотно продавать свои идеи, интеллектуальную собственность, что свидетельствует о низком уровне профессионализма в этой области.

В последнее время появилось множество публикаций о роли доверия («научного капитала») в экономике: там, где его уровень высок, экономическое развитие идет быстрее. На доверии строятся отношения между людьми и компаниями, между народом и властью. Уровень доверия подлежит измерению, и тот факт, что люди держат деньги в чулке, а не в банке, в основном связан именно с дефицитом доверия. Поэтому в экономике знаний доверие имеет принципиальное значение, без него распространение знания невозможно. Если ученый намерен продать знание, он не может сделать это по частям, а вынужден

предоставить покупателю все данные на момент совершения сделки.

В обществе знаний классические рыночные отношения видоизменяются, так как конкуренты (скажем, *Intel*, *IBM*, *Microsoft*, *Sony*) вынуждены доверять друг другу и объединяться в стратегические альянсы для того, чтобы дополнять друг друга и эффективно работать в данной сфере знаний. Это вынужденные шаги. Таким образом, доверие становится ключевым условием для того, чтобы знания стали фактором и источником роста благосостояния.

В экономике знаний существует два противоположно направленных процесса. С одной стороны – производство фундаментальных знаний концентрируется в нескольких центрах, с другой – прикладное знание и его потребление мгновенно распространяется по всему миру.

Только пять стран мира являются производителями фундаментального знания, и Россия может выйти из их числа из-за пресловутой утечки мозгов. Так, за рубеж уезжает до 80% математиков.

В странах-производителях сосредоточены и крупнейшие научные центры. В Москве и Петербурге концентрация научных кадров одна из самых высоких в мире, что, несомненно, является преимуществом, которым необходимо пользоваться. Однако формально правильное решение о поддержке и развитии наукоградов (речь идет о том, чтобы присвоить определенный статус 40–80 центрам, хотя реально в стране знания производятся в двух-трех) может оказаться ошибочным. Концентрация фундаментальной и прикладной науки в научных центрах может привести к ряду социальных проблем, таких как перераспределение плотности научных сотрудников, а значит – к миграции ученых.

Важным элементом производства знаний и их практического применения стало «неотделимое знание» (*tacit knowledge*). Оно может быть как персональным, так и коллективным. В отличие от кодифицированного, которое отделимо от человека и может быть передано людям без личного контакта (учебники, словари, энциклопедии, документальные фильмы, интернет-ресурсы), персональное, или личностное, знание существует только в голове человека и передается от учителя ученику. Неотделимым знанием может обладать не только человек, но и коллектив. Так, коллектив КБ Королева, производивший уникальные ракеты, может быть примером неотделимого знания. Если привлечь к работе людей со стороны вне зависимости от уровня их квалификации, то положительный результат достигнут не будет.

Г. А. Тосунян, президент Ассоциации российских банков.

Неотделимое знание можно измерить, и если речь идет об экономике, то возникает вопрос: как продать то, что неотделимо? Вместе с носителем? В нашей стране, так же как в большинстве развитых государств, формируется своеобразный «рынок ученых», хотя еще не ясно, как он будет выглядеть. Но уже существует «рынок спортсменов», на примере которого можно понять законы ценообразования. Уже сформировался мировой рынок обладателей степени *PHD* (кандидата наук), который действует по своим законам. Согласно им, спрос определяет предложение, а люди в каком-то смысле продаются и покупаются. У нас пока можно говорить (и то с натяжкой) о рейтинге ученого, который может зависеть от звания, количества публикаций и т. д. Но уже недалеки те времена, когда каждому специалисту будет назначаться цена – такова экономика неотделимого знания. С этой точки зрения неотделимое знание, несомненно, станет конкурентным преимуществом россиян: так передача знаний от учителя ученику, персональный контакт давно вошел в традиции отечественной научной школы. Консервативное отношение к нововведениям в системе российского образования связано, возможно, с приоритетами неотделимого знания по сравнению с кодифицированным в сознании россиян.

Теперь хочется сказать о собственно экономике. Почему натуральная интуиция не срабатывает в отношении экономики знаний? Если говорить об интеллектуальной собственности, стандартная аналогия такова: некий продукт (в данном случае знание) необходимо продать на рынке, стало быть, у него есть собственник и цена, по которой он продается. Если знание продано, то собственник меняется.

А. М. Караченский, президент группы компаний IBS

Материальный продукт можно уничтожить. Но как разрушить знания? Для этого нужно создать новое знание, более совершенное, чем предыдущее, т.е. процесс разрушения в данном случае работает во благо, так же как и воровство знаний. Очевидно, что кража осуждается общественной моралью и подлежит наказанию по закону. Но хищение знания способствует его широкому распространению, делает открытия доступными многим и тем самым повышает благополучие человечества. Вопрос о хищении знаний воспринимается неоднозначно. В этом случае естественная интуиция опять не срабатывает.

Последнее время идет много дискуссий по поводу так называемого открытого кода. Допустим, некое достижение находится в общественной области и принадлежит всему человечеству. Если кто-то усовершенствовал его, он не может закрыть свободный доступ к данной информации, а должен оставить ее во всеобщем пользовании. Например, если ученый доработал открытую операционную систему *Linux* и создал новую модификацию *Linux*, он должен вернуть ее сообществу программистов, а не продавать услуги, связанные с использованием новой системы, и получать от этого прибыль. Общепринятой системы ценообразования в этой области не существует, поскольку классическое экономическое определение цены как предельной полезности в данном случае не применимо, так как предельная полезность, очевидно, равна нулю, потому что следующая копия, как правило, бесплатная. В экономике знаний стандартные экономические законы не работают – все оказывается гораздо сложнее. Так, в экономике существует такое понятие, как «дискриминационные цены» – они устанавливаются монополиями и проводят дискриминацию по уровню дохода. Во всех развитых странах были приняты законы, признающие дискриминационные цены первым признаком монополизации, с которой необходимо бороться. В экономике знаний все наоборот: именно дискриминационные цены способствуют эффективному распространению знаний. Например, компьютерные программы или учебники продаются университетам по самой низкой цене, физическим лицам – чуть дороже, а коммерческие организации платят за них самую высокую цену. Подобных примеров можно привести множество.

До недавнего времени знания оставались обычным классическим продуктом: был производитель знания (ученый, учитель) и потребитель (например, студенты). В современных условиях в его производстве участвует и производитель, и потребитель знания. Не случайно Бюро экономического анализа включают в свои творческие коллективы зам. министров или руководителей департаментов. Носитель спроса стал участником производства знаний в современном мире, что закрепляется институционально. Создаются временные творческие коллективы или фирмы для решения одной конкретной задачи. Иногда такие подходы противоречат интуиции и здравому смыслу, но это и есть сочетание рыночных механизмов и знания.

В России осознание подобных процессов дается с трудом, поскольку кардинальные изменения происходят очень быстро – на памяти одного поколения.

Сергей Петрович Капица отметил, что в своем докладе Валерий Леонидович Макаров обозначил круг общественно-значимых проблем, крайне важных для развития современного российского общества. Он подчеркнул, что экономика знаний – типичное нелинейное явление. Происходит такая концентрация знаний, при которой их сумма не равна сумме арифметической: факторы умножаются, а не складываются, и это определяет законы нелинейного мира, который описывается синергетикой и требует иной интуиции. Классическая экономика считается линейной, в ней, например, действует закон сохранения и обратимости обмена: купил – продал – купил и т.д. В основе же экономики знаний лежат только нелинейные явления, связанные с необратимостью обмена знаниями, их умножением и кооперативными эффектами при их получении и использовании. Обмен и распространение знаний способствует их умножению, а университеты и вся система образования служат средством для этого. ■

ПОД ЗНАКОМ ВОДЫ

Марина Смирнова

«Вода! У тебя нет ни вкуса, ни цвета, ни запаха, тебя не опишешь, тобой наслаждаешься, не понимая, что ты такое. Ты не просто необходима для жизни, ты и есть жизнь. С тобой во всем существе разливается блаженство, которое не объяснить только нашими пятью чувствами. Ты нам возвращаешь силы и свойства, на которых мы уже поставили было крест. Твоим милосердием снова отворяются иссякшие родники сердца.

Ты – величайшее в мире богатство, но и самое непрочное, – ты, столь чистая в недрах земли... Ты не терпишь примесей, не выносишь ничего чужеродного, ты – божество, которое так легко спугнуть.

Но ты даешь нам бесконечно простое счастье».

Это цитата из «Планеты людей» Антуана де Сент-Экзюпери, и, вероятно, лучшее, что когда-либо было сказано о воде...

На заре XXI в. человечество, похоже, пришло к пониманию того, что вода – не есть нечто, данное от Бога раз и навсегда, неисчерпаемое и вечное благо, что это – хрупкая и драгоценная субстанция, требующая бесконечно бережного отношения, от которой в конечном счете зависит судьба рода человеческого.

В сентябре 2002 г. на Всемирном саммите по устойчивому развитию в Йоханнесбурге ЕС объявил о начале осуществления Глобальной водной инициативы, цель которой – координация действий по управлению водными ресурсами. А 2003 г. был объявлен ООН годом питьевой воды.

Голубая планета

Мы, люди европейской цивилизации, не задумываемся о том, что более миллиарда людей на планете не имеют регулярного доступа к источникам пресной воды, от 2 до 3 млн. (по различным источникам) ежегодно умирают от болезней, связанных с нехваткой чистой воды и скверными санитарными условиями. Проблема обеспечения доступа к воде и системе канализации вызвала наконец обеспокоенность международного сообщества. По статистике, 40% населения Земли проживает в регионах, испытывающих нехватку воды, а к 2005 г. эта цифра составит 5,5 млрд. человек, или 2/3 населения планеты. Все большую нехватку воды ощущает Северная Африка и Южная Азия. Общеизвестно, что население Земли растет значительно быстрее, чем производство средств существования. Та же участь постигла и воду – расход воды за XX в. возрос шестикратно и вдвое превысил темпы роста населения.

Мы поэтично называем свою Землю голубой планетой – такой она выглядит из космоса благодаря обширным водным пространствам, занимающим 70% ее поверхности. Однако на 97,5% это соленая вода морей и океанов, не пригодная для питья – можно умереть от жажды на берегу океана. А из оставшихся скромных 2,5% пресной воды 3/4 хранится в виде снега и льда в великих холодильниках Арктики и Антарктики. А то, чем мы, не задумываясь, ежедневно пользуемся, так ничтожно мало, а тратится столь безрассудно!

Голая статистика

Самыми обильными водными ресурсами, как ни странно, обладают вовсе не европейские страны, как можно было бы предположить. Исходя из количества воды на душу населения в год, первенствуют Французская Гвиана (812 121 м^3), Исландия (609 319 м^3), Гвиана (316 689 м^3), Суринам (292 566 м^3), Конго (275 679 м^3), Папуа-Новая Гвинея (166 563 м^3), Габон (133 333 м^3), Соломоновы Острова (100 000 м^3), Канада (94 353 м^3) и Новая Зеландия (86 554 м^3).

В десятку стран, обделенных водой, входят Кувейт (10 м^3), сектор Газы (52 м^3), ОАЭ (58 м^3), Содружество Багамских островов (66 м^3), Катар (94 м^3), Мальдивская Республика (103 м^3), Ливия (113 м^3), Саудовская Аравия (118 м^3), Мальта (129 м^3) и Сингапур (149 м^3).

По качеству воды в худшем положении находится Бельгия – у нее мало подземных вод, низкое качество которых усугубляется промышленным загрязнением и скверной очисткой. В списке неудачников за ней следуют Марокко, Индия, Иордания, Судан, Нигер, Буркина-Фасо, Бурунди, Центрально-Африканская Республика и Руанда. Зато Россия – среди лучших по чистоте воды! Вместе с Финляндией, Канадой, Новой Зеландией, Великобританией, Японией, Норвегией, Кореей, Швецией и Францией.

Главное наше богатство – подземные воды, поскольку они несут мощные объемы чистой воды. Если ресурсы земных рек составляют 42,8 тыс. м^3, то количество подземных вод оценивается в 23,4 млн. м^3! Таким образом,

JANA BRENNING

98% доступных запасов пресной воды сокрыты под землей, как и подобает истинному кладу.

Водный кризис и «водяное перемирие»

Если в 2001 г. население Земли составляло 6,1 млрд. человек, то через 50 лет нас уже будет 9,3 млрд. При этом потребление воды за последние 50 лет удвоилось, а ее наличие на душу населения только с 1970 по 1990 г. снизилось на 1/3. Европейский ребенок потребляет в 30–50 раз больше воды, чем его сверстники в странах третьего мира, где каждый день от болезней, вызванных нехваткой и загрязнением воды, умирают 6 тыс. детей. В сельских районах бедных стран обязанность носить воду традиционно возлагается на женщин и детей, которые должны ежедневно пройти не один километр, чтобы принести в дом драгоценную влагу. Причем именно эта категория населения больше всего страдает от ее отсутствия и антисанитарии. Даже в странах, формально богатых водой, все более остро встает вопрос ее нехватки: в США, Китае, Индии, где текут великие реки, потребление подземных вод настолько опережает их восстановление, что даже такие гиганты, как Колорадо и Желтая река, временами пересыхают, так и не добравшись до моря. Борьба за доступ к ресурсам живительной влаги грозит перерасти в мировой водный кризис, причем во многих странах он уже разразился. Речь, по счастью, еще не идет о боевых действиях, однако, по оценкам ООН, в ближайшие 20–30 лет ожидается сокращение водных ресурсов на 1/3 в расчете на каждого жителя планеты.

По мнению генерального директора ЮНЕСКО Коитиро Мацууры, «кризис водных ресурсов ставит вопрос о нашем выживании и выживании нашей планеты; ни один регион не избежит последствий этого кризиса, который затронет все сферы жизни, от здоровья детей до способности стран накормить своих граждан». В подобных обстоятельствах «водяной вопрос» может стать как причиной конфликтов, так и, наоборот, возможностью сотрудничества. Надежды на лучшее внушают результаты исследования всех видов взаимодействия, связанных с водой, за последние 50 лет. В подавляющем большинстве случаев (1 228 из рассмотренных 1 831) речь шла о сотрудничестве, причем 200 из них касались совместного использования воды или сооружения плотин. Конфликтов насчитывалось всего 507, 37 из них повлекли применение силы, в том числе 21 случай военных действий. В докладе ООН по водным ресурсам подчеркивается, что даже враждующие державы готовы подписывать договора о водных ресурсах и международных реках. Так, Комиссия по Инду благополучно пережила две войны между Индией и Пакистаном, а страны, расположенные вдоль Нила, готовятся совместно развивать бассейн своей общей реки.

Цивилизация и экология

Никто не наносит природе такого ущерба, как человек. Ежедневно в воду сбрасывается около 2 млн. т отходов. А ведь только 1 л сточной воды достаточно, чтобы сделать непригодной для питья 8 л пресной (по принципу ложки дегтя в бочке меда)! Загрязненной воды на Земле сегодня 12 тыс. $м^3$, что сопоставимо с объемом вод, который несут 10 крупнейших речных бассейнов мира. Если ситуация не изменится к лучшему, к 2050 г. 18 тыс. $м^3$ пресной воды станут непригодными не только для питья, но и для ирригации.

Самыми грязными считаются азиатские реки – в них в 3 раза больше бактерий промышленного происхождения, чем в среднем в мире. Однако 50% населения этих стран рады и такой воде за неимением лучшей, что фатально сказывается на здоровье людей: половина больничных коек в мире занята пациентами, чьи заболевания так или иначе связаны с употреблением некачественной воды.

Российские СМИ почти еженедельно информируют о вспышках дизентерии, холеры или других заболеваний, вызванных зараженной водой. Не так давно сообщались сведения о колоссальном ущербе, который незадачливые отдыхающие наносят Можайскому водохранилищу – одному из главных источников, снабжающих

питьевой водой столицу. А в Европе лишь 5 из 55 рек считаются чистыми.

Варварская деятельность человека на Земле наносит непоправимый ущерб водным ресурсам и возвращается злом к человеку. В развивающихся странах около 90% сточных вод и 70% производственных отходов попадает непосредственно в водоемы без какой бы то ни было очистки. Впрочем, цивилизованные страны немногим лучше – более 80% опасных отходов вырабатывают именно промышленно развитые государства, и прежде всего США. В результате в водоемах мира ежегодно скапливается 300–500 млн. т тяжелых металлов, растворителей, токсинов и прочей дряни.

Исчерпывая и загрязняя реки и озера, мы нарушаем и губим экологические системы, в том числе и те, которые играют ключевую роль в процессе восстановления запасов пресной воды. Ломают экосистему и многочисленные плотины, которыми перегружены 60% крупнейших мировых рек. Деградация пресноводных экосистем немедленно сказывается на флоре и фауне континентальных вод: 24% обитающих в них млекопитающих и 12% птиц оказались на грани вымирания. За истекшие 100 лет с лица Земли исчезли около 80 разновидностей рыб, причем 6 из них – только с 1970 г. Мы мало знакомы с миром рыб – подробно изучено лишь 10% (т.е. около 10 тыс. видов), и при этом 1/3 из них уже грозит гибель.

Последнее время нередко говорится о том, что природа мстит человеку за надругательство и небрежность. К подобным высказываниям можно относиться как угодно, воспринимая их в прямом смысле или иносказательно, однако масштаб и количество катаклизмов, связанных с водой, только с 1996 г. удвоились. Более 90% жертв природных катастроф погибли в результате наводнений и засух. Последние примеры еще свежи в памяти: если два года назад по Европе прокатилась волна наводнений, то этим летом она – в огне пожаров и засухи.

Для стабилизации положения необходимо обеспечить баланс между потребностями человечества и средой обитания. Люди не должны забывать, что пресноводные экосистемы чрезвычайно важны для поддержания биологического разнообразия, а также выполняют ряд жизненно важных функций в гидрологическом цикле и самоочищении природы. Здоровье экосистемы – ключевое условие для здоровья людей, целесообразного развития цивилизации и преодоления бедности.

Кто виноват и что делать?

По сути водный кризис является кризисом управления. Драматизм ситуации в том, что долгое время никто не хотел всерьез воспринимать достаточно очевидных признаков неблагополучия и принимать решения по его преодолению на государственном уровне. Однако настал момент, когда промедление смерти подобно. Таким образом, наиболее существенными представляются две проблемы – качество воды и управление водными ресурсами. Международное сообщество взяло на себя обязательство к 2015 г. на 50% сократить число людей, лишенных доступа к чистой воде, – речь идет ни много ни мало о 1,5 млрд. человек. Еще почти 2 млрд. нуждаются в улучшении санитарных условий. Только первые меры по достижению этих целей потребуют примерно $12,6 млрд. Кстати, источник столь масштабных капиталовложений также станет важной проблемой. Обсуждается, в частности, вопрос о приватизации части водных ресурсов и ценах на воду. По мнению специалистов ООН, здесь должны действовать жесткие правовые механизмы социальной защиты. Недопустимо, чтобы беднейшие слои населения, и без того обделенные водой, платили за нее больше, чем их соотечественники, имеющие водопровод. Так, в Дели торговцы водой требуют $4,89 за $м^3$, в то время как муниципальный тариф – всего $0,01. Во Вьентьяне (Лаос) те же показатели составляют, соответственно, $14,68 и $0,11 за $м^3$. В связи с этим, контроль за распределением воды и ценовая политика должны осуществляться государством.

Другим важным аспектом представляется повышение эффективности использования земли и воды. Около 70% пресной воды идет на нужды сельского хозяйства, однако ирригация ведется настолько неэффективно, что больше половины воды пропадает. Для решения проблемы потребуется не только более жесткий контроль за расходом воды, но и финансирование модернизации ирригационных систем. Улучшить ситуацию может также использование для полива очищенных сточных вод, что уже практикуется в ряде стран.

Опыт некоторых государств показывает, что обеспечение населения доступом к воде – задача вполне осуществимая. В ЮАР, например, в 1994 г. 14 млн. человек из 42 млн. испытывали нехватку воды, к 2001 г. число обделенных сократилось вдвое, и если темп сохранится, к 2008 г. водный вопрос в этой стране будет решен.

Сегодня мир тратит на «водную инфраструктуру» $70–80 млрд. в год, в частности, ЕС ежегодно расходует порядка 1,5 млрд. евро на осуществление проектов по управлению водными ресурсами. Однако даже этих сумм оказывается недостаточно. По подсчетам экспертов, необходимо увеличить инвестиции до $180 млрд.

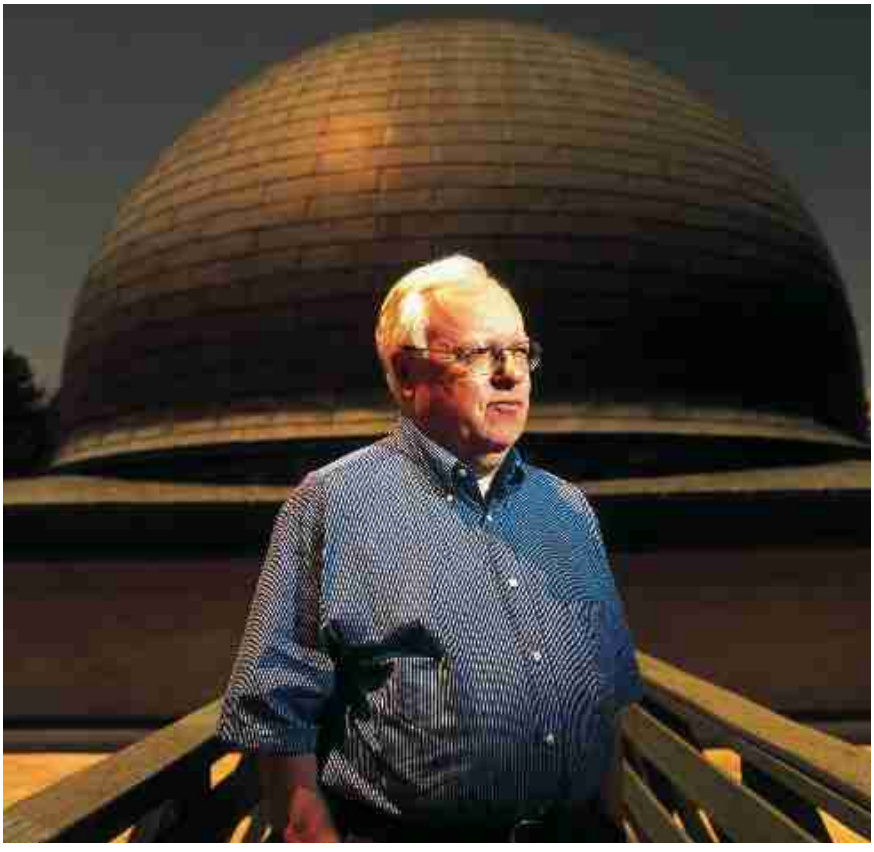
Можно рассуждать о том, что доступ к воде – такое же неотъемлемое право человека, как само право на жизнь, но как бы то ни было, на сегодня это стало вопросом политическим и экономическим. Лидеры мировых держав уже пришли к пониманию необходимости срочных мер для спасения целых регионов от жажды. Однако от принятия решений на высшем уровне до их реального воплощения на местах, увы, долгий путь. Тем более что политики и широкая общественность еще пассивны, и весьма велика вероятность того, что «акулы империализма», готовые «ловить рыбу в мутной воде», воспользуются возможностью обернуть себе на пользу несчастье людей в иссушенных странах. ■

дозорный НЕБА

Стив Нейдис

Брайан Марсден предупреждает об угрозе мировой катастрофы, исходящей с неба.

В окрестностях Земли становится все теснее: между Землей и Марсом курсирует масса быстро движущихся астероидов, некоторые из них могут стать угрозой для нашей планеты. Каждые сутки поступает не менее 50 тыс. результатов наблюдений. Во внутренней части Солнечной системы находится от 1 000 до 1 500 астероидов поперечником больше километра и порядка миллиона глыб размерами от 50 м.



JASON GROW

БРАЙАН МАРСДЕН: НАЧЕКУ

- О национальной безопасности: «Сегодня часто говорят о терроризме. Многие ли задумываются об опасности, исходящей из космоса?»
- О важности страха: «Я думаю, что он иногда идет людям на пользу».
- Лаборатория реактивного движения представила список 42 околоземных астероидов, риск столкновения с которыми отличен от нуля. Из них только один – 1997 *XR2* – заслуживает тщательного наблюдения.

Брайан Марсден (Brian Marsden) наблюдает за околоземными объектами и изредка пролетающими вблизи Земли кометами. С 1978 г. он руководит Центром малых планет (ЦМП) Смитсоновской астрофизической обсерватории в Кембридже (шт. Массачусетс), который действует от имени Международного астрономического союза. Наблюдатели из разных стран посылают в центр сведения об обнаруженных объектах. ЦМП обрабатывает и систематизирует данные, идентифицирует объекты, выполняет предварительный расчет их орбит, присваивает имена и ежедневно распространяет собранную информацию. Проводятся дополнительные наблюдения наиболее интересных объектов, заказывается поиск архивных данных.

Уже 25 лет к Марсдену поступают все сведения об околоземных объектах – за это время была создана международная сеть, позволяющая обмениваться поступающей информацией.

11 марта 1998 г. Марсден сообщил, что «астероид 35396» (прежде зарегистрированный как *1997 XF11*) в течение ближайших 30 лет подойдет близко к Земле. «Вероятность прямого столкновения мала, но полностью исключить ее нельзя», – писал он. Сообщение произвело эффект разорвавшейся бомбы. По данным журнала *Discover*, пресса занесла его в первую двадцадку научных сенсаций века.

Однако Марсден признает, что информация оказалась преждевременной. Последующие расчеты с исполь-

зованием дополнительных сведений об орбите показали, что угрозы нет.

«Этот случай подмочил мою репутацию, но привлек внимание к проблеме», – отметил астроном. После шума вокруг *XF11 NASA* увеличило ежегодные ассигнования на наблюдения за астероидами с $1 до $3,5 млн. Кроме того, ученые из Пизанского университета (Италия) и из Лаборатории реактивного движения в Пасадине (шт. Калифорния) приступили к исследованиям угрозы со стороны опасных объектов, которые подтвердили, что около 2 250 близких к Земле астероидов, десяток комет с периодами обращения меньше 200 лет и около 1 тыс. комет с периодами обращения больше 200 лет не представляют опасности для нашей планеты.

Марсден начал изучать околоземные объекты в начале 60-х гг., сначала в Йельском университете, затем в Смитсоновской обсерватории, где работает и поныне.

Теперь наблюдениям за малыми планетами придается большое значение. Созданы специальные программы автоматического поиска, в частности Линкольновская программа исследования околоземных астероидов (*LINEAR*) (*Lincoln Near-Earth Asteroid Research*), проводимая Лабораторией им. Линкольна Массачусетского технологического института, и Программа по слежению за околоземными астероидами (*NEAT*) (*Near-Earth Asteroid Tracking*). На них приходится 90% всех обнаруженных в непосредственной близости от Земли объектов. За астероидами основного пояса ведется в 100 раз больше наблюдений, чем за околоземными объектами.

Несмотря на огромный объем работы, штат ЦМП состоит всего из трех человек, включая Марсдена, который мечтает, чтобы центр работал круглосуточно. Однако это невозможно, хотя *NASA* и увеличила финансирование. ЦМП получает $130 тыс. в год. «Мы оберегаем мир, а от нас хотят, чтобы мы делали это в свое личное время», – вздыхает Марсден.

Однако больше, чем основная работа, утомляют дрязги. Кроме случая с *XF11*, испортившего отношения Марсдена с некоторыми коллегами, его обвиняют в задержке первичных, т.е. поступивших за ночь результатов наблюдений, хотя такие ведущие программы, как *LINEAR*, *NEAT* и *Spacewatch*, придерживаются этой же политики, возражая против публикации неподтвержденных сведений.

Марсдена беспокоит возможность столкновения с околоземными объектами. В 1908 г. в Сибири деревья свалил объект размером в сотню метров.

«Брайан следует правилам Международного астрономического союза, которые уже отменены», – жалуется астроном из Обсерватории Лоуэлла Тед Бауэлл (Ted Bowell). Он утверждает, что Марсден «часто присылает прогнозы орбит, не предоставляя данные, на основе которых они были получены, что в науке недопустимо».

Несмотря на критику, Международный астрономический союз продлил контракт со Смитсоновской обсерваторией на поддержание работы ЦМП до 2006 г. Дальнейшая судьба центра неизвестна. Руководитель программы *LINEAR* Грант Стоукс (Grant Stokes) считает, что передача его в другие руки была бы ошибкой.

Марсден старается не обращать внимания на эти перебранки. Рано или поздно Земля неизбежно окажется под угрозой столкновения с космическим объектом. Хорошо, если он будет маленьким и не сможет нанести большого вреда. «Существует опасность, которую необходимо предотвратить», – говорит ученый. Предлагались различные стратегии защиты – в том числе изменение орбиты приближающегося астероида путем воздействия на него ядерным взрывом.

До сих пор внимание уделялось в основном крупным астероидам размерами не меньше километра. Цель программы *Spaceguard Survey* («космический дозор») – к 2008 г. обнаружить 90% таких объектов. Сегодня их зафиксировано больше 650 – около половины от общего числа. Некоторые считают целесообразным учет объектов размерами от 200 до 300 м, но для этого потребуются новые телескопы и большее финансирование.

Марсдену 66 лет, и он, вероятно, со временем передаст пост директора центра своему помощнику Гарету Уильямсу (Gareth Williams), вместе с которым он работает с 1990 г. Однако Уильямс считает, что «не дорос до этого». «Брайан уже в 60-х гг. был на голову выше всех в этой области», – отмечает он. Председатель рабочей группы Международного астрономического союза по околоземным объектам Дэвид Моррисон (David Morrison) из Научно-исследовательского центра Эймса *NASA* тоже высокого мнения о работе Марсдена и скептически относится к разговорам о его предстоящем уходе: «Я думаю, он будет работать вечно». Если, разумеется, конец света не наступит раньше. ■

Стив Нейдис (Steve Nadis) – писатель, автор работ о науке. Живет в Массачусетсе.

SOVFOTO

ГЕНОМНЫЕ ЦЕНЗОРЫ

Нельсон Ло и Дэвид Бартел

Биологи с изумлением обнаружили, что большинство животных и растительных клеток обладает механизмом избирательного подавления экспрессии генов с помощью коротких двухцепочечных РНК, гомологичных данному гену. Биотехнологические компании уже размышляют над практическим применением этого механизма.

JANA BRENNING

Достаточно всего нескольких молекул двухцепочечной РНК, чтобы у червя и его потомков начались непроизвольные мышечные сокращения.

Геномная ДНК любой растительной или животной клетки содержит тысячи генов. Если бы транскрипционная машина была предоставлена самой себе, то все они экспрессировались бы одновременно: раскручивалась бы вся двойная спираль ДНК, транскрибировался бы каждый ген, образовывались бы мириады матричных РНК (мРНК), и на них синтезировалось бы несметное количество белков. Такой какофонии не выдержала бы ни одна клетка, а потому природа распорядилась так, что в каждый определенный момент большинство генов молчит, и слышны лишь единицы. Как правило, ген «подает голос» (начинает транскрибироваться с образованием мРНК) только после того, как вблизи него на регуляторном участке ДНК появляется «дирижер» – комплекс специфических белков.

Однако есть гены, которых лучше лишить «права голоса» – настолько опасны они для клетки. Если бы гены мобильных генетических элементов могли беспрепятственно отправлять свои мРНК-послания, то в клетке возник бы хаос и, как следствие, рак. Аналогично, если бы экспрессия вирусных генов осуществлялась бесконтрольно, то клеточная белоксинтезирующая машина переключилась бы на производство вирусных белков.

У клеток есть способ избежать такого развития событий – синтезировать интерферон в ответ на проникновение вируса в организм. Этот универсальный защитный механизм выключает все чужеродные гены без разбора. Однако недавно обнаружилось, что у животных и растительных клеток есть гораздо более изящная, прицельная и мощная система внутренней безопасности, играющая роль цензора, – РНК-интерференция (РНК*i*). Когда в клетку попадает какой-нибудь опасный для нее ген, система заставляет его замолчать, распознавая и уничтожая кодируемую им мРНК и не трогая мРНК других генов. Выяснив механизм действия и запуска РНК*i*-системы, можно выключать гены, ассоциированные с различными заболеваниями.

Ученые, исследующие механизм действия системы геномного цензурирования у растений, червей, мух и других организмов, научились подавлять экспрессию почти любого гена.

Странное молчание

Впервые с РНК*i*-феноменом исследователи столкнулись 13 лет назад. Ричард Йоргенсен (Richard A. Jergensen) из Аризонского университета и Йозеф Мол (Joseph Mol) из Амстердамского свободного университета независимо друг от друга провели эксперимент: они встроили в геном петунии с фиолетовыми цветками дополнительные копии гена, детерминирующего данный цвет. Ожидалось, что окраска цветков станет интенсивнее, однако вместо этого на них появились белые пятна.

Йоргенсен и Мол пришли к выводу, что лишние копии гена запускают процедуру цензурирования, «вычеркивающую» из генома все гены этого типа, в том числе и изначально в нем присутствующие, что приводит к появлению растений-альбиносов. Феномен двойного цензурирования (ко-супрессия) был обнаружен чуть позже у грибов, дрозофилы и других организмов.

Спустя несколько лет Уильям Доэрти (William G. Dougherty) из Орегонского университета исследовал растения табака, в геном которых было встроено несколько копий *CP*-гена (ген белка оболочки) вируса гравировки табака. Растения, инфицированные вирусом, оказались к нему устойчивыми. Ученый предположил, что в основе лежит ко-супрессия. Генетически модифицированные растения «выработали иммунитет» к чужеродным *CP*-генам, который проявился, как только в них попал вирус. При этом для «иммунного ответа» клеткам не нужен был вирусный белок оболочки, устойчивость к инфекции возникала на уровне РНК, транскрибируемой с *CP*-генов.

Доэрти также показал, что специфические вирусные гены перестают экспрессироваться не только под действием «иммунного ответа» растения, их может заставить замолчать сам вирус. У некоторых растений табака супрессия встроенных *CP*-генов не происходила, и инфицировавший их вирус беспрепятственно размножался. При этом количество мРНК, транскрибированной со встроенных *CP*-генов инфицированных растений, уменьшалось, т.е. вирусная инфекция вызвала их инактивацию.

Параллельно проводились эксперименты по инактивации генов с использованием «антисмысловой» РНК у нематоды *Caenorhabditis elegans*, крошечного прозрачного червя. РНК должна была спариваться с определенной мРНК с образованием двухцепочечной молекулы аналогично тому, как спариваются комплементарные цепи ДНК. Каждая цепь РНК и ДНК состоит из азотистых оснований аденина (*A*), цитозина (*C*), гуани-

Необычное поведение петунии с фиолетовыми цветками натолкнуло ученых на мысль о существовании у клеток «геномных цензоров». Когда в геном растения (слева) были встроены дополнительные копии гена, отвечающего за фиолетовую окраску, у цветков появились белые пятна, размер которых увеличивался с увеличением числа копий гена (в центре и справа).

на (*G*) и урацила (*U*) (у РНК) и тимина (*T*) (у ДНК). *C* всегда образует пару с *G*, а *A* – с *U* или *T*. Одноцепочечная «антисмысловая» РНК связывается с комплементарной мРНК и образует двухцепочечную молекулу, на которой не может синтезироваться полноценный белок.

Эксперименты с «антисмысловыми» РНК проводились на различных организмах уже давно, но без особого успеха. Первые обнадеживающие результаты были получены на червях, однако смущало то, что введение «смысловой» РНК тоже инактивировало гены, чего не должно было происходить, поскольку ее нуклеотидная последовательность в точности совпадает с нуклеотидной последовательностью соответствующей мРНК, а не комплементарна ей.

Решающий эксперимент пять лет назад провели Эндрю Файер (Andrew Z. Fire) из Института Карнеги в Вашингтоне и Крейг Мелло (Craig C. Mello) из Медицинской школы Массачусетского университета. Они предположили, что использовавшиеся ранее препараты «антисмысловой» и «смысловой» РНК были недостаточно чистыми и содержали в следовых количествах двухцепочечную РНК (дцРНК), которая могла влиять на работу «цензора». Чтобы проверить эту гипотезу, ученые ввели нематодам одно- или двухцепочечные РНК, отвечающие гену *unc-22*, который контролирует мышечное сокращение. Относительно большое количество одноцепочечных РНК мало сказывалось на поведении нематод. Даже нескольких молекул двухцепочечной *unc-22*-РНК было достаточно, чтобы у червя и даже у его потомков возникли непроизвольные подергивания, однозначно указывающие на сбой в экспрессии гена *unc-22*. Аналогичный эффект наблюдался у всех исследованных генов, в том числе контролирующих плодовитость и жизнестойкость. Файер и Мелло назвали это явление «РНК-интерференция», чтобы подчеркнуть центральную роль дцРНК во включении механизма цензурирования.

Ученые, исследовавшие растения и грибы, также предположили, что инициатором цензурирования является дцРНК. Они показали, что такой способностью обладает одноцепочечная РНК, содержащая взаимно комплементарные участки и образующая так называемые «шпильки». Далее обнаружилось, что для ко-супрессии клеткам необходим ген, отвечающий за перевод РНК из одноцепочечной конформации в двухцепочечную. Все эти факты наводили на мысль, что растения петунии, на которых проводили эксперименты Йоргенсен и Мол, расценивали избыточные копии гена, детерминирующего окраску цветка, как чужеродные и переводили свои мРНК в двухцепочечную форму, которая заставляла замолчать как избыточные копии гена, так и ген, изначально присутствовавший в геноме. Теперь находило объяснение молчание *CP*-генов у растений, инфицированных вирусом гравировки табака. При репликации вируса в клетке появлялась дцРНК, и растения отвечали на это выключением мРНК всех вирусных генов, в том числе и *CP*-генов, встроенных в геном растения.

ОБЗОР: РНК-ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ

- Ученые давно изобрели способ встраивания чужеродных генов в экспериментальные организмы. Но только недавно они обнаружили простой и эффективный механизм выключения генов, которым пользуются живые клетки.
- Почти у всех животных и растительных клеток существует внутренняя система безопасности, использующая матричную РНК для избирательного «усыпления» тех или иных генов.
- Эта система играет двоякую роль: она защищает клетку от чужеродных генов и регулирует активность ее собственных генов во время роста и развития. Ее можно будет использовать для предотвращения развития различных заболеваний и для их лечения.

RICHARD A. JORGENSEN *University of Arizona*

Удивительно, что столь мощный и универсальный способ регуляции экспрессии генов так долго оставался незамеченным. И теперь, когда тайное стало явным, ученые принялись активно изучать его, понимая всю перспективность практического применения этого механизма.

Орудие геномного цензора

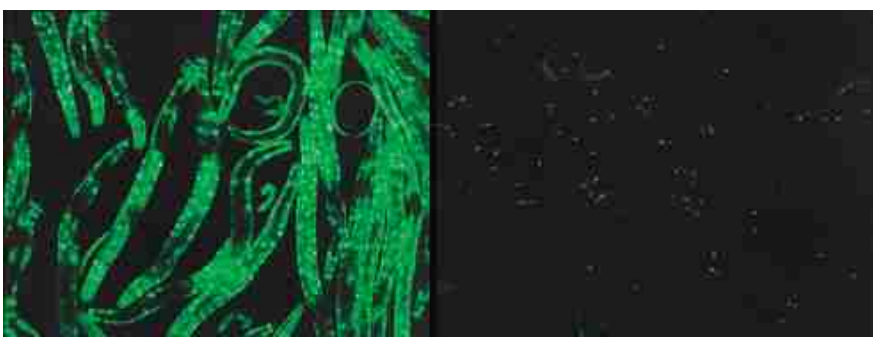
Вскоре феномен геномного цензурирования был обнаружен у представителей разных ветвей эволюционного древа – водорослей, плоских червей и дрозофилы. У человека и других млекопитающих выявить его оказалось значительно сложнее. Если вирус, проникший в клетку человека, начинает реплицироваться с образованием длинных дцРНК, то в ней включается сигнал «аварийной остановки»: блокируется трансляция как хозяйских, так и вирусных мРНК, и фермент РНКаза *L* разрушает их без разбора. Такая система является составной частью защитного механизма при участии интерферона, поскольку в его присутствии она включается легче.

К сожалению, введение в клетки млекопитающих искусственных дцРНК тоже вызывает синтез интерферона и выключение всех генов, и чтобы выяснить, как в этом случае действует РНК*i*-система, нужно устранить его влияние. По-видимому, дело обстоит следующим образом. В клетке дцРНК подвергается атаке со стороны фермента, прозванного «дайсер» (от англ. *to dice*, нарезать мелкими кусочками), который расщепляет молекулу на фрагменты – так называемые *si*РНК (от англ. *short interfering RNA*) – длиной в 22 нуклеотида. Расщепление цепей происходит с небольшим смещением, так что каждый фрагмент имеет по обеим сторонам выступающие одноцепочечные концы длиной в два нуклеотида (см. схему на развороте). Затем цепи *si*РНК расходятся, и одна из них включается в состав белкового комплекса, в результате чего образуется РНК-индуцированный сайленсинг-комплекс (*RISC*, от англ. *RNA-induced silencing complex*). Молекула *si*РНК расположена в нем таким образом, что может гибридизоваться с мРНК. Из тысяч разных мРНК, присутствующих в клетке, с РНК в составе *RISC* спаривается только та, которая ей комплементарна полностью или частично. Таким образом, в отличие от интерферона, сайленсинг-комплекс высокоизбирателен и реагирует только на определенный сигнал.

Когда «замок» между *si*РНК и комплементарной ей мРНК защелкивается, фермент под названием «слайсер» (нож) разрезает мРНК пополам, и обе половинки отсоединяются от комплекса и более не могут служить матрицами для синтеза белка. Сам комплекс *RISC* снова готов к работе и может присоединять следующие молекулы мРНК. Таким образом, РНК*i*-цензор использует двухцепочечные участки РНК-дуплекса как «черную метку», позволяющую отыскать определенную мРНК и заставить ее замолчать.

Впервые *si*РНК были выделены Дэвидом Болкомбом (David C. Baulcombe) из лаборатории Сенсбери в Нортридже, Англия. Затем Томас Тушл (Thomas Tuschl) из Рокфеллеровского университета проверил их на способность выполнять функции сайленсеров. Для этого он синтезировал разные *si*РНК и использовал их как «спусковой крючок» для выведения из строя различных мРНК. Все прошло отлично, и тогда ученый задал себе вопрос: а не могут ли эти короткие фрагменты РНК ускользнуть от интерфероновой «радарной системы» клетки, поднимающей тревогу? Обычно система не реагирует на РНК длиной менее 30 нуклеотидов. Чтобы проверить эту гипотезу, короткие синтетические *si*РНК

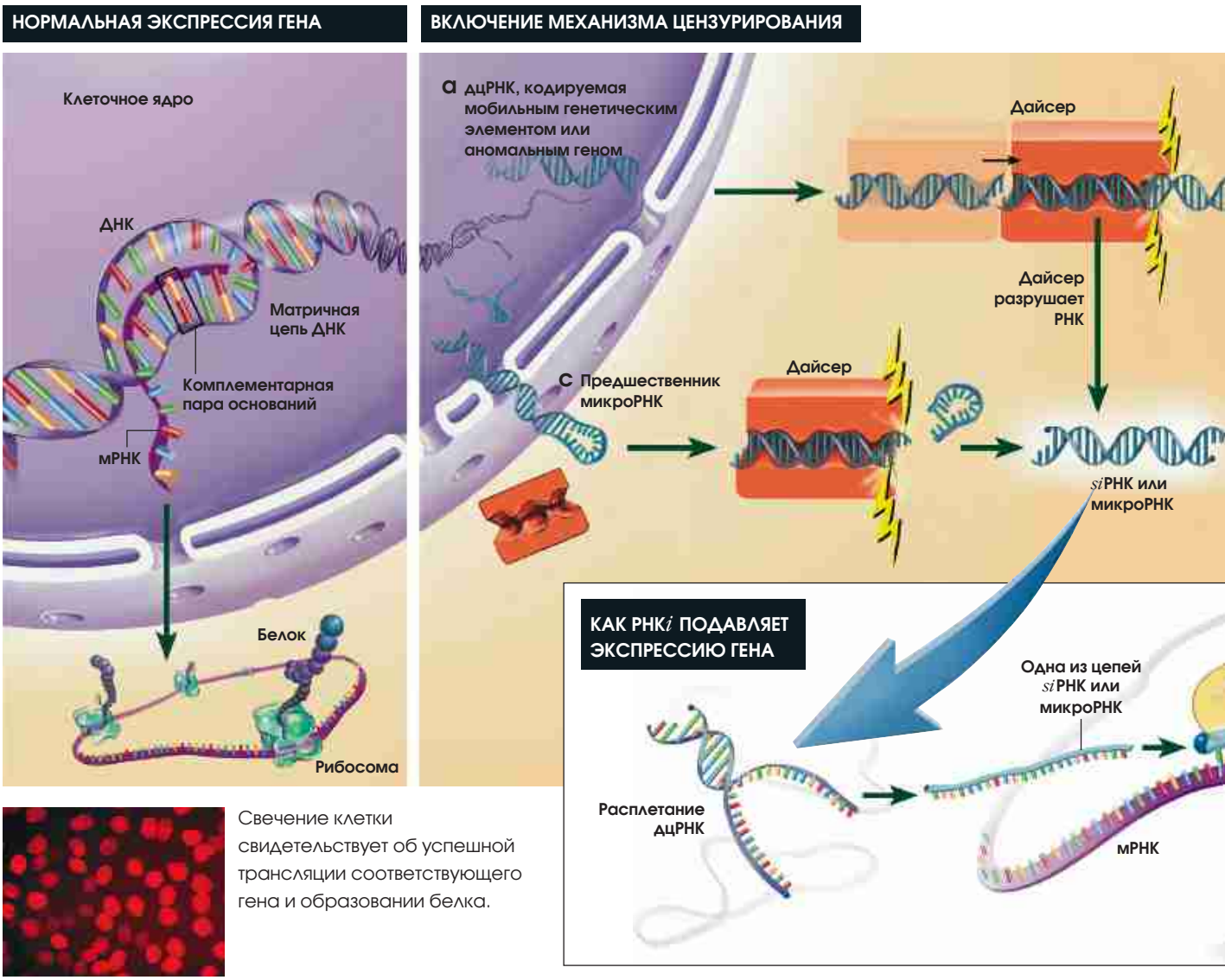
РНК*i* приостанавливает размножение вирусов гепатита *C*, полиомиелита и иммунодефицита в клетках человека.



Опыты на светящихся нематодах показали, что «геномные цензоры» есть и у животных. Когда червям, которые несли ген, ответственный за синтез флуоресцирующего белка (слева), инъецировали кодируемую этим геном дцРНК, свечение прекратилось (справа).

COURTESY OF LISA TIMMONS *University of Kansas*; TIMMONS ET AL. *IN GENE*, VOL. 263, 2001

КАК РАБОТАЕТ ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ЦЕНЗУРА



Свечение клетки свидетельствует об успешной трансляции соответствующего гена и образовании белка.

вводили в клетки млекопитающих в культуре. Результат превзошел все ожидания: замолчали только гены, выбранные в качестве мишени, «радарная система» не сработала ни разу.

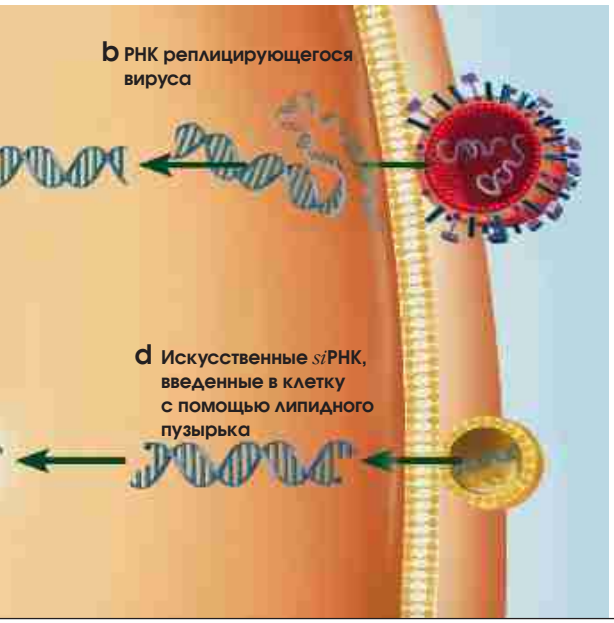
Открытие взволновало все биохимическое сообщество. Генетики уже давно научились вводить в клетки млекопитающих чужеродные гены (например, используя для этого вирусы), но чтобы целенаправленно выключить какой-либо ген, приходилось трудиться многие месяцы. Теперь их мечта сбылась: заставить замолчать почти любой ген в культивируемых клетках (в том числе и в клетках человека) стало возможно всего за несколько часов. Молчание длилось сутками – достаточно долго, чтобы провести нужный эксперимент.

Волшебный инструмент

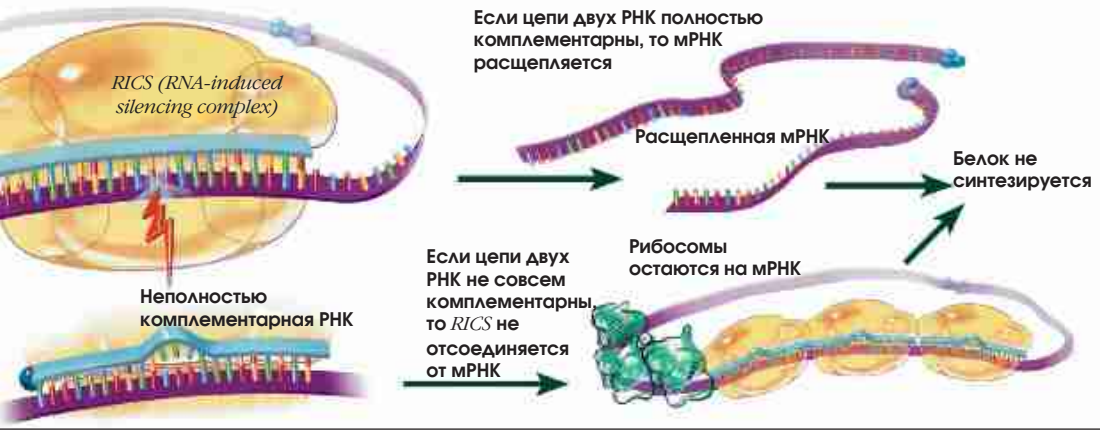
Ценным инструментом РНК*i* стало для тех, кто занимается изучением низших организмов. Это связано с тем, что у них цензурирование носит системный характер и распространяется далеко за пределы той области, куда была введена дцРНК. Какого-нибудь червя можно отдать на растерзание генетически модифицированным бактериям, которые синтезируют дцРНК, отвечающую гену-мишени.

Но ученые смотрят дальше. Теперь, когда определена нуклеотидная последовательность геномной ДНК многих организмов, можно с помощью РНК*i* систематически исследовать функции генов, целенаправленно выводя их из строя. Были проведены тысячи экспериментов, каждый из которых был направлен на выключение одного из генов *C. elegans*. Аналогичные широкомасштабные исследова-

TERESE WINSLOW; THOMAS TUSCHL *The Rockefeller University (micrographs)*



Клетка может контролировать экспрессию генов, воздействуя на транскрибируемые с них матричные РНК таким образом, что белоксинтезирующие «машины» (рибосомы) не могут декодировать заключенную в них генетическую информацию, как они это делают в нормальной ситуации (левая часть рисунка). «Спусковым крючком» для механизма цензурирования служат короткие молекулы дцРНК с выступающими одноцепочечными концами (*si*РНК). Они образуются при расщеплении более длинных дцРНК (синтезированных самой клеткой (*a*) или попавших в нее в результате вирусной инфекции (*b*)) особым ферментом – «дайсером». Аналогичным образом этот фермент расщепляет и предшественников микроРНК (*c*). Искусственные *si*РНК можно вводить в клетку в составе липидных пузырьков (*d*). Далее цепи коротких дцРНК расходятся (нижняя часть рисунка) и соединяются с белками с образованием комплекса (обозначаемого *RISC*), который захватывает мРНК, комплементарную *si*РНК. Если мРНК полностью комплементарна *si*РНК в составе комплекса, то она разрезается на фрагменты. Если же комплементарность неполная, то *RISC* блокирует перемещение рибосом вдоль мРНК. В обоих случаях синтез белка блокируется.

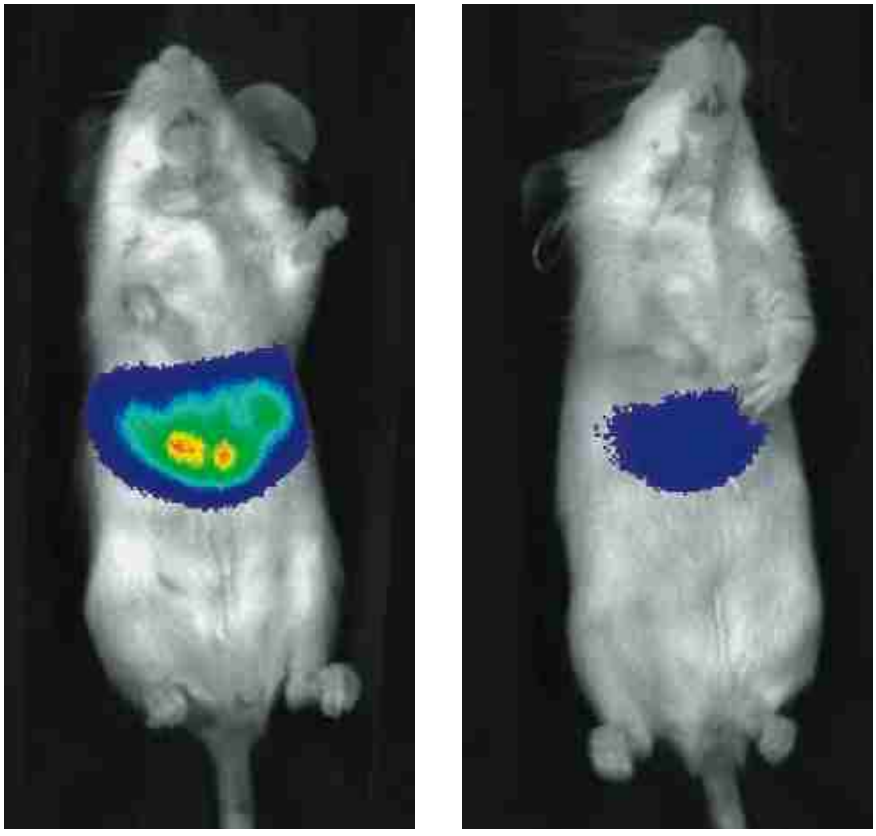


Отсутствие свечения клетки, в которую была введена *si*РНК, свидетельствует об отсутствии трансляции соответствующего гена.

ния проводятся сейчас на растениях и на клетках млекопитающих.

РНК*i*-систему пытаются использовать и фармацевтические компании. Например, с ее помощью проводят быстрый скрининг генов для выявления тех из них, которые могут стать мишенью для новых лекарственных средств. Систематически выключая разные гены, можно определить, какие из них необходимы для деления раковых клеток и не столь существенны для нормальных. Воздействуя разными веществами на белковые продукты генов, можно отобрать наиболее эффективные и использовать их как противоопухолевые препараты. Биотехнологические фирмы делают ставку и на применение самой РНК*i*-системы как способа борьбы с раком, вирусными инфекциями, некоторыми генетическими заболеваниями с доминантным типом наследования. Ученым удалось приостановить размножение различных вирусов (среди них – ВИЧ, вирус полиомиелита и вирус гепатита *C*) в клетках человека в культуре. Клетки подвергались воздействию *si*РНК, которые выключали гены, необходимые для воспроизводства патогенных микроорганизмов. Недавно Джуди Либерман (Judy Liberman) из Гарвардской медицинской школы сообщил, что инъекции *si*РНК спасли многих мышей, больных гепатитом, от неминуемой гибели.

К сожалению, пройдет немало лет, прежде чем результаты лабораторных исследований удастся применить на практике. Основная проблема – адресная доставка *si*РНК. В отличие от растений и червей, у человека эти молекулы не распространяются от места их введения по всему организму. Кроме того, они слишком велики, чтобы



Когда мыши инъецируют ДНК, содержащую ген люциферазы, наблюдается свечение (слева). Но если одновременно вводят *si*РНК, комплементарные этому гену, то свечение исчезает (справа).

ANTON P. MCCAFFREY ET AL. IN NATURE, VOL. 418, JULY 4, 2002; IMAGING SYSTEM COURTESY OF CHRISTOPHER CONTAG

препараты на их основе можно было принимать внутрь – они разрушаются в пищеварительном тракте, не успев попасть в кровоток. Сегодня ученые проверяют различные способы доставки *si*РНК ко многим органам, а также пути преодоления ими мембранных барьеров.

Альтернативный способ решения проблемы – генноинженерный. Ген, кодирующий нужную РНК, можно ввести в безвредный для организма вирус и инфицировать им клетки. Ученые из Айовского университета использовали модифицированный аденовирус для доставки генов, кодирующих *si*РНК, в клетки мозга и печени мышей. Для человека подобный подход пока невозможен.

И все же применение *si*РНК в медицинских целях выглядит более привлекательно, чем использование «антисмысловых» РНК и РНК как катализаторов. Это связано с тем, что в случае РНК-интерференции используется природный механизм регуляции генов, сформировавшийся в ходе эволюции.

Зачем клетке нужны цензоры?

Механизм геномного цензурирования сформировался миллиард лет назад как способ защиты прародителей современных растений, животных и грибов от вирусов и мобильных генетических элементов. Подтверждением служат результаты исследований, проведенных Рональдом Пластерком (Ronald H.A. Plasterk) из Института рака в Нидерландах, которые показали, что современные черви защищаются с помощью РНК*i* от мобильных генетических элементов, а растения – от вирусов.

Но, возможно, РНК*i*-цензор выполняет и другие функции. Мутантные черви и растения, у которых неэффективно работает «дайсер», развиваются с многочисленными отклонениями от нормы и не могут размножаться. Почему дефицит этого фермента отражается на них столь серьезно? Возможно, природа, создав столь удачный способ защиты от вредоносных вирусных генов и мобильных ДНК, стала использовать его и в других целях. Во всех клетках данного организма набор генов одинаков, индивидуальность клетки определяется тем, какие гены в ней экспрессируются, а какие молчат. Большинство растений и животных развивается из одной эмбриональной клетки, которая многократно делится и дает начало клеткам разного типа. Чтобы процесс развития шел нормально, одни гены при дифференцировке клеток должны выключаться, другие, наоборот, включаться. Когда клетке ничто не грозит и РНК*i*-механизм не должен бороться с чужеродными генами, он переключается на плановое «вычеркивание» из генома нормальных клеточных генов. Это необходимо для правильного развития организма – образования различных типов клеток (мышечных, нервных и т.д.) и формирования органов (например, мозга, сердца).

Но что именно побуждает РНК*i*-механизм «усыплять» нормальные клеточные гены? Возможно, в каких-то случаях клетка для этой цели синтезирует длинную дцРНК. Однако чаще стимулом служат микроРНК – небольшие РНК-фрагменты, напоминающие *si*РНК, но имеющие другое происхождение. *si*РНК родственны тем генам или областям генома, которые в конце концов они и должны «усыпить», а микроРНК транскрибируется с генов, единственная цель которых – синтез этих крошечных регуляторных молекул.

Молекула РНК, транскрибируемая с микроРНК-гена (она называется предшественником микроРНК), складывается пополам и образует структуру, напоминающую шпильку для волос. «Дайсер» разрезает ее посередине, и образуется дцРНК, которая во многом ведет себя так же, как *si*РНК, но за одним важным исключением: она выис-

ПРИМЕНЕНИЕ РНК*i* В МЕДИЦИНЕ

В клетках млекопитающих механизм геномного цензурирования был обнаружен два года назад, но уже сейчас несколько компаний пытаются использовать его для лечения или предотвращения заболеваний у человека.

КОМПАНИЯ	ПЛАНЫ	ПОЛОЖЕНИЕ ДЕЛ
Alnylam Pharmaceuticals Кембридж шт. Массачусетс, США	Исследование возможности применения РНК*i* в медицине; конкретные заболевания пока не названы	Основана в 2002 г. Получила начальное финансирование и несколько патентов
Cenix Biosciences Дрезден, Германия	Исследование возможности применения РНК*i* для лечения рака и вирусных инфекций	Создает библиотеку *si*РНК, охватывающую весь геном человека
Ribopharma Кульмбах, Германия	Химическая модификация *si*РНК с целью создания препаратов для лечения глиобластомы, рака поджелудочной железы и гепатита *C*	Предполагается начать клинические испытания на больных, страдающих раком головного мозга
Sirna Therapeutics Боулдер, шт. Колорадо, США	Тестирование препаратов на основе РНК, обладающей ферментативной активностью, которые предназначены для лечения рака прямой кишки; разработка методов лечения с использованием РНК*i*	Под таким названием компания появилась в апреле 2003 г. (прежнее название *Ribozyme Pharmaceuticals*)

кивает не тот ген, который напоминает ее прародителя, а совсем другой.

Биологи не сразу оценили роль микроРНК в регуляции экспрессии генов. Еще совсем недавно им были известны всего две микроРНК – *lin-4*-РНК и *let-7*-РНК. Их открыли Виктор Амброз (Victor Ambros) из Дартмутской медицинской школы и Гэри Равкан (Gary Ruvkun) из Гарвардской медицинской школы. За последние два года были обнаружены сотни микроРНК-генов у червей, мух, растений и человека.

По нашим оценкам, геном человека содержит 200–255 микро-генов, т.е. на их долю приходится 1% суммарного числа генов. Они ускользали от внимания ученых, поскольку компьютерные программы не были нацелены на поиски нуклеотидных последовательностей, конечным продуктом которых является РНК, а не белок.

Интересно, что РНК *lin-4* и *let-7*, впервые обнаруженные у червей, могут использовать и другую тактику: мРНК, являющиеся мишенью для этих микроРНК, комплементарны последним лишь частично и не подвергаются гидролизу, трансляцию мРНК с образованием полноценных белков блокирует другой механизм.

Столкнувшись с таким разнообразием способов цензурирования, биологи пытаются трезво оценить роль малых РНК и РНК*i*. Сопоставление всех данных показывает, что *si*РНК не только «вылавливают» нужные РНК и обеспечивают их последующее уничтожение, но и участвуют в цензурировании на уровне ДНК, в экстремальных ситуациях буквально «вычеркивая» гены из генома. Однако при редактировании ДНК гены не уничтожаются, просто двойная спираль в этом месте туже скручивается, и данный участок ДНК не транскрибируется.

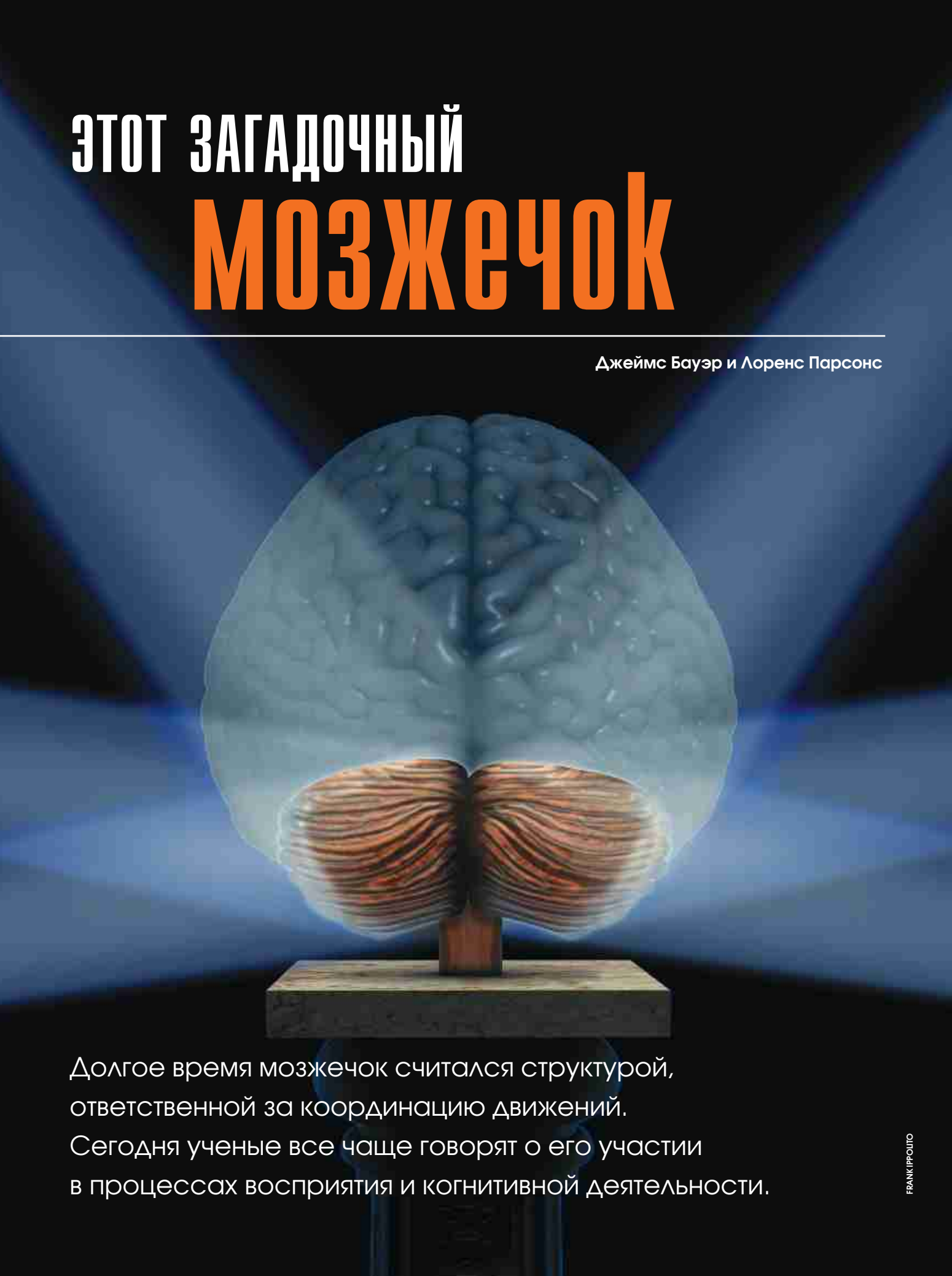
С момента открытия феномена геномного цензурирования история его изучения прошла долгий путь. РНК*i*-системы применяются сегодня в биологии и биомедицине, их используют в качестве инструмента выключения генов у самых разных организмов. И все же немало вопросов остается без ответа. Насколько широк спектр биологических процессов, в которых участвуют РНК*i*-система и микроРНК? Каков механизм действия РНК*i* на молекулярном и атомном уровнях? К каким заболеваниям могут приводить неполадки в работе РНК*i*? Когда наука сможет ответить на все эти вопросы, тогда и сам феномен получит полное объяснение и, возможно, станет одним из краеугольных камней генетической медицины. ■

ОБ АВТОРАХ:

Нельсон Ло (Nelson C. Lau) и **Дэвид Бартел** (David P. Bartel) занимаются исследованием микроРНК и других малых РНК, участвующих в регуляции генов. Ло заканчивает работу над докторской диссертацией в Массачусетском технологическом институте. Бартел, получив степень доктора в Гарвардском университете, работает в Институте Уайтхеда. Он также является приглашенным профессором Массачусетского технологического института.

ЭТОТ ЗАГАДОЧНЫЙ МОЗЖЕЧОК

Джеймс Бауэр и Лоренс Парсонс



Долгое время мозжечок считался структурой, ответственной за координацию движений. Сегодня ученые все чаще говорят о его участии в процессах восприятия и когнитивной деятельности.

FRANK IPPOLITO

«В задней части головного мозга человека над варолиевым мостом и под затылочными долями больших полушарий расположена структура размером с бейсбольный мяч, напоминающая по форме боб. Называется она мозжечок.»

Таким довольно непритязательным вступлением начиналась статья о мозжечке, опубликованная в 1958 г. в *Scientific American*. В ней говорилось: «В отличие от большого мозга, в котором ученые обнаружили многочисленные центры самых разнообразных форм психической деятельности, мозжечок и по сей день остается структурой «за семью печатями»: о его функциях нам почти ничего не известно». Однако через 17 лет в журнале появился другой материал, где автор писал: «Сегодня нет никаких сомнений в том, что мозжечок – центральная структура головного мозга, ответственная за организацию движений».

Совсем недавно мозжечок вновь стал предметом горячих научных споров. Так, нейробиологи, изучающие когнитивные функции головного мозга, обнаружили, что у людей эта структура сохраняет высокую активность во время разнообразных форм деятельности, не связанных непосредственно с движениями. С помощью хитроумных тестов было установлено, что повреждение отдельных областей мозжечка нередко сопровождается неожиданным ухудшением процессов, никак не связанных с моторикой (например, снижением быстроты и точности восприятия сенсорной информации). Другие исследования показали, что эта мозговая структура играет важную роль в процессах краткосрочной памяти, внимания, эмоциях, когнитивной деятельности, планировании действий и даже в развитии таких патологических состояний, как шизофрения и аутизм. Данные нейробиологических исследований, в ходе которых изучались как паттерны сенсорных входов в мозжечок, так и способы переработки им информации, также указывают на то, что пришло время переосмыслить функции этого отдела головного мозга. И вновь мозжечок стал «структурой за семью печатями».

В том, что мозжечок – нечто большее, нежели центр управления движениями, нет ничего удивительного. На это указывают его крупные габариты и сложная нейронная организация. Размерами он уступает только коре больших полушарий – главному регулятору и координатору всех функций человеческого организма. Поверхность мозжечка покрыта складками – бороздами и извилинами, благодаря чему в сравнительно небольшом объеме мозговой ткани «упаковано» невообразимое количество нейронных цепей.

О важных функциях этой структуры свидетельствует и ее укрупнение в процессе эволюции. Судя по строению и размерам ископаемых черепов, за последний миллион лет мозжечок человека увеличился по меньшей мере в три раза! Но, пожалуй, самое удивительное то, что количество нервных клеток (нейронов) в нем больше, чем во всех остальных отделах головного мозга вместе взятых. Кроме того, более чем за 400 млн. лет эволюции позвоночных животных характер соединения этих клеток друг с другом почти не претерпел каких-либо изменений (см. стр. 41). В мозжечке акулы нейроны организованы в нервные цепочки почти так же, как и у человека.

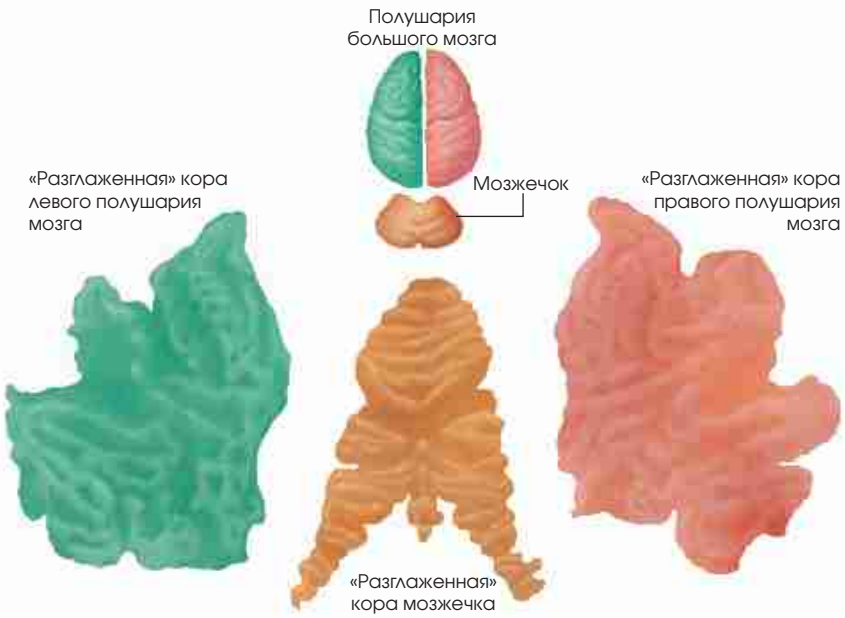
Не только моторика

Гипотеза об участии мозжечка в управлении движениями впервые была высказана в середине XIX века физиологами-клиницистами, обнаружившими, что удаление этой структуры нередко приводит к серьезным нарушениям координации. Во время Первой мировой войны английский невропатолог Гордон Холмс подробно описал разнообразные формы расстройств двигательной координации у солдат с огнестрельными ранениями в области мозжечка.

За последние 15 лет, когда ученые взяли на вооружение более совершенные методы тестирования, ситуация снова осложнилась. В 1989 г. Ричард Иври (Richard B. Ivry) и Стивен Кил (Steven W. Keel) из Орегонского университета обнаружили, что люди с поврежденным мозжечком не способны точно оценивать продолжительность звуков или пауз между ними. А в начале 1990-х гг. Джули Файез (Julie A. Fiez) из Вашингтонского университета установила, что такие больные чаще совершают ошиб-

КОРА МОЗЖЕЧКА И БОЛЬШИХ ПОЛУШАРИЙ

В «разглаженном» виде кора (наружный слой) человеческого мозжечка имеет такую же площадь поверхности, как «расправленная» кора одного большого полушария мозга. Крупные размеры и сложная нейрональная организация мозжечка указывают на то, что эта структура выполняет очень важные функции.



ки при выполнении вербальных заданий. Например, одному из пациентов потребовалось дополнительное время, чтобы при виде ножа вспомнить соответствующий глагол – «резать».

Несколько позднее авторы этой статьи установили, что люди с мозжечковой дегенерацией менее точно различают высоту двух предъявляемых звуков. А Петер Тир (Peter Thier) из Тюбингенского университета в Германии показал, что такие больные чаще, чем здоровые испытуемые, совершают ошибки в тестах, где требуется оценка скорости и направления движения различных объектов.

Повреждение мозжечка приводит не только к нарушению переработки зрительной, слуховой и речевой информации, но и сказывается на эмоциональном поведение: пациенты (и взрослые, и дети) не способны контролировать свои эмоции, в отличие от большинства людей, они слишком вяло или слишком бурно реагируют на раздражители. Некоторые ученые связывают повреждение мозжечка с дислексией (неспособностью к чтению). Недавние исследования показали, что мозжечок принимает участие в процессах памяти, внимания, психической деятельности, планировании действий и управлении человеком собственными побуждениями. Так, например, в 1992 г. Джордан Графман (Jordan Grafman) из Национального института здравоохранения обнаружил, что пациенты с атрофированным мозжечком испытывали серьезные трудности при планировании действий, необходимых для выполнения теста «ханойской башни», где нужно в соответствии с определенными правилами нанизывать на стержень кольца различного диаметра.

В исследованиях, проведенных с помощью магнито-резонансной томографии, была выявлена активация мозжечка у здоровых испытуемых, когда их просили вспомнить список букв, прочитанный им несколькими минутами ранее, или пытавшихся подыскать эквивалент тому или иному зрительному образу. С помощью этой методики было обнаружено, что у гиперактивных детей с дефицитом внимания (у которых нарушена способность управлять собственными побуждениями) размеры мозжечка меньше, чем у нормальных. И, наконец, томографическое исследование мозга здоровых людей и животных выявило высокую активность мозжечка во время восприятия звуков и запахов, а также когда им хотелось пить, есть или они испытывали недостаток воздуха или боль.

ОБЗОР: МОЗЖЕЧОК

• Мозжечок расположен в задней части головного мозга и отличается сложной нейрональной организацией, не претерпевшей в процессе эволюции позвоночных никаких изменений.

• Традиционные представления о мозжечке как о мозговом центре управления движениями подвергаются сегодня сомнению. Результаты исследований, выявивших высокую активность мозжечка при выполнении испытуемыми широкого спектра заданий, указывают на то, что функции этой структуры больше связаны с координацией сенсорного входа, чем моторного выхода.

• Удаление мозжечка в молодом возрасте сопровождается появлением лишь немногочисленных поведенческих расстройств. Полученные данные позволяют предположить, что функции этой структуры могут брать на себя другие отделы головного мозга.

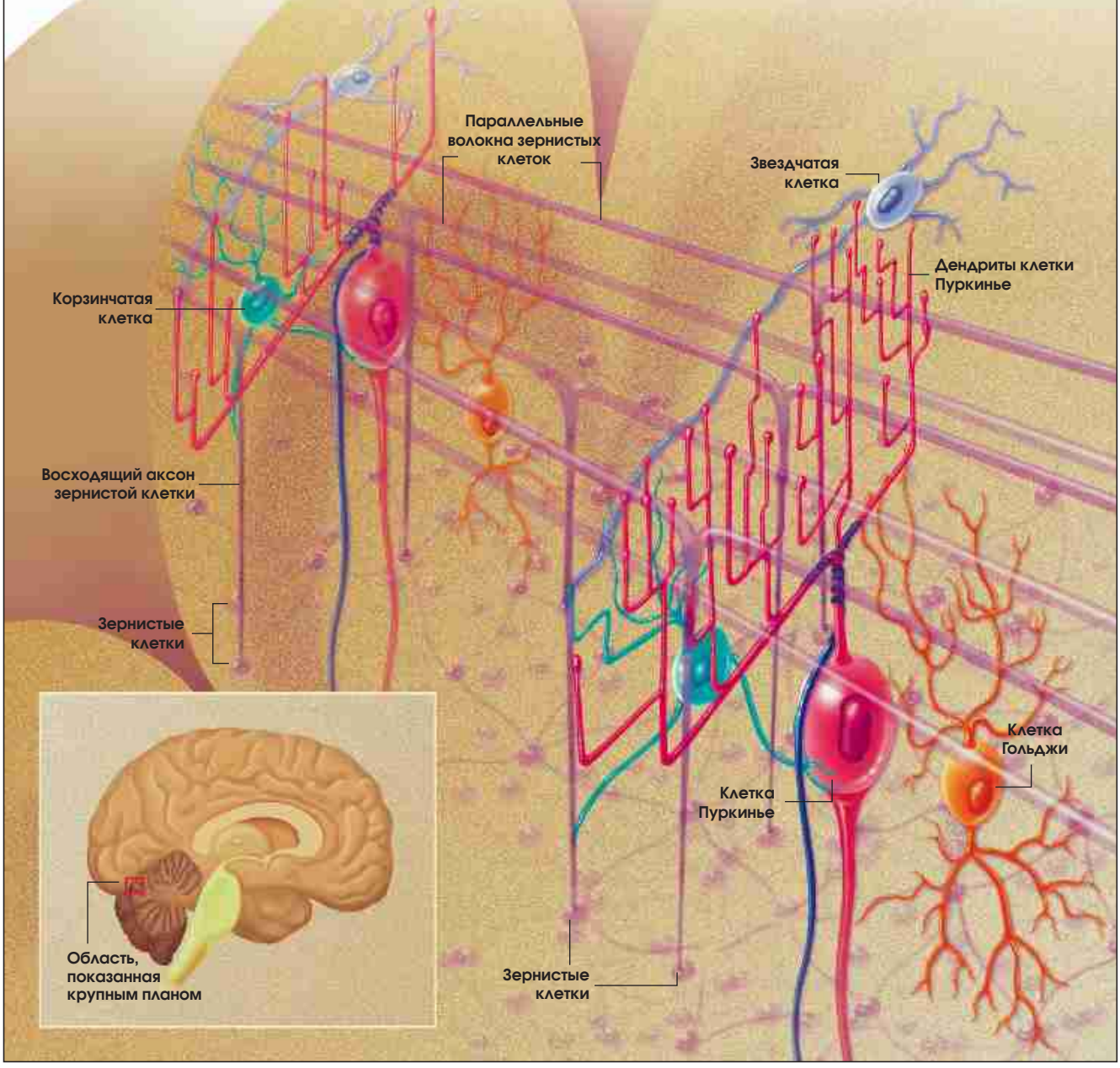
Мозжечок и прикосновения

Новые данные нельзя объяснить традиционными представлениями о мозжечке как о центре моторного контроля. Мы пришли к такому выводу,

ALICE Y. CHEN; SOURCE: DAVID C. VAN ESSEN *Washington University School of Medicine*

МЕЖНЕЙРОННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ В МОЗЖЕЧКЕ

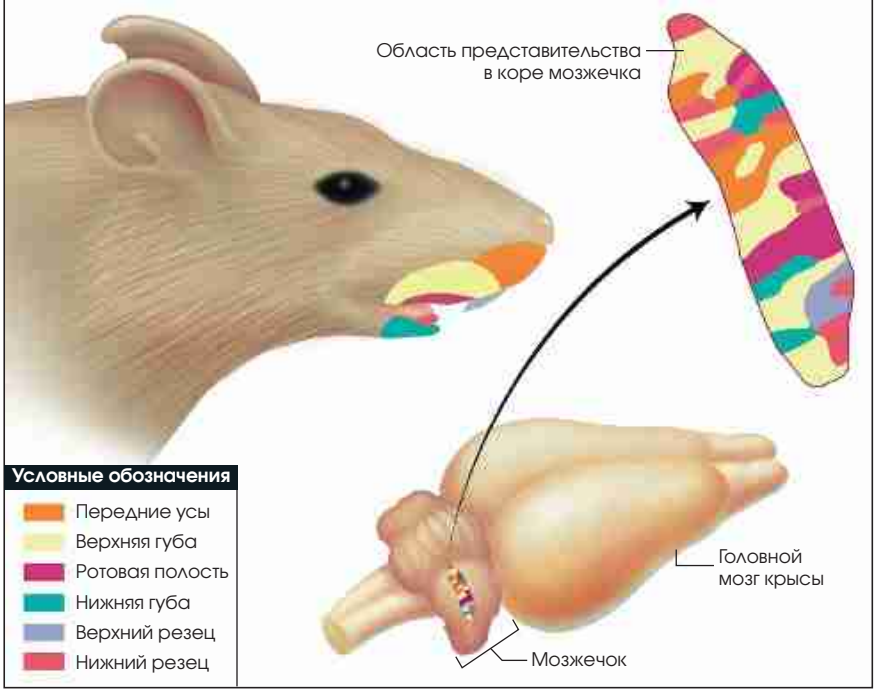
Основные принципы организации нейронных связей в мозжечке стали известны в конце XIX в. благодаря фундаментальным исследованиям испанского гистолога Сантьяго Рамон-и-Кахаля (Santiago Ramon y Cajal). Главный структурный элемент коры малого мозга – клетки Пуркинье, получившие свое название в честь описавшего их в 1837 г. чешского физиолога Яна Пуркинье (Johannes Purkinje). Эти нейроны – одни из самых крупных клеток в нервной системе позвоночных; каждая клетка Пуркинье имеет 150–200 тыс. входов (синапсов) от других нервных клеток. Основная часть контактов образована волокнами одних из самых маленьких нейронов позвоночных – мозжечковыми зернистыми клетками, которые упакованы необычайно плотно (на 1 кв. мм ткани приходится 6 млн. клеток) и являются самым многочисленным типом нейронов в головном мозге. Длинные отростки (аксоны) зернистых клеток направляются вверх к поверхности коры мозжечка, ветвятся и создают здесь параллельные волокна, образующие многочисленные контакты (синапсы) с короткими отростками (дендритами) клеток Пуркинье и с дендритами трех других типов нейронов мозжечка – звездчатых, корзинчатых клеток и клеток Гольджи, которые модулируют сигналы, генерируемые зернистыми клетками и клетками Пуркинье. Единственным выходом из коры мозжечка являются аксоны клеток Пуркинье. Такая организация связей в общих чертах характерна для мозжечка всех позвоночных животных.



ALICE Y. CHEN

МОЗАИЧНАЯ ТОПОГРАФИЯ МОЗЖЕЧКА

Отдельные области морды крысы не имеют в мозжечке «собственного» представительства. Когда ученые прикасаются к верхней губе животного, они могут зарегистрировать усиление электрической активности сразу в нескольких разобщенных областях коры мозжечка. Благодаря такой мозаичной топографической организации коры мозжечок способен интегрировать самую разнообразную сенсорную информацию, поступающую к нему от разных областей тела в то время, когда животное исследует окружающую среду.



изучая активность различных областей этой структуры в ответ на прикосновения к тем или иным участкам тела. Автор этой статьи Джеймс Бауэр начал проводить подобные исследования более 20 лет назад. Он регистрировал электрическую активность небольших ансамблей нейронов в головном мозге крыс в ответ на легкие касания различных участков их тела. Тактильная стимуляция приводила к активации нейронов в обширной области мозжечка (см. иллюстрацию слева), носившей, однако, мозаичный характер. Соседние области мозжечка могли получать сенсорные сигналы от участков кожи, расположенных в разных частях тела, а стимуляция соседних зон могла активировать далеко отстоящие друг от друга области мозжечка. Еще более удивительным оказался тот факт, что мозжечок крысы получает сенсорные сигналы (входы) главным образом от морды. Это открытие привело Бауэра в полное замешательство: ведь ранее считалось, что большая часть «тактильной области» мозжечка кошки получает вход от передних лап животного, а у обезьян она активизируется при прикосновениях к пальцам передних конечностей.

Сенсорный координатор

У исследователей возник правомерный вопрос: что общего между мордой крысы, передними лапами кошки и пальцами рук обезьяны? Ответ, казалось бы, очевиден: эти части тела позволяют им наиболее эффективно исследовать окружающий мир с помощью осязания. Те, у кого есть кошка, прекрасно знают, какими нежными и коварными бывают ее лапы. Известно также, что крысы познают окружающий мир и защищаются от врагов главным образом с помощью морды и рта. «Мозаичная» топография тактильных областей мозжечка подтверждает предположение, что эта структура принимает участие в сравнении сенсорных данных, поступающих от многочисленных участков тела и помогающих животному исследовать окружающий мир. Похоже, «тактильная топография» мозжечка определяется функциональной значимостью тех или иных участков тела в жизни животного, а не их расположением на его теле. Гипотеза о том, что в мозжечке крысы происходит сличение сенсорной информации, поступающей от различных частей морды, нашло дополнительное подтверждение и в экспериментах, где изучались реакции мозжечка на стимуляции этих входов. В результате

ALICE Y. CHEN

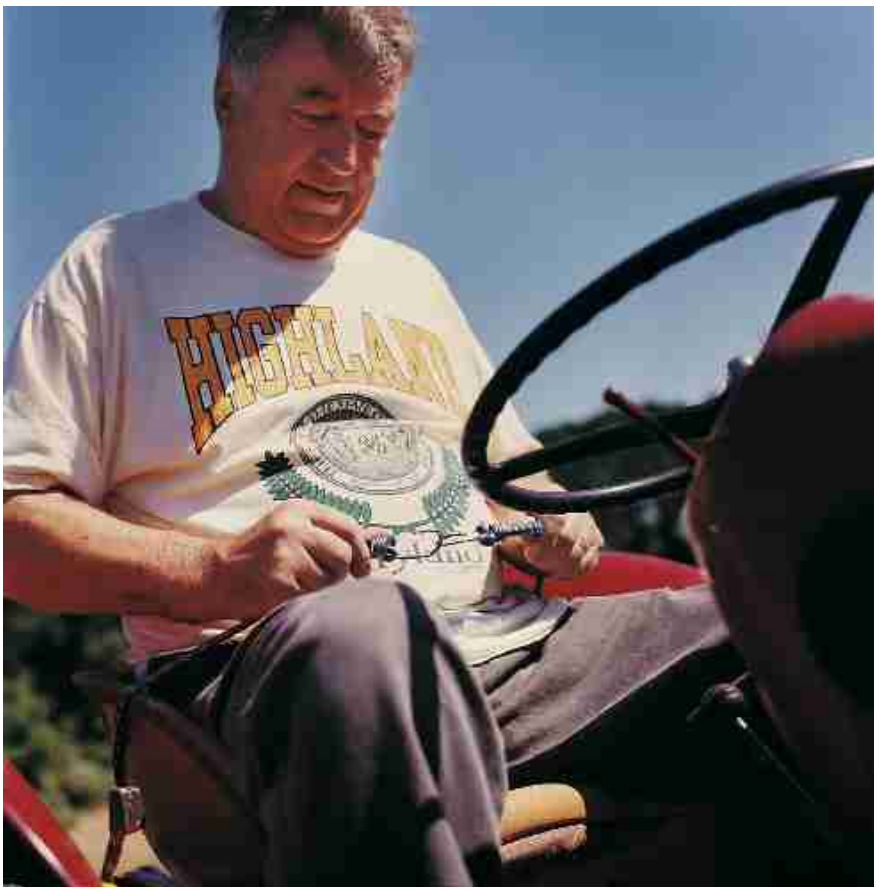
ОБ АВТОРАХ:

Джеймс Бауэр (James M. Bower) и **Лоренс Парсонс** (Lawrence M. Parsons) – сотрудники Центра томографических исследований при Техасском университете в Сан-Антонио. Бауэр – профессор компьютерной нейробиологии этого центра и Центра нейробиологии им. Кахаля при Техасском университете в Сан-Антонио, основатель журнала *Journal of Computational Neuroscience* и организатор международного ежегодного съезда компьютерных нейробиологов. Парсонс, профессор когнитивной нейробиологии Центра томографических исследований, член редколлегии журнала *Human Brain Mapping* и совета Международного фонда музыкальных исследований, занимается разработкой программ по развитию когнитивной нейробиологии в Национальном научном фонде США.

родилось новое предположение о функциях мозжечка как структуры, координирующей процесс сбора сенсорных данных головным мозгом.

Нами было проведено исследование, в котором сравнивалась активность мозжечка в двух экспериментальных ситуациях – когда испытуемые должны были различать на ощупь небольшие предметы и когда они просто должны были брать и выпускать их из рук. В соответствии с традиционными теориями тонкий моторный контроль, связанный с движением пальцев при манипуляциях с маленькими предметами, неизбежно должен был приводить к сильной активации тактильной области мозжечка. Однако при выполнении пациентами этих действий активность тактильной области на самом деле была очень низкой. Зато в первом задании, связанном с ощупыванием предметов, мы выявили значительную активацию мозжечка. Таким образом, результаты нашего эксперимента еще раз подтверждают предположение, что он участвует скорее в переработке сенсорной, нежели моторной информации и что особенно высокую активность он проявляет во время сбора головным мозгом сенсорных данных.

Мозжечок участвует скорее в переработке сенсорных данных, нежели информации, связанной исключительно с двигательными функциями.



CHRIS HARTLOVE

Рудольф Вант-Хофф из графства Говард страдает поражением мозжечка вследствие спиноцеребеллярной атрофии – редкой наследственной болезни. Заболевание сопровождается нарушением равновесия, координации движений и речи, а также пониженной способностью к различению некоторых звуков. Сидя в кабине своего трактора, он стабилизирует положение тела с помощью пристежного ремня.

Жизнь без мозжечка

Гипотеза об участии мозжечка в сенсорной деятельности мозга – всего лишь одна из нескольких теорий, не ограничивающих функции этой структуры участием в процессах моторного контроля. Так, Р. Иври выдвигает гипотезу «генерализованного хронометража», согласно которой мозжечок контролирует продолжительность телодвижений, что позволяет человеку оценивать длительность сенсорных стимулов (зрительных, слуховых и т.д.).

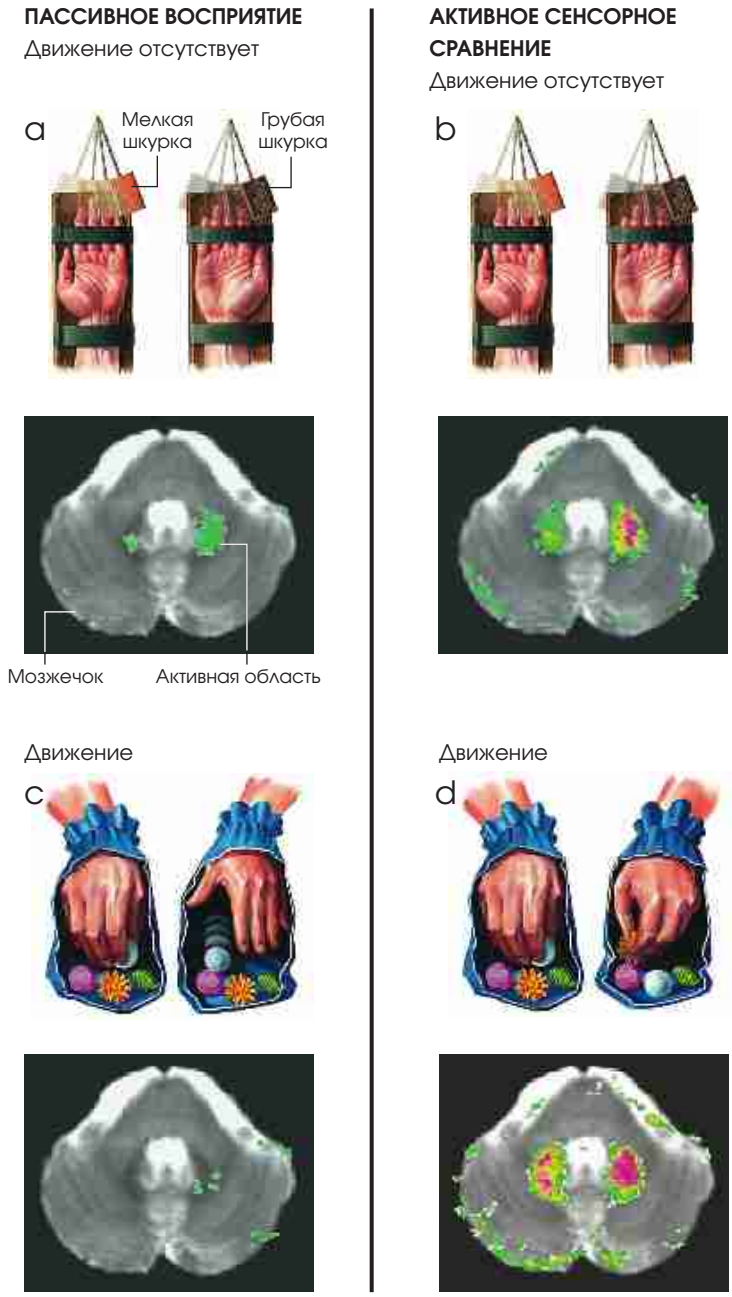
По мнению других ученых, мозжечок не только облегчает совершение точных движений, но и «сглаживает» переработку информации, связанную с настроениями и мыслями человека. Впервые это предположение высказал в 1991 г. Джереми Шмаманн (Jeremy D. Schmahmann) из Массачусетского госпиталя общего профиля, а в 1996 г. Нэнси Андерсон (Nancy C. Anderson) из Айовского университета использовала его для объяснения шизофрении. Она допустила, что нарушение функций мозжечка – непо-

ИЗУЧЕНИЕ ФУНКЦИЙ МОЗЖЕЧКА

Роль мозжечка в процессах координации движений и интеграции сенсорного входа изучалась нами в специально спланированном эксперименте. Активность этой структуры у 6 здоровых испытуемых оценивалась с помощью магнитно-резонансной томографии. В первой части исследования мы неподвижно фиксировали кисти испытуемых и осторожно проводили по кончикам их пальцев кусочками наждачной бумаги (*a*). В некоторых случаях они просили сравнить шероховатость двух типов шкурки (*b*). Обе процедуры носили чисто сенсорный характер, но в последнем случае каждому участнику нужно было различить тип воздействующего на его пальца тактильного стимула.

Во второй части опыта испытуемый помещал каждую руку в мешок с маленькими деревянными предметами различной формы и текстуры. В первом задании (*c*) он должен был захватывать пальцами и выпускать случайно попадающиеся предметы, не обращая внимания на их форму. Во втором задании (*d*) участников просили сравнивать форму и текстуру предметов, оказавшихся в разных руках.

При выполнении задания (*c*) активность мозжечка испытуемых была очень низкой. Наиболее высокий уровень активности этой структуры отмечался в том случае, когда они должны были оценивать свои ощущения – независимо от того, подвижны (*d*) или неподвижны (*b*) были при этом кисти рук. Результаты эксперимента указывают на то, что функции мозжечка связаны скорее с переработкой сенсорной информации, чем с управлением движениями.



средственная причина характерного для шизофрении расстройства психики.

По мере того как исследователи выявляют все больше факторов, вызывающих изменение активности мозжечка, ему приписываются все более разнообразные функции. Но ни один ученый пока не объяснил, каким образом одна-единственная структура мозга, в которой организация нервных цепей отличается поразительным единообразием, способна выполнять столь многообразные функции и нести ответственность за столь различные аспекты поведения. Ученых сбивает с толку способность людей восстанавливаться после повреждения мозжечка. Хотя его полное удаление поначалу и приводит к нарушению координации движений, по прошествии некоторого времени у пациентов (особенно молодых) двигательные функции возобновляются. Необычай-

MATT COLLINS (*illustrations*); REPRINTED FROM JIA-HONG GAO ET AL. IN *SCIENCE*, VOL. 272; APRIL 26, 1996 (*brain scans*)

но высокая пластичность – одна из характерных особенностей головного мозга, но если подобным повреждениям подвергаются сенсорные или сенсомоторные области коры больших полушарий, как правило, происходит серьезное и необратимое ухудшение соответствующих функций.

Учитывая это обстоятельство, некоторые ученые шутят, что главная функция мозжечка – компенсировать собственное отсутствие. Непохоже, однако, чтобы у столь крупной и сложно устроенной структуры мозга не было какого бы то ни было назначения и она представляла собой рудиментарный орган. Скорее всего, дело обстоит как раз наоборот: функции мозжечка настолько важны, что его отсутствие в значительной мере приходится компенсировать остальным отделам головного мозга.

Для объяснения загадочного феномена восстановления мозжечковых функций было выдвинуто несколько теорий. В соответствии с предложенной нами гипотезой сенсорной координации мы полагаем, что мозжечок не связан с какими-либо определенными формами поведения или психологическими процессами. Скорее он функционирует как некая поддерживающая структура, обеспечивающая нормальную работу остального мозга. Эта поддержка включает отслеживание приходящих в мозг сенсорных данных и непрерывную и необычайно сложную регулировку поступления этой информации, благодаря чему обеспечивается максимально высокое качество сенсорного входа.

Мы предполагаем, что эта регулировка принимает форму тончайших изменений в положении пальцев человеческой руки, ощупывающей предмет, или усов крысы, обследующей поверхность. Можно полагать, что, функционируя в качестве поддерживающей структуры, мозжечок обнаруживает определенный уровень активности в очень широком спектре условий – особенно в ситуациях, требующих тщательного контроля поступающих в мозг и запоминаемых сенсорных данных. При повреждении же или удалении мозжечка нарушенную функцию сенсорной координации обычно компенсируют другие системы мозга, использующие альтернативные стратегии переработки информации.

Как показывают исследования двигательной координации у людей с поврежденным мозжечком, первое время их движения медленные и «упрощенные» – вполне оправданная стратегия мозга, компенсирующая отсутствие высококачественного сенсорного входа. Это означает, что функционирование поврежденного мозжечка может иметь для моторики человека более серьезные последствия, чем его полное отсутствие. Ведь если полное отсутствие контроля за потоком сенсорной информации способны компенсировать другие мозговые структуры, то непрерывный дефектный контроль чреват неправильным функционированием других отделов мозга, пытающихся использовать «некачественные» сенсорные данные. Этим можно объяснить результаты исследований, указывающие на участие мозжечка в развитии таких расстройств, как аутизм, при котором человек вообще не реагирует на поступающую в мозг сенсорную информацию.

Если главное предназначение мозжечка – поддержание деятельности остальных отделов головного мозга, тогда он не принимает непосредственного участия в процессах двигательной координации, памяти, восприятия и многих других феноменов, с которыми исследователи пытаются связать его функции. Хотя предложенная нами теория – всего лишь одна из многочисленных попыток дать объяснение новым удивительным данным о работе мозжечка, совершенно очевидно, что наши представления об этой структуре и деятельности головного мозга в целом в ближайшее время должны радикально измениться. ■

Очевидно, что представления о мозжечке и деятельности мозга в целом вскоре претерпят радикальные изменения.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

• The Role of the Cerebellum in Motor Control and Perception. Michael G. Paulin in Brain Behavior and Evolution, Vol. 41, pages 39–50; February 1993.

• The Cerebellum and Cognition. Edited by Jeremy D. Schmahmann. Academic Press, 1997.

• Cerebellar Contributions to Cognition and Imagery. Richard B. Ivry and Julie A. Fiez in New Cognitive Neurosciences. Edited by Michael S. Gazzaniga. MIT Press, 2000.

• The Cerebellum: Recent Developments in Cerebellar Research. Edited by Stephen M. Highstein and W. Thomas Thatch. New York Academy of Sciences, 2002.

LEFT TO RIGHT: NATIONAL INSTITUTE OF INFORMATION TECHNOLOGY, DAVID GREEDY, PHOTODISC, PHOTODISC (*top row*); PHOTODISC (*all photographs in second row*); PHOTODISC, PHOTODISC, MARK WARSCHAUER (*third row*); PHOTODISC, PHOTODISC, KEITH DANNEMILLER *Corbis/SABA* (*fourth row*); KEITH DANNEMILLER *Corbis/SABA*, NATIONAL INSTITUTE OF INFORMATION TECHNOLOGY, PHOTODISC, PHOTODISC (*fifth row*); PHOTODISC, PHOTODISC, VIVIAN MOOS *Corbis* (*bottom row*)

цифровой раскол

Марк Варшауэр

Количество техники не всегда переходит в качество ее использования.

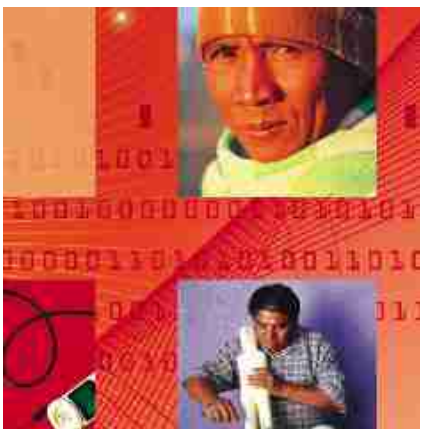
Последние 10 лет политические лидеры и социологи серьезно озабочены социальным разрывом между теми, у кого есть компьютер и доступ к Интернету, и теми, у кого нет ни того, ни другого. С середины 90-х гг. Администрация США по телекоммуникациям и информации характеризует ситуацию как цифровой раскол (*digital divide*). Это определение используют и в широком смысле, подразумевая состояние информационных технологий в разных странах.

Неравенство наблюдается как внутри государств, так и между ними. Фонд Бентона, содействующий росту массового интереса к технологиям связи, сообщает, что к концу 2001 г. из американских семей с ежегодным доходом не менее $75 000 к Интернету были подключены 80%, а из менее обеспеченных – лишь 25%. Домашний доступ к Сети имеют 55% белых, 31% афроамериканцев и 32% латиноамериканцев. В большинстве африканских стран подключено менее 1% населения. Неудивительно, что такое информационное неравенство тесно связано с другими социально-экономическими показателями и уровнем жизни.

Сейчас не так-то просто разобраться в особенностях применения цифровых технологий разными людьми. Американец, раз в месяц пользующийся Интернетом через компьютер местной библиотеки, может быть отнесен к категории «не имеет доступа», хотя в какой-нибудь развивающейся стране те же условия будут расценены как «имеет доступ». Руководствуясь принципом «черное-белое», борцы с технологической несправедливостью рискуют пойти по ложному пути. Роб Клинг (Rob Kling), директор Центра социальных исследований при Индианском университете однажды заметил: «Вся беда в том, что термин «цифровой раскол» ассоциируется с понятием «цифровые решения», а точнее – «компьютеры и телекоммуникации» без указания контекста, в котором они употребляются».

Может показаться, что появление компьютеров, подключенных к Интернету, способно вызвать у наций, сообществ и индивидуумов интерес к цифровым технологиям. Бывший спикер палаты представителей Ньют Гингрич (Newt Gingrich) предлагал просто выдать каждому ребенку по компьютеру без четкого руководства по его использованию. Билл Гейтс (Bill Gates) тоже дарил компьютеры библиотекам в небольших городах по всей Америке. Он был убежден, что свободный доступ ко всемирной информационной сети поможет приостановить массовое переселение из сельских районов. Хотя повальное подключение к Сети повысило уровень жизни, позволив людям общаться с друзьями и близкими, миграция только увеличилась, т.к. провинциалам стало проще искать работу в больших городах. (К чести Гейтса и Гингрича, они хотя бы планировали развивать технологии доступа, и глава *Microsoft*, понимая невозможность разрешения социальных проблем с помощью цифровых технологий, вкладывал миллионы долларов в развитие здравоохранения и образования по всему миру.)

Описанный подход в научных кругах называют технологическим детерминизмом: обладание теми или иными технологиями приводит к осмысленному и прогрессивному их использова-



Некоторым кажется, что нехватку цифровых технологий можно компенсировать массовой раздачей компьютеров.

нию, приносящему социальную отдачу. Гарвардский выпускник Кристофер Деде (Christopher Dede) назвал это «моделью огня». Появление компьютера приводит к желанию учиться и развиваться так же, как появление огня приводит к возникновению тепла. Правительства, частные предприниматели, фонды и советы до сих пор тратят миллионы долларов, чтобы побороть цифровой раскол. Тем, кому это необходимо, предоставляются компьютеры и доступ в Интернет. Однако пока недостаточно внимания уделяется социальным аспектам использования технологий. Деде замечает, что одежда в данном случае лучше огня: она тоже согревает, но индивидуально подогнана по размеру.

Чем оборачивается технологический детерминизм на практике? В последние годы я много путешествовал по развитым и развивающимся странам, изучал программы цифровой интеграции, разговаривал с их участниками и организаторами. Очевидны две трудности: во-первых, хорошо разработанные программы приводят к неожиданным последствиям, и, во-вторых, зачастую люди пытаются решить сложные социальные проблемы, просто поставляя оборудование.

Минималистский подход

В 2000 г. муниципальные власти Нью-Дели совместно с индийским Национальным институтом информационных технологий начали эксперимент по предоставлению детям одного из самых бедных районов города доступа к компьютерам. Компьютеры с коммутируемым доступом в Интернет были помещены в закрытую будку, на улицу выходили только мониторы, кнопки и джойстики. Для организации обучения было решено отказаться от учителей и инструкторов. Идея заключалась в обеспечении бесконтрольного ежедневного доступа к технике, чтобы дети могли учиться на собственном опыте без помощи взрослых. Устроители провозгласили программу ярким примером внедрения информационных технологий в беднейшие слои населения. Положительные отзывы привели к появлению компьютерных киосков в других районах города.

Подойдя к одной из компьютерных будок в Нью-Дели, я обратил внимание на то, что соединение с Интернетом используется редко. Закрытый киоск, расположенный в стене, делает инструктирование и совместную работу невозможными. Во многих бедных сообществах Нью-Дели уже есть детские организации, которые могли бы проводить занятия в новых компьютерных центрах, но их участие ни приветствуется, ни возбраняется. Спустя 9 месяцев дети действительно научились управляться с джойстиком и кнопками. Но поскольку у них не было обучающих программ и текстов на хинди, они в основном играли в игры и рисовали.

Реакция родителей была неоднозначной. Некоторые из них приветствовали инициативу, но большинство выражали недовольство. Кое-кто жаловался, что компьютер плохо влияет на ребенка: «Мой сын хорошо учился, а сейчас он все время играет на компьютере, и его успеваемость страдает». Короче говоря, стало ясно, что минимально навязчивое обучение на практике оказывается минимально эффективным.

Чрезмерное преувеличение роли техники при недостаточном внимании к педагогической и систематической составляющим характеризуют использование компьютеров в большинстве образовательных проектов. Технологический детерминизм оспаривается сторонниками социальной информатики, подразумевающей рассмотрение технологии в особом контексте, включающем аппаратное и программное обеспечение, доступные ресурсы, инфраструктуру, а также взаимоотношения людей. Технология и социальная система влияют друг на друга так же, как биологическое сообщество и среда его обитания.

Хотя не все учителя начальных классов, родители и социальные работники знакомы с термином «социальная информатика», многие уже оценили последствия интеграции технологии и публичных организаций. Социальная информатика не так давно разви-

ОБЗОР: ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЛОГИКА

- Концепция цифрового раскола делит людей на тех, у кого есть доступ к компьютеру и информационным сетям, и тех, у кого нет. В рамках этого бесхитростного подхода проблема решается поставками техники.
- На самом деле разным людям компьютеры и Интернет нужны для разных целей, а желание иметь доступ к цифровым информационным ресурсам продиктовано совершенно несопоставимыми причинами.
- Внедряя новые технологии, в первую очередь необходимо исходить из того, каким образом их использование будет способствовать социальной интеграции.

Эксперимент с детским уличным компьютером, проведенный в Нью-Дели в 2000 г. В рамках проекта по ненавязчивому обучению детишки должны были научиться пользоваться компьютером без чьей-либо помощи. Однако из-за отсутствия опытного наставника компьютер превратился в простую электронную игрушку.

лась в общественную информатику, в которой также учитываются особенности традиционной культуры для наиболее эффективного использования технологий в социальных, экономических, политических или культурных целях.

Комплексный подход

Одна из программ, построенных на принципах общественной информатики, называется *Gyandoot* («поставщик знаний»). В 2000 г. в северо-западной части Мадхья-Прадеш, одного из беднейших штатов Индии, правительство решило заняться политическим и экономическим развитием сельского населения, 2/3 которого голодает и неграмотно. В каждой деревне установили по одному компьютерному киоску, соединенному сетью с остальными.

Компьютеры обслуживаются местными предпринимателями, а небольшая команда, нанятая правительством, занимается информационным наполнением сети *Gyandoot*, основываясь на анализе местных социальных и экономических потребностей. Например, крестьяне могут получить сведения о ценах на зерновые как в своем районе, так и на областных и национальных рынках. Воспользовавшись службой жалоб, жители могут сообщить о насущных проблемах, таких как поломка насоса или отсутствие в школе учителя. Так благодаря цифровой технике возросла эффективность государственных служб.

За несколько центов неграмотный сельчанин может воспользоваться услугами опытных киоскеров. Также за небольшую плату они обучают деревенских детей, повышая компьютерную грамотность в деревне. *Gyandoot* успешно используется для организации социально-экономических программ. Например, проект «Самый здоровый ребенок» предоставляет информацию о вакцинации и питании.

Установка *Gyandoot* обошлась недорого, поскольку на каждую деревню требуется всего один компьютер, а плата пользователей окупает зарплату

ОБ АВТОРЕ:

Будучи заместителем заведующего кафедрой образования в Калифорнийском университете, **Марк Варшауэр** (Mark Warschauer) преподает в Школе информатики и вычислительной техники при университете, а также сотрудничает с Центром исследования информационных технологий и организаций. Помимо этого он занимает пост главного редактора основанного им журнала *Language Learning&Technology*. Варшауэр написал несколько книг о высоких технологиях и образовании. В качестве редактора электронной новостной рассылки *Papyrus News* он побывал в Египте, Китае, Индии, Бразилии, Сингапуре и других странах, где изучал, как разные народы и сообщества используют информационные технологии для образования и социального развития.

PABLO BARTHOLOMEW/Netphotograph.com

Не столь важны различия в доступности компьютеров; гораздо важнее различия в способах их применения.

управляющих киосками. Проект имеет много общего с телефонными киосками, с помощью которых удалось организовать связь во всей Индии. К середине 2002 г. в нем участвовало уже около 21 300 пользователей с годовым доходом менее $300.

Значение *Gyandoot* еще предстоит определить, но уже можно с уверенностью заявить: техническое решение может быть малобюджетным, но эффективным, если его совместить с тщательно спланированной образовательной и социальной программой.

Калифорнийский опыт

Исследования, проведенные совместно с кандидатом наук Джуди Уэйлсом (Jodie Wales), говорят о необходимости внедрения общественной информатики в США. Чтобы помочь учащимся колледжей при поступлении в университеты, в высших школах Калифорнии были открыты курсы прогрессивного размещения (КПР). Однако их доступность во многом зависит от социально-экономического статуса и этнического состава студентов. Например, в 1999 г. средняя школа Беверли-Хиллз (афроамериканцы и латиноамериканцы составляют 9%) предоставила КПР по 45 дисциплинам, а средняя школа Инглвуда, находящаяся на другой стороне города (97% афроамериканцев и латиноамериканцев), – только по трем.

В 2000 г. для решения этой проблемы свои усилия объединили Калифорнийский университет и средняя школа Анахайма, большую часть студентов которой составляют латиноамериканцы. Сначала были организованы онлайн КПР по макроэкономике, поскольку даже бедные студенты имеют доступ к Интернету. Ученики разных школ записались на курсы, но лишь 6 из 22 слушателей закончили их. Опросы студентов показали, что причины неудачи кроются в недоработках структуры он-лайн преподавания, а также в отсутствии элемента соревнования и недостатке живого общения с наставником.

Тем не менее даже неудача принесла свои плоды. В следующем году переработанная программа собрала учащихся нескольких школ в компьютерной лаборатории для прослушивания курса «Введение в информатику и язык программирования Си». Он-лайн преподавание вел эксперт по компьютерной тематике, а к студентам присоединился учитель, отвечавший на вопросы и осуществлявший локальную поддержку. Комбинация дистанционного обучения и тесного взаимодействия учеников с наставником и друг с другом оказалась удачной: 56 из 65 студентов успешно окончили курс. Основываясь на этих результатах, подготовительная школа при Калифорнийском университете отказалась от простого он-лайн обучения в пользу его интеграции с традиционным преподаванием. Безусловно, компьютерная дисциплина могла оказаться проще курса макроэкономики; вероятно, она лучше приспособлена для подачи в формате он-лайн. Такие моменты необходимо учитывать при выборе способа преподавания.

Многие социо-педагогические исследования показывают, что использование компьютера в школе может как подчеркнуть, так и сгладить неравенство. Наблюдается дисбаланс не в доступности компьютеров, а в способах их использования. И в начальных, и в старших классах школьники с высоким социально-экономическим статусом чаще пользуются ЭВМ для моделирования, анализа и сложных расчетов, чем бедные ученики, предпочитающие менее сложные задачи и упражнения, не задействующие всю мощь современных компьютеров. На уроках математики и языка, где такие упражнения не редкость, малообеспеченные ребята проводят за компьютером больше времени. В научных классах, которые ориентированы на эксперименты и моделирование, перед мониторами обычно засиживаются школьники из богатых семей. Итак, теория «цифрового раскола», акцентирующая внимание только на возможности доступа к компьютеру, не объясняет более глубокого неравенства в обучении и использовании технологий.

Изменяя способ мышления

Получая доступ к цифровой информации, человек остается частью социальной сети, включающей родственников, друзей, коллег и т.д. Можно провести аналогию с литературой, которую нельзя назвать чертой между теми, кто умеет читать, и теми, кто не умеет. Ей присущи уровни функционального, профессионального, гражданского, духовного и учебного применений. Люди становятся образованными не только из-за доступности книг, но скорее благодаря обучению, общению, связям на работе, семейной поддержке и социальным программам. Точно так же и технология может стать полезным средством преобразования и улучшения существующих социальных программ.

Подведем итоги. Двоичного цифрового раскола нет, так же как нет доминирующего фактора для его выявления и устранения. Технология – это не самостоятельная субстанция, которую можно привнести извне для получения определенных результатов; она вовлечена в социальные системы и процессы. С точки зрения политики, цель внедрения технологий в маргинальные массы – не преодолеть циф-

Сетью *Gyandoot* пользуются крестьяне центрального индийского района возле г. Дхар, в котором из 1,7 млн. населения 60% живет за чертой бедности. В *Gyandoot* можно найти информацию о ценах на сельскохозяйственную продукцию, анкеты по трудоустройству. Эта же сеть помогает проводить деревенские торги и направлять различные жалобы в государственные структуры.

PABLO BARTHOLOMEW/Netphotograph.com

ровой раскол, а инициировать социальное объединение. Решение этой задачи подразумевает не только предоставление компьютеров и доступа в Интернет, но также разработку информационного наполнения на различных языках, пропаганду образования, организацию общественной и технической поддержки. Тогда технология станет мощным инструментом, а не вещью в себе.

Администрация Джорджа Буша урезает финансирование программ, направленных на популяризацию технологий. Некоторые считают, что такая экономия оправданна, поскольку нет явного раскола. Подобные суждения – результат поверхностного подхода к проблеме. Нужно четко понимать, что устранение цифрового раскола нельзя свести к постройке мостов, соединяющих берега пропасти. Только грамотно спланированное внедрение техники с тщательно подобранным информационным содержанием и проработанная образовательная и социальная поддержка могут кардинально повлиять на развитие общества. ■

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ:

• Technology and Social Inclusion: Rethinking the Digital Divide. Mark Warschauer. MIT Press, 2003.
• Who's Wired and Who's Not? Henry J. Becker in The Future of Children, Vol. 10, No. 2; 2000. Доступно на **www.futureofchildren.org/usr – doc /vol10no2Art3.pdf**
• Reconceptualizing the Digital Divide. Mark Warschauer in First Monday, Vol. 7, No. 7; 2002. Доступно на **www.firstmonday.dk/issues/issue7 – 7/warschauer/**
• Athena Alliance: **www.athenaalliance.org/**
• Центр социальной информатики: **www.slis.indiana.edu/CSI/**
• Подразделение по изучению и применению общественной информатики: **www.cira.org.uk/**
• Центр общественных технологий: **www.ctcnet.org**
• Сообщество цифрового раскола: **www.digitaldividenetwork.org/**

информация
в голографической вселенной

Якоб Бекенштейн

Результаты теоретического изучения энтропии черных дыр **наводят на мысль**, что Вселенная подобна гигантской голограмме.

На вопрос «из чего состоит физический мир» вам скорее всего ответят – «из вещества и энергии». Однако образованный человек непременно упомянет и об информации, которая играет ключевую роль в живой и даже неживой природе. Согласно же теории Джона Уилера (John A. Wheeler) из Принстонского университета, физический мир состоит именно из информации, а вещество и энергия играют в нем второстепенную роль.

Такая точка зрения заставляет по-новому взглянуть на старые проблемы. Информационная емкость различных устройств, таких как дисковые накопители, растет очень быстро. Когда этот процесс остановится? Каков предел информационной емкости прибора массой, скажем, в один грамм и объемом не более кубического сантиметра (размер микросхемы)? Какое количество информации необходимо для полного описания Вселенной? Может ли оно уместиться в памяти компьютера? Можем ли мы, как писал когда-то Уильям Блейк (Whilliam Blake), «увидеть мир в песчинке» или это лишь поэтический образ?

Новейшие успехи теоретической физики дают ответы на некоторые из этих вопросов и помогают создавать теорию реальности. Изучая таинственные свойства черных дыр, физики вывели абсолютный предел объема информации, которую может хранить данная область пространства или данные количества вещества и энергии. Результаты исследований заставляют задуматься о том, что наша Вселенная, воспринимаемая нами как трехмерная, в действительности может быть «написана» на двухмерной поверхности подобно голограмме. При этом наше восприятие мира как трехмерного может быть либо заблуждением, либо одним из альтернативных способов видения реальности. Песчинка не может заключать в себе весь наш мир, а плоский экран – может.

История двух энтропий

В основе формальной теории информации лежит разработка американского математика Клода Шеннона (Claud E. Shannon), опубликованная в 1948 г. Он ввел наиболее употребительную меру информационного содержания – энтропию, которая долгое время была центральным понятием термодинамики и которую обычно определяют как меру неупорядоченности физической системы. В 1877 г. австрийский физик Людвиг Больцман определил энтропию как число различных микроскопических состояний, которые может принимать совокупность частиц, составляющая некий «кусок» вещества, оставаясь на вид той же макроскопической «частью». Например, для воздуха в комнате можно рассчитать все возможные пространственные распределения молекул и все их возможные движения.

Для описания способа количественного выражения информации, содержащейся, например, в сообщении, Шеннон предложил формулу, совпадающую с формулой Больцмана. По Шеннону, энтропия сообщения – это число двоичных знаков, или битов, необходимое для кодирования данной информации. Энтропия не отражает ценность сообщения, которая полностью зависит от контекста, однако в качестве объективной меры количества информации она оказалась чрезвычайно полезной. В частности, знание энтропии необходимо для проектирования любого современного коммуникационного устройства – от сотового телефона до модема и проигрывателя компакт-дисков.

В концептуальном отношении термодинамическая энтропия и энтропия Шеннона эквивалентны: число распределений, подсчитываемое энтропией Больцмана, отражает количество шенноновской информации, необходимое для реализации любого конкретного распределения. Однако есть существенные различия. Во-первых, энтропия, которой пользуются химики, выражается отношением энергии к температуре, а энтропия Шеннона, используемая специалистами по связи, – числом битов, т.е. величиной принципиально безразмерной. Однако даже приведенные к одним и тем же единицам измерения численные значения этих величин будут различны. Так, информационная энтропия микросхемы, хранящей один гигабайт данных, составляет около 10^{10} бит (1 байт = 8 бит), а термодинамическая энтропия той же микросхемы при комнатной температуре имеет

ALFRED T. KAMAJIAN

порядок 10^{23} бит. Различие объясняется тем, что они рассчитываются для различного числа степеней свободы (это любая величина, которая может изменяться; например, координата, определяющая положение частицы в пространстве.) Энтропия Шеннона характеризует только состояние каждого из микроскопических транзисторов, сформированных в кристалле кремния. Транзистор может находиться в одном из двух состояний – открытом или закрытом, которым соответствуют двоичные ноль и единица. Значит, он имеет одну двоичную степень свободы, в отличие от термодинамической энтропии, зависящей от состояний миллиардов атомов (и их странствующих электронов), образующих транзистор. По мере того, как миниатюризация неуклонно приближает день, когда каждый атом сможет хранить один бит информации, численное значение полезной информационной энтропии микросхемы будет приближаться к значению термодинамической энтропии материала, из которого она изготовлена. Когда обе вычисляются для одинакового числа степеней свободы, они равны.

Каково предельное число степеней свободы? Атомы состоят из электронов и ядер, являющихся скоплением протонов и нейтронов, которые, в свою очередь, состоят из кварков. Многие физики считают электроны и кварки возбужденными состояниями суперструн, являющихся наиболее фундаментальными природными объектами. Однако в структуре нашей Вселенной может оказаться больше уровней, чем полагает современная физика.

Чтобы рассчитать предельную информационную емкость некоего количества вещества или, что эквивалентно, его истинную термодинамическую энтропию, необходимо знать природу фундаментальных составляющих вещества или самого глубокого уровня его структуры, который я назову уровнем *X*.

Термодинамика черных дыр

Согласно уравнениям общей теории относительности, разработанной Альбертом Эйнштейном в 1915 г., достаточно большая концентрация вещества или энергии может искривить пространство-время настолько, что оно разорвется, образовав черную дыру. Законы относительности не позволяют чему бы то ни было, попавшему внутрь нее, появиться вновь, по крайней мере, в рамках представлений классической (неквантовой) физики. Важнейшее значение имеет рубеж невозврата, называемый горизонтом событий черной дыры. В простейшем варианте он представляет собой сферу, радиус которой тем больше, чем больше масса черной дыры.

Узнать, что находится внутри нее, невозможно, т.к. никакая информация не может преодолеть этот горизонт. Однако, исчезая навсегда, вещество оставляет некоторые следы: его энергия (в соответствии с уравнением Эйнштейна $E = mc^2$ мы считаем массу энергией) навсегда увеличивает ее массу. Если перед захватом вещество обращалось вокруг черной дыры, его момент импульса добавляется к моменту импульса дыры. И массу, и момент импульса черной дыры можно определить по их влиянию на пространство-время в ее окрестности.

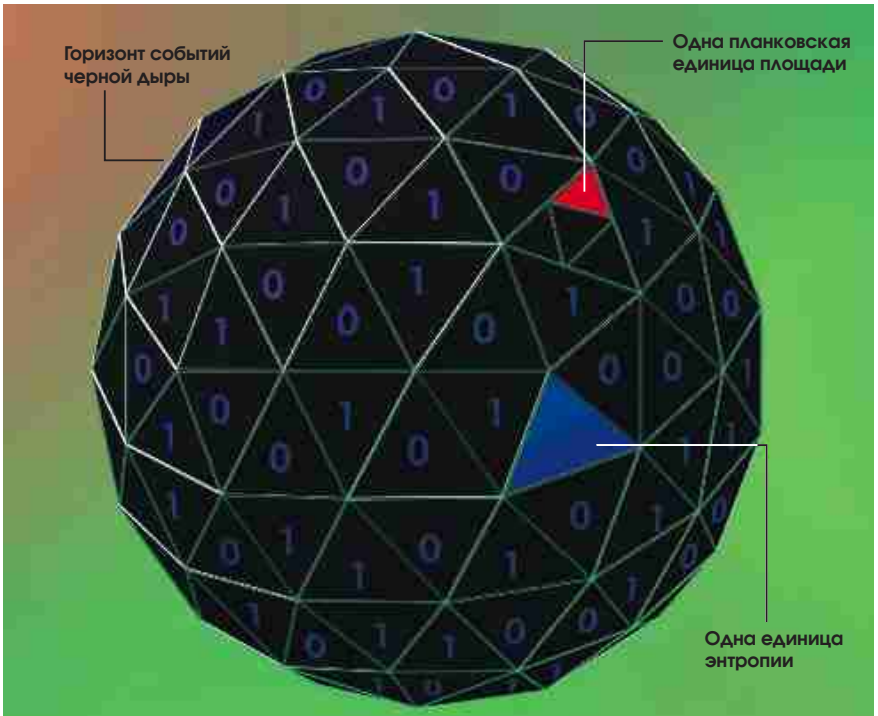
Таким образом, законы сохранения энергии и импульса применимы к черной дыре. Но второй закон термодинамики, кажется, нарушается. Этот закон запрещает обратимые процессы, а значит, энтропия изолированной физической системы не может уменьшаться – в лучшем случае она остается постоянной, но обычно растет. Этот закон – основа физической химии и техники. Как впервые отметил Уилер, когда вещество исчезает в черной дыре, его энтропия тоже пропадает навсегда, что представляется нарушением второго закона термодинамики. Ключ к этой разгадке появился в 1970 г., когда аспирант Уилера в Принстонском университете Деметриус Христодулу (Demetrious Christodoulou) и Стивен Хокинг (Stephen W. Hawking) из Кембриджского университета независимо друг от друга доказали, что при слиянии черных дыр общая площадь горизонта событий никогда не уменьшается. Это навело меня в 1972 г. на мысль, что энтропия черной дыры пропорциональна площади поверхности ее горизонта событий (см. рис. на стр. 55). Я предположил, что при падении вещества в черную дыру возрастание ее энтропии компенсирует или превосходит «потерю» энтропии вещества. Сумма энтропии черной дыры и обычной энтропии вне ее не может уменьшаться. Таков обобщенный второй закон (ОВЗ) термодинамики.

Когда звезда коллапсирует, превращаясь в черную дыру, энтропия дыры оказывается гораздо больше энтропии звезды. В 1974 г. Хокинг показал, что черная дыра спонтанно испускает тепловое излучение, известное сегодня как излучение Хокинга. Это явление не согласуется с теоремой Христодулу–Хокинга (масса черной дыры

ОБЗОР: МИР КАК ГОЛОГРАММА

- Теория, называемая голографическим принципом, утверждает, что Вселенная подобна голограмме: подобно тому, как луч света позволяет «записать» трехмерное изображение на плоской пленке, так и воспринимаемая нами трехмерная Вселенная может быть эквивалентна иной системе квантовых полей и законов, «нарисованной» на далекой огромной поверхности.
- Физика черных дыр дает основания полагать, что голографический принцип верен. Изучение черных дыр показывает, что максимальное информационное содержание любой области пространства определяется не ее объемом, а площадью ограничивающей ее поверхности, как бы это ни противоречило здравому смыслу.
- Физики надеются, что голографический принцип даст ключ к построению окончательной теории реального мира.

и, следовательно, площадь ее горизонта уменьшается), но ОВЗ разрешает противоречие: энтропия испускаемого излучения компенсирует уменьшение энтропии черной дыры, так что ОВЗ соблюдается. В 1986 г. Рафаил Соркин (Rafael D. Sorkin) из Сиракьюзского университета сравнил роль горизонта событий черной дыры с барьером, не допускающим влияния информации, находящейся внутри дыры, на события вне ее, чтобы показать, что ОВЗ должен соблюдаться во всех процессах, касающихся черной дыры. Его глубокие рассуждения ясно показывают, что энтропия ОВЗ учитывает все уровни до X включительно, как бы глубоко тот ни лежал. Процесс излучения Хокинга позволил ему определить коэффициент пропорциональности между энтропией черной дыры и площадью горизонта событий: энтропия равна одной четверти площади горизонта, выраженной в планковских единицах (планковская единица площади – это квадрат длины Планка, фундаментальной константы, связанной с тяготением и квантовой механикой, близкой к 10^{-33} см). Это огромная величина даже по термодинамическим представлениям. Энтропия черной дыры диаметром 1 см составляет около 10^{66} бит, что примерно равно термодинамической энтропии водяного куба с ребром в 10 млрд. км.



Энтропия черной дыры пропорциональна площади ее горизонта событий. Черная дыра с площадью горизонта событий, равной A планковских единиц, содержит $A/4$ единиц энтропии, словно энтропия записана на горизонте событий таким образом, что каждый бит информации соответствует четырем планковским единицам площади.

Мир как голограмма

Обобщенный второй закон термодинамики позволяет найти предел информационной емкости любой изолированной физической системы, т.е. предельный объем информации, которая может храниться на всех уровнях ее структуры до уровня X включительно. В 1980 г. я начал изучать универсальный энтропийный предел, определяющий максимальный объем информации для данной массы данного размера (см. стр. 56). Связанный с ним голографический предел, устанавливающий максимальное значение энтропии, которая может содержаться в веществе и энергии, занимающих данный объем пространства, был рассмотрен в 1995 г. Леонардом Зускиндом (Leonard Susskind) из Стэнфордского университета.

Если изолированная масса приблизительно сферической формы, не являющаяся черной дырой и ограниченная замкнутой поверхностью с площадью A, коллапсирует, превращаясь в черную дыру, то площадь ее горизонта событий станет меньше A. Следовательно, энтропия черной дыры будет меньше $A/4$. Согласно ОВЗ, энтропия не может уменьшаться, значит, первоначальная энтропия рассматриваемой массы не могла быть больше $A/4$. Из этого следует, что энтропия изолированной физической системы, ограниченной поверхностью площади A, всегда меньше $A/4$. А что если масса спонтанно не коллапсирует? В 2000 г. я показал, что маленькая черная дыра может быть использована для превращения системы в черную дыру, мало чем отличающуюся от рассмотренной Зускиндом. Таким образом, предел зависит только от ОВЗ, а не от строения системы или природы уровня X.

Теперь мы можем ответить на некоторые вопросы о пределах возможности хранения информации. Устройство поперечником в 1 см может хранить до 10^{66} бит, в то время как вся видимая Вселенная содержит не менее 10^{100} бит энтропии. Это количество может, в принципе, быть размещено в пределах сферы диаметром 0,1 светового года. Но оценка энтропии Вселенной – трудная задача, для решения которой понадобятся гораздо большие числа, требующие сферы размером с саму Вселенную.

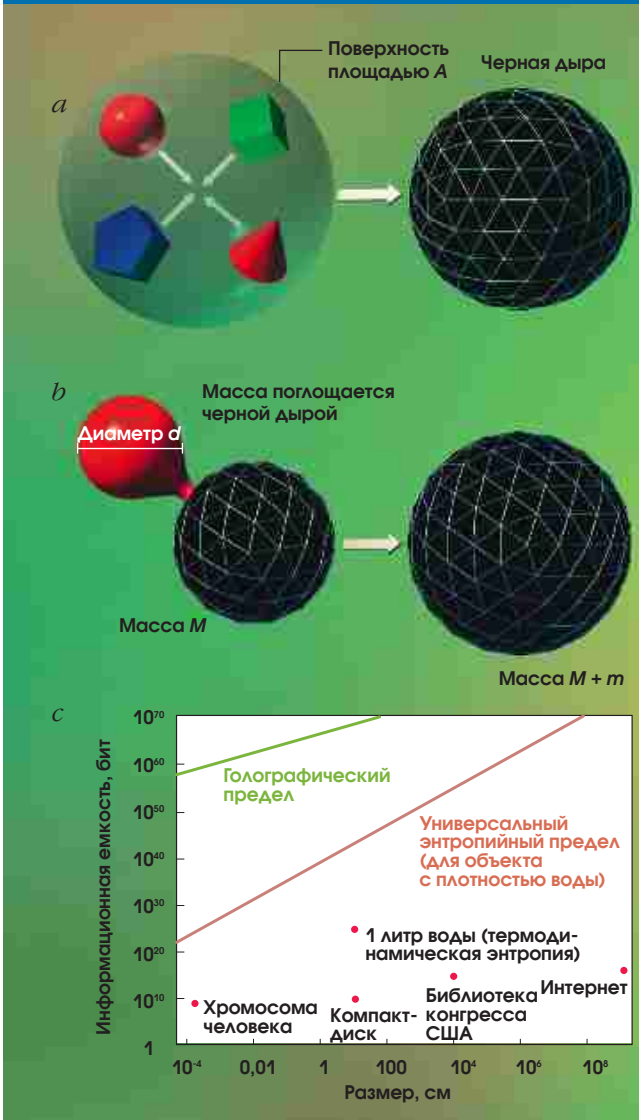
У голографического предела есть и другой аспект: максимум возможной энтропии определяется площадью границы, а не заключенным в ней объемом. Представим, что мы составляем большую систему из микросхем памяти. Число транзисторов, определяющее информационную емкость, будет

ALFRED T. KAMAJIAN

расти пропорционально ее объему. Так же будет возрастать и общая термодинамическая энтропия совокупности микросхем. Примечательно, что теоретически предельная информационная емкость области пространства, занимаемой такой системой, будет увеличиваться только пропорционально площади поверхности этой области. Поскольку объем растет быстрее площади поверхности, рано или поздно суммарная энтропия всех микросхем превысит голографический предел. Создается впечатление, что должны потерпеть крах либо наши представления об энтропии и информационной емкости, либо ОВЗ. На самом деле построить такую систему невозможно: под действием внутренних гравитационных сил она сколлапсирует, превратится в черную дыру, раньше, чем будет достигнут упомянутый предел. После этого каждая добавленная микросхема будет увеличивать массу и площадь поверхности черной дыры таким образом, что ОВЗ будет сохраняться.

Если верен голографический принцип, предложенный в 1993 г. нобелевским лауреатом Герардом Хофтом (Gerard't Hooft) из Утрехтского университета в Нидерландах и развитый Зускиндом, то зависимость предела информационной емкости от площади поверхности, а не от объема вполне объяснима. В повседневной жизни голография – это особый вид фотографии, позволяющий получать трехмерные изображения при использовании специального освещения. Вся информация кодируется в виде системы темных и светлых областей на двумерной поверхности фотопленки и всегда готова к воспроизведению. Голографический принцип гласит, что

ПРЕДЕЛЫ ПЛОТНОСТИ ИНФОРМАЦИИ



Термодинамика черных дыр позволяет найти пределы плотности энтропии или информации для различных случаев.

Голографический предел показывает, какое количество информации может содержаться в конкретной области пространства. Его можно обнаружить при рассмотрении сферического распределения вещества, содержащегося внутри ограничивающей эту область поверхности площадью A. Пусть вещество коллапсирует в черную дыру (*a*). Площадь поверхности такой дыры должна быть меньше A, ее энтропия – меньше $A/4$ (см. рис. на стр. 55). Поскольку энтропия не может уменьшаться, первоначальное распределение вещества должно содержать меньше $A/4$ единиц энтропии или информации. Вывод о том, что максимальное информационное содержание области пространства определяется площадью, ограничивающей эту область поверхности, противоречит основанному на «здравом смысле» предположению, что оно должно определяться объемом этой области.

Универсальный энтропийный предел показывает, сколько информации может содержать масса m диаметром d. Он выводится при рассмотрении случая, когда «капсула» этой массы захватывается черной дырой немного большего размера (*b*). Вызванное этим увеличение размера черной дыры задает максимум энтропии, которая могла содержаться в данной массе. Этот универсальный предел меньше голографического, если только плотность рассматриваемой «капсулы» не близка к плотности черной дыры (в этом случае оба предела эквивалентны).

И голографический, и универсальный информационные пределы намного превышают как информационные емкости всех существующих сегодня технологий хранения информации, так и плотность информации в хромосомах и термодинамическую энтропию воды (*c*).

ALFRED T. KAMAJIAN, LAURIE GRACE (*graph*)

Информационное содержание совокупности микросхем памяти пропорционально их количеству, т.е. занимаемому ими объему. При достаточно большом числе микросхем эта простая закономерность должна нарушиться, поскольку их информационное содержание превысит голографический предел, который зависит не от объема, а от площади поверхности, ограничивающей этот объем. Это «нарушение» произойдет, когда огромная груда микросхем сколлапсирует, превратившись в черную дыру.

подобным образом можно полностью описать любую физическую систему, занимающую некую область трехмерного пространства: он утверждает, что другая физическая теория, определенная только для двухмерной границы этой области, способна полностью описать физику ее трехмерного содержимого. Если объемная система может быть полностью описана теорией, действующей только на двумерной границе этой системы, то можно ожидать, что информационное содержание системы не будет превышать аналогичного показателя ее двумерной «оболочки».

Вселенная, нарисованная на ее границе

Можно ли применить голографический принцип ко всей Вселенной? Реальная Вселенная – это четырехмерная система, у которой есть объем, и она простирается во времени. Если ее физика голографична, должен существовать другой набор физических законов, действующих где-то на трехмерной границе четырехмерного пространства-времени. Какую поверхность следует использовать в качестве границы Вселенной? Один из путей к осмыслению этих новых идей лежит в изучении моделей, более простых, чем реальная Вселенная.

Примерами действия голографического принципа стали так называемые антидеситтеровские пространства-времена. Исходное пространство-время де Ситтера – это модель Вселенной, впервые построенная в 1917 г. нидерландским астрономом Виллемом де Ситтером (Willem de Sitter) как решение уравнений Эйнштейна, включающее силу отталкивания, называемую космологической постоянной. Пространство-время де Ситтера пусто, расширяется с ускорением и обладает высокой симметрией. В 1997 г. астрономы, наблюдавшие взрывы далеких сверхновых, пришли к выводу, что расширение нашей Вселенной ускоряется, и она, вероятно, будет приближаться к деситтеровскому пространству-времени. Если в уравнениях Эйнштейна отталкивание заменить притяжением, решение де Ситтера окажется антидеситтеровским пространством-временем, обладающим столь же высокой симметрией. Кроме того, это пространство-время имеет границу, находящуюся на бесконечном удалении, и во многом оно подобно нашему привычному пространству-времени.

Используя антидеситтеровское пространство-время, теоретики показали пример действия голографического принципа: Вселенная, описываемая теорией суперструн, действующей в антидеситтеровском пространстве-времени, полностью эквивалентна квантовой теории поля, действующей на границе этого пространства-времени (см. стр. 58). Первым предположение о таком соотношении для пятимерного антидеситтеровского случая высказал в 1997 г. Хуан Малдасена (Juan Maldacena) из Гарвардского университета. Впоследствии для ряда случаев оно было подтверждено Эдвардом Уиттеном (Edward Witten) из Принстонского института передовых исследований (шт. Нью-Джерси),

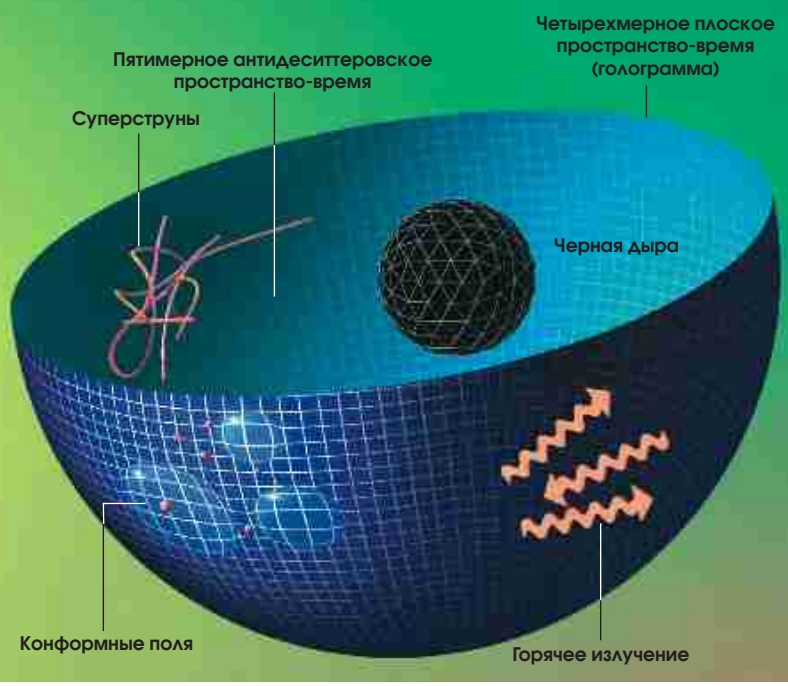
ОБ АВТОРЕ:

Якоб Бекенштейн (Jacob D. Bekenstein) – профессор теоретической физики Еврейского университета в Иерусалиме, член Израильской Академии естественных и гуманитарных наук и лауреат премии Ротшильда. Он является одним из основателей термодинамики черных дыр и внес весомый вклад в изучение различных аспектов связи между информацией и тяготением. Бекенштейн посвящает эту статью Джону Уилеру (John Archibald Wheeler), который был руководителем его диссертации 30 лет назад.

ALFRED T. KAMAJIAN

ГОЛОГРАФИЧЕСКОЕ ПРОСТРАНСТВО-ВРЕМЯ

Голографический принцип позволяет рассматривать две вселенные разных размерностей, подчиняющиеся различным физическим законам, как эквивалентные. Теоретики математически обосновали этот принцип для конкретного случая пятимерного «антидеситтеровского» пространства-времени и его четырехмерной границы. Пятимерная Вселенная отображается на ограничивающую ее четырехмерную поверхность, подобно голограмме. Пятимерным пространством правит теория суперструн, а на четырехмерной голограмме действует теория так называемых конформных полей точечных частиц. Черная дыра в пятимерном пространстве-времени эквивалентна горячему излучению на голограмме; в частности, они имеют одну и ту же энтропию, хотя ее физическое происхождения для них различно. Описания таких Вселенных несхожи, однако экспериментально различить их невозможно.



а также Стивеном Габсером (Steven S. Gubser), Игорем Клебановым и Александром Поляковым из Принстонского университета. Сегодня примеры этого голографического соответствия известны для пространств с различным числом измерений.

Таким образом, две теории, казавшиеся совершенно разными и даже действующими в пространствах с разным числом измерений, оказались эквивалентны.

Голографическая эквивалентность, возможно, позволит нам заменить сложные вычисления таких явлений, как поведение кварков или глюонов в четырехмерном граничном пространстве-времени, более простыми вычислениями в высокосимметричном пятимерном антидеситтеровском пространстве-времени. Это соответствие работает и в другом отношении. Уиттен показал, что черная дыра в антидеситтеровском пространстве-времени соответствует горячему излучению в альтернативной физике, действующей в граничном пространстве-времени. Загадочная энтропия черной дыры свелась к вполне понятной энтропии излучения.

Расширяющаяся Вселенная

Высокосимметричная и пустая пятимерная антидеситтеровская Вселенная мало похожа на нашу Вселенную, существующую в четырехмерном пространстве-времени и заполненную веществом и энергией. Даже представив нашу реальную Вселенную моделью, в которой вещество и излучение распределены равномерно, мы получим не антидеситтеровскую вселенную, а вселенную Фридмана–Робертсона–Уокера (ФРУ). Сегодня многие космологи согласны, что наша Вселенная подобна вселенной ФРУ, которая бесконечна, не имеет границ и будет вечно расширяться.

Согласуется ли такая Вселенная с голографическим принципом или с голографическим пределом? Рассуждения Зускинда, основанные на рассмотрении коллапса с образованием черной дыры, не могут ответить на этот вопрос. Действительно, в однородной расширяющейся Вселенной голографический предел, выведенный из анализа черных дыр, должен нарушаться. Энтропия области, однородно заполненной веществом и излучением, действительно пропорциональна объему этой области, следовательно, при достаточно большом ее размере голографический предел неизбежно будет превышен.

В 1999 г. Рафаил Буссо (Raphael Bousso), работавший тогда в Стэнфордском университете, предложил модифицированный голографический предел, который, как оказалось, применим даже в тех случаях, когда рассмотренные выше пределы неприменимы. Буссо начинает с рассмотрения любой двумерной поверхности, которая может быть замкнутой, как сфера, или открытой, подобно листу бумаги. Представьте себе короткую вспышку света, испускаемую одной стороной этой поверхности так, что лучи выходят перпендикулярно к ней в каждой точке. Единственное требование – изначальная сходимость лучей. Такому требованию отвечает, например, внутренняя поверхность сферической оболочки. Буссо рассматривает энтропию вещества и излучения, через которые проходят эти воображаемые лучи, в пределах до тех точек, где они начинают пересекаться. Он предполагает, что эта энтропия не может быть больше энтропии рассматриваемой поверхности, т.е. больше

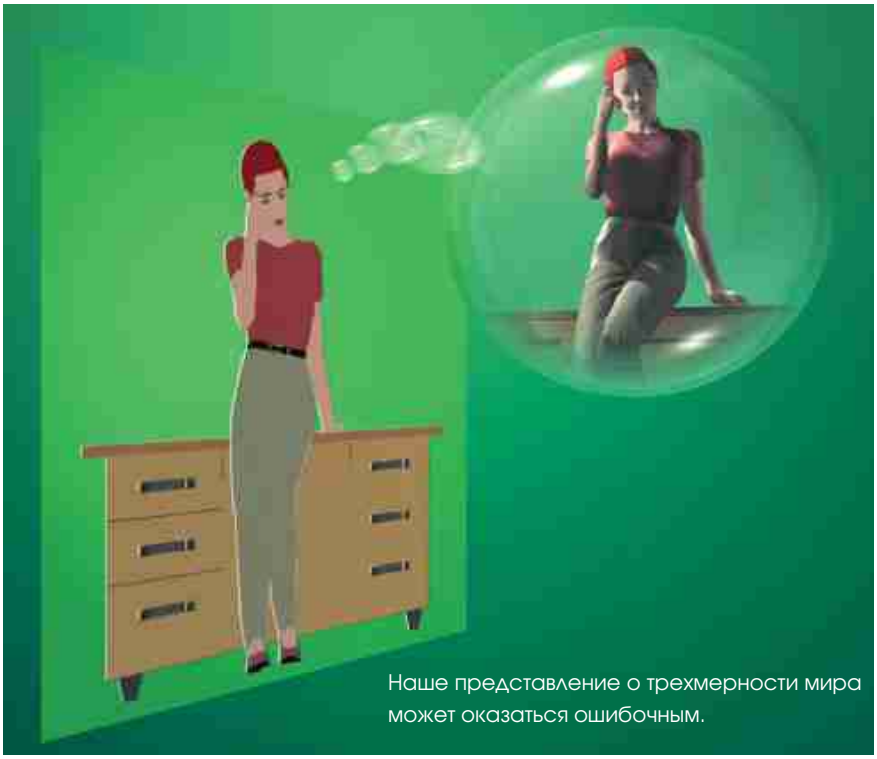
ALFRED T. KAMAJIAN

четверти ее площади в планковских единицах (см. выше). Такой подход к расчету энтропии отличен от применявшегося для расчета первоначального голографического предела. Предел Буссо характеризует не энтропию области в некоторый момент времени, а сумму энтропий отдельных подобластей в различные моменты времени – те, когда они «освещаются» вспышкой от поверхности.

Предел Буссо включает в себя другие пределы энтропии, но при этом он свободен от их недостатков. Из него можно вывести и универсальный энтропийный предел, и голографический предел Хофта–Зускинда для любой не слишком быстро изменяющейся изолированной системы с не слишком сильным гравитационным полем. Когда вышеуказанные условия не действуют, например, при коллапсе шара из вещества, уже находящегося внутри черной дыры, эти пределы становятся неприменимыми, а предел Буссо работает. Ученый также показал, что такой подход можно использовать для выявления двумерных поверхностей, на которых может быть «записана» голограмма мира.

Пророки революции

Ученые предложили существование многих других пределов для энтропии. Но хотя голографический подход осмыслен еще не до конца, от него, видимо, уже невозможно отказаться, а господствовавшее 50 лет представление, будто теория поля является последним словом физики, придется пересмотреть. Такие поля, как электромагнитное, изменяются от точки к точке непрерывным образом и, следовательно, допускают неограниченное число степеней свободы. Допускает его и теория суперструн. Голография же ограничивает число степеней свободы, которые могут существовать внутри граничной поверхности, конечным значением. Теория поля с ее бесконечностью не может быть последним словом. Более того, даже если бесконечность удастся «приручить», придется как-то оправдывать таинственную зависимость информации от площади поверхности.



Наше представление о трехмерности мира может оказаться ошибочным.

Толчком к созданию более совершенной теории может оказаться голография. Какой должна быть фундаментальная теория? Цепь рассуждений, включающих в себя голографические представления, привела некоторых ученых, в частности Ли Смолина (Lee Smolin) из Института теоретической физики в Ватерлоо, к предположению, что такая фундаментальная теория должна иметь дело не с полями и даже не с пространством-временем, а с обменом информацией между физическими процессами. Если это так, то видение информации как «материала», из которого построен мир, найдет достойное воплощение. ■

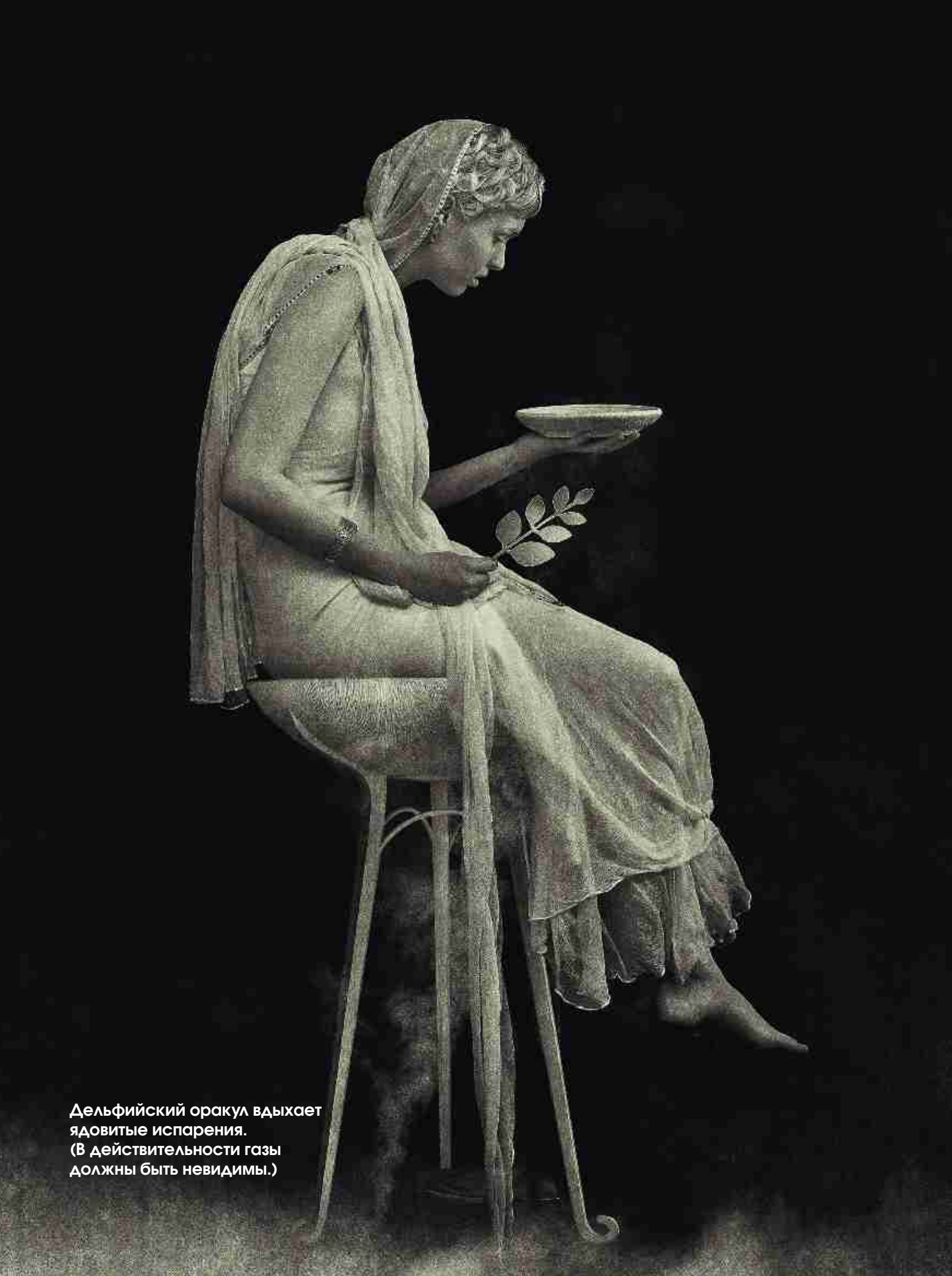
ALFRED T. KAMAJIAN

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ:

• Jacob D. Bekehstein, Black Hole Thermodynamics. Physics Today, Vol. 33, No. 1, pp. 24–31, January 1980.
• Kip S. Thorne and W. W. Norton, Black Holes ant Time Warps: Einstein Outrageous Legacy, 1995.
• Leonard Susskind, Black Holes and Information Paradox. Scientific American, Vol. 276, No. 4, pp. 40–45, April 1997.
• Stephen Hawking, The Universe in a Nutshell. Bantam Books 2001.
• Lee Smolin, Three Roads to Quantum Gravity. Basic Books, 2002.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ:

• Хокинг С., Пенроуз Р. Природа пространства и времени. Ижевск: РХД, 2000.
• Уилер Дж.А. Предвидение Эйнштейна. М.: Мир, 1970.
• Новиков И.Д., Фролов В.П. Физика черных дыр. М.: Наука, 1986.
• Рюэль Д. Случайность и хаос. Ижевск: РХД, 2001
• Хокинг С. Краткая история времени: от Большого взрыва до черных дыр. СПб: Амфора, 2001.



Дельфийский оракул вдыхает ядовитые испарения. (В действительности газы должны быть невидимы.)

спроси
ДЕЛЬФИЙСКОГО ОРАКУЛА

Джон Хейл, Джелл де Боер, Джефф Чантон и Рик Спиллер

Плутарх верил, что **боги** должны полагаться на материальные субстанции нашего порочного и **преходящего мира**, чтобы выполнить свой долг.

Храм Аполлона, расположенный в живописной горной местности в Дельфах, был самым почитаемым местом в древней Греции: здесь обитал всесильный оракул. Горожане шли сюда за помощью, надеясь решить свои житейские проблемы, поправить здоровье; воины – за советом перед сражением; переселенцы, отправлявшиеся в Италию, Испанию или Африку, ожидали его напутствия. Оракул поддержал Ореста в намерении отомстить за убийство отца и предсказал Эдипу, что тот убьет отца и женится на своей матери.

Дельфийский оракул находился в центральной части храма, называемой адитон, куда было запрещено входить. Он вещал через Пифию, женщину-медиума, связывавшуюся с Аполлоном, богом провидения сестер, стерегущих в храме вечный огонь.

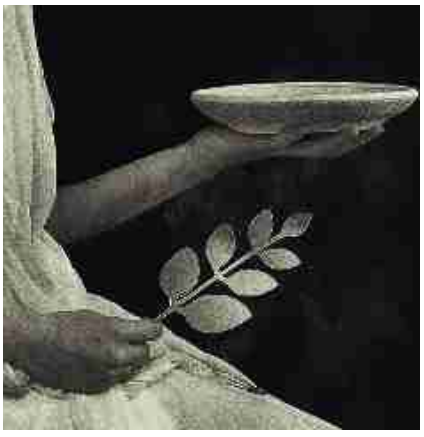
Объяснение в классическом стиле

Во многих древних источниках описано, как происходили пророчества могущественного оракула: у историков Плиния и Диодора, философа Платона, у поэтов Эсхила и Цицерона, географа Страбона и даже у дельфийского священника, знаменитого эссеиста и биографа Плутарха.

Страбон (64 г. до н.э. – 25 г. н.э.) писал: «Говорят, что местонахождение оракула – это глубокая пещера с узким входом, из которой поднимается пневма (газ, дуновение, отсюда происхождение слов «пневматический», «пневмония»), дающая божественное откровение. Над расщелиной, на треножнике, восседает Пифия и, вдыхая испарения, изрекает пророчества».

Плутарх (46–120 г. н.э.) описал взаимодействие божественного начала, женщины и природного газа, уподобляя Аполлона музыканту, женщину – инструменту, пневму – плектру,* подчеркивая, что пневма – только побуждение. На самом же деле тщательная подготовка и очищение, в том числе сексуальное воздержание и голодание избранницы, стали причиной воздействия пневмы. Простые люди могли чувствовать запах газа, но они не впадали в транс.

Плутарх дает характеристику пневмы: она издавала сладкий запах, напоминающий аромат духов, поднималась



*Плектр – палочка для извлечения звука на струнных музыкальных инструментах (кифара, лира, барбитон), появилась в Греции с VII в. до н.э, уже в Египте было известно несколько их типов.

OPENING PHOTOGRAPH BY SANJAY KOTHARI, IMAGING BY TRUCOLLAGE

Совсем не в традициях Греции, что женщина, да еще не имеющая никакого отношения к знатному роду, стала Пифией.

в виде газа или растворялась в воде, а в адитоне, где сидела Пифия, ее было в избытке. Но со временем поток испарений стал ослабевать и иногда прерываться. Плутарх полагал, что либо на пневму повлияли обильные дожди и ее внутренняя энергия иссякла, либо сильное землетрясение, произошедшее за четыре столетия до того, заблокировало выход газов, которые, по его мнению, формировались в подстилающих храм горных породах.

Философы следующего поколения писали, что видели над храмом источник, который сначала уходил под землю, а затем уже бил в адитоне, где его воды возбуждали пророческую силу.

Плутарх и другие авторы отмечали, что во время сеанса Пифия, восседая на треножнике, вразумительно отвечала на вопросы. Находясь в состоянии легкого транса, говорила нараспев, измененным голосом, иногда отпускала каламбуры.

Однажды Плутарх был свидетелем того, как священники вынудили Пифию работать в неурочный день. Против своего желания она спустилась в адитон и вдруг пронзительно закричала, ринулась к двери, рухнула наземь, а через несколько дней умерла.

Объяснение в новых традициях

Многие ученые верили этим описаниям. В 1900 г. Адольф Опе (Adolphe Paul Oppe) посетил раскопки в Дельфах, которые вели французские археологи. Не обнаружив там ни расселины, ни следов присутствия газа, он пришел к выводу, что легенды древних не имеют никакой исторической подоплеки.

Рассуждения Опе были признаны убедительными. А то, что французские археологи не сделали ожидаемого открытия, свидетельствовало в пользу его доводов, так же, как заявление французского археолога Пьера Амандри (Pierre Amandry) в 1950 г. о том, что только в вулканических зонах (а Дельфы к таковым не принадлежат) может быть природный газ, подобный тому, что дается в описаниях. Казалось бы, вопрос был исчерпан. Первоначальная версия греческих и латинских авторов продолжала жить только в книгах и устах местных гидов.

Ситуация изменилась в 1980 г., когда в рамках Проекта ООН по развитию Греции было проведено геологическое исследование разломов, возникших в результате землетрясений несколько столетий назад. Де Боер (De Boer), геолог, один из авторов данной статьи, обратил внимание на обнажения породы к востоку и западу от святилища, но тогда он не придал значения своим наблюдениям. Лишь десять лет спустя, познакомившись с археологом Хейлом (Hale) на раскопках в Португалии, де Боер упомянул, что видел разлом, проходящий под святилищем в Дельфах, и попытался объяснить, как природный газ мог вырваться на поверхность. В результате было решено снарядить экспедицию.

Опыты анестезиолога Изабеллы Херб (стоит) в 1950 г. показали, что низкие концентрации этилена могут вызвать состояние, напоминающее транс.

BRIDGEMAN ART LIBRARY

Пересмотр классического объяснения

Во время первой экспедиции в 1996 г. были проведены геологические изыскания и обследовано основание храма, в фундаменте которого был обна-

ОБЗОР: СКАЗАНИЕ ОБ ИНТОКСИКАЦИИ

- В прошлом столетии ученые разоблачили миф о жрице Дельф, которая вещала, вдыхая испарения, выходящие из недр земли.
- Недавние научные исследования подтвердили правдивость старинных описаний.
- Авторы статьи определили два разлома, пересекающихся точно под местом, где вещал оракул.
- Нефтеносные слои известняков были, по всей вероятности, источником этилена, поднимавшегося по трещинам, образовавшимся в результате разрывов земной коры.

ружен ряд функциональных несоответствий. Во-первых, само святилище внутри храма опущено на 2–4 м ниже уровня пола. Во-вторых, оно асимметрично: разрыв во внутренней колоннаде свидетельствует о том, что там могли располагаться какие-то конструкции. В-третьих, рядом с потайным помещением находился специальный водоотвод. Таким образом, храм Аполлона скорее предназначался для того, чтобы отгородить участок земли с источником, а не служить местом поклонения богу (обычная функция храмовой постройки).

Во время первой экспедиции мы проследили линию главного Дельфийского разлома, простирающегося с востока на запад, который был ранее обнаружен де Боером. Позже в ущелье над храмом были найдены обнажения второго разлома, названного Кернским, простирающегося с северо-запада на юго-восток и пересекающего Дельфийский разлом под тем местом, где вещал оракул. Линия источников проходит по святой земле, пересекая храм, и обозначает Кернский разлом, скрытый древними террасами и обломками осыпавшихся горных пород.

Книга Майкла Хиггинса (Michael D. Higgins) и Рейнольда Хиггинса (Reynold Higgins) «Геологическая партия на двоих в Грецию и Эгею» подтвердила, что мы на правильном пути. Ее авторы, археолог и геолог, отец и сын, отмечали, что линия источников действительно предполагает наличие крутого разлома в направлении с северо-запада на юго-восток, а геологическое строение не противоречит описаниям древних. Авторы книги предположили, что из расщелины мог подниматься углекислый газ. Ранее подобные выходы газов были обнаружены под храмами Аполлона в Малой Азии, в г. Гиераполь (Памуккале) на территории Турции. Как и Страбон, они решили, что храм Аполлона был преднамеренно воздвигнут над тем местом, откуда выходили ядовитые газы, способные убивать животных.

В отличие от Дельфийского, храм в Гиераполе не предназначался для пророчеств. Правда, другие храмы Аполлона в Турции служили оракулами и были построены над источниками вод, например в Дидимейоне и Кларосе. Определенно прослеживается связь между храмами Аполлона и местами геологической активности.

В одной руке Пифия держит веточку лавра (священное дерево Аполлона), а в другой – чашу с водой, насыщенной газами, вызывающими состояние транса. Афинский царь Эгей обращается к Фемиде, первой Пифии. Афинский гончар создал эту чашу в 440 г. до н.э.

Идеальный газ

Открытие разломов в Дельфах показало, что газы и ювенильные воды могли подниматься по трещинам, образовавшимся под храмом, однако не было найдено объяснения причин возникновения газов. Де Боер обследовал на склонах выше храма травертин, кальцит, отложенный углекислыми источниками, и остатки древней стены. Воды поднимались из глубины через слои известняка, оставляя отложения кальцита на поверхности земли (то же самое наблюдалось в Гиераполе, в Турции). Греческие геологи, проводившие изыскания на Парнасе, нашли среди меловых пород в окрестности храма слои битуминозных известняков, содержащих 20% нефти.

Картина прояснилась. Разломы, чьи обнажения были хорошо видны на верхних склонах горы Парнас, прорезали битуминозные известняки. Трение глыб во время сброса вызвало такой нагрев известняков, что составные части нефти испарились, а затем поднимались по трещинам вместе с ювенильными водами, прежде всего им путь был открыт в местах пересечения разломов. Со временем выход газов уменьшился из-за того, что

RUSH-PRESBYTERIAN-ST. LUKE'S MEDICAL CENTER

мешали кальциевые натеки, но затем восстанавливался при последующих тектонических подвижках.

Геологические исследования постепенно открывали завесу тайны, но вопрос об образовании самих газов оставался открытым. Де Боер узнал о работах геологов в Мексиканском заливе, исследовавших в зоне современных разломов газы, пузырившиеся над битуминозными известняками. Они выяснили, что это были легкие газы из группы углеводородов, такие как метан и этан. Могли ли они выделяться и в Дельфах?

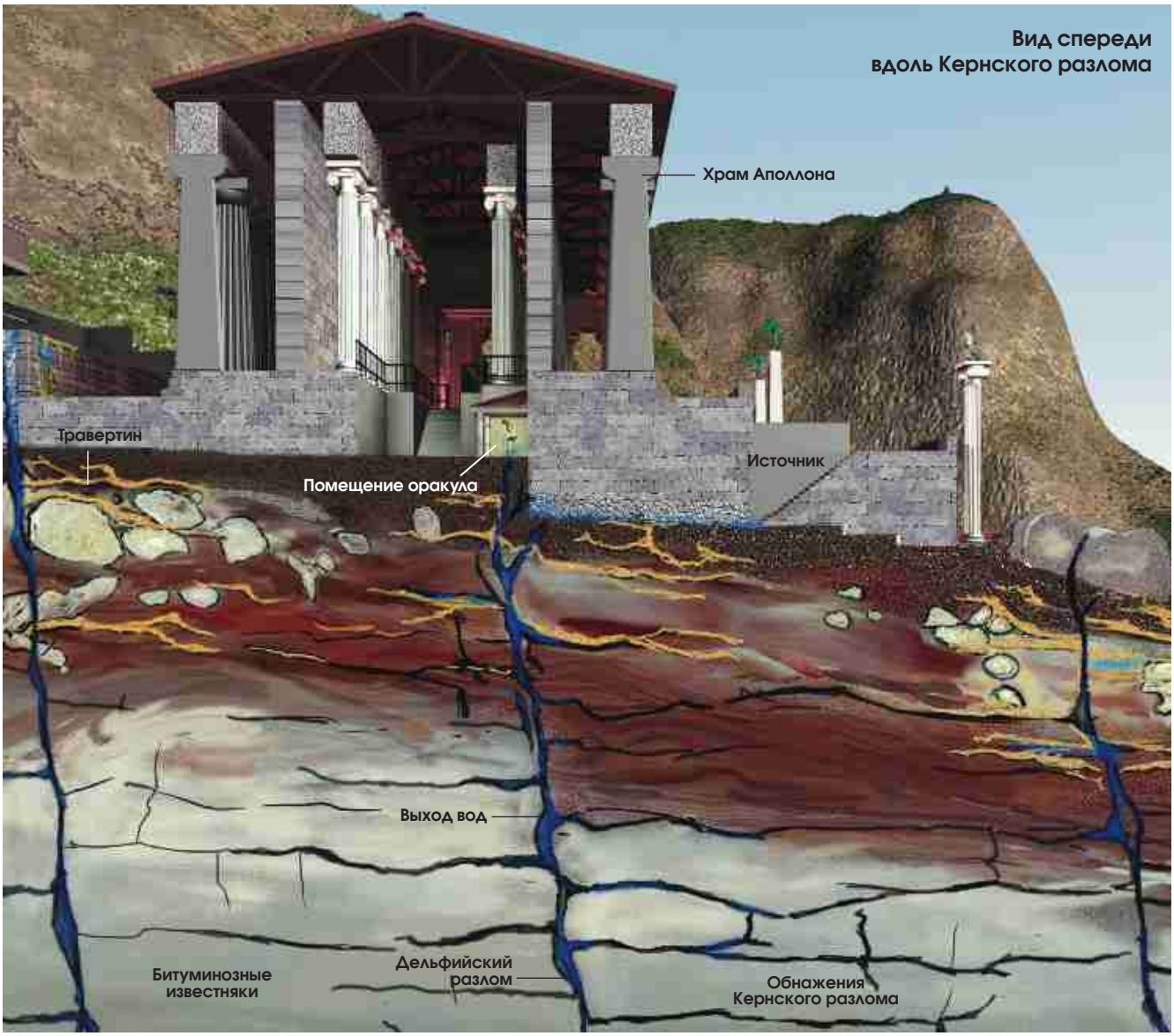
Чтобы ответить на этот вопрос, были взяты образцы ключевой воды и травертина в Дельфах. В пористых породах мы надеялись отыскать следы газов, которые в далеком прошлом выходили на поверхность земли. В то время к нашей экспедиции присоединился химик Чантон (Chanton). В образцах травертина, собранных де Боером и Хейлом, он обнаружил метан и этан, являющийся продуктом разложения этилена. Чантон побывал в Греции и отобрал пробы воды на святой земле. Анализ воды из источников над Кернским разломом показал присутствие метана, этана и этилена. (Этилен имеет сладковатый запах, что подтверждает рассказ Плутарха о запахе дорогих духов.)

Токсиколог Спиллер (Spiller) также включился в проект. Он исследовал действие обнаруженных газов на человека в закрытом пространстве, аналогичном адитону. Работая с подростками, которые нюхают содержащие легкие углеводороды испарения клея и растворителей, Спиллер сталкивался с поведением, напоминающим состояние пифий.

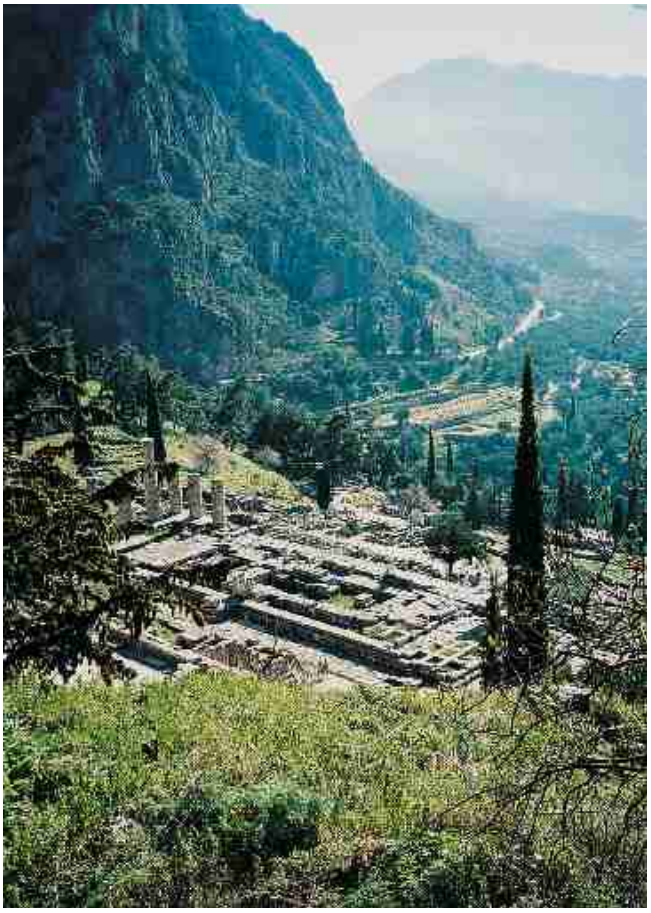
50 лет назад американский анестезиолог Изабелла Херб (Isabella Herb) проводила эксперименты с этиленом. Она писала, что человек, получив дозу в 20% примеси этилена, впадает в бессознательное состояние, но его небольшая концентрация вводит в легкое состояние транса: пациент остается в сознании, может сидеть и отвечать на вопросы, впадает в эйфорию, а после отключения газа все забывает. Но иногда Херб наблюдала буйную реакцию: пациент выкрикивал

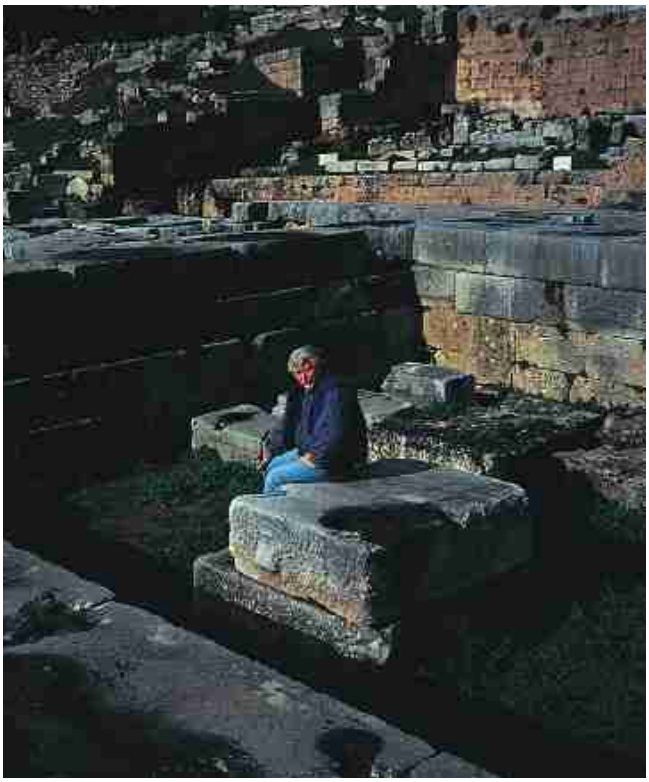
Геологические разломы пересекаются под храмом Аполлона в Дельфах. Здесь грунтовые воды и природный газ могут свободно подниматься к поверхности земли. Тектоническое движение повышает температуру горных пород до точки, когда начинается испарение составных частей нефти. Испарения проникают по трещинам в маленькое закрытое помещение, предназначенное для оракула.

DAVID FIERSTEIN



DAVID FIERSTEIN; NINA FINKEL (*map*)





Панорама храма Аполлона со стороны Дельфийского разлома (слева). Место оракула находилось внутри храма, около груды каменных глыб. Де Боер сидит на камне, на котором, возможно, сидела Пифия много веков назад.

несвязные слова и делал резкие движения. Если человека в таком безумном состоянии рвало и часть рвотной массы попадала в легкие, то неминуемо наступала смерть. Таким образом, исследования Спиллера показали, что этилен имеет сходные с описанной в Дельфах пневмой свойства: сладкий запах, различные последствия в состоянии человека вплоть до возможности смертельного исхода.

Вдохновляющие идеи

Два тысячелетия назад Плутарху понадобилось соединить религию с наукой. Служители церкви отрицали, что бог мог использовать переменчивые свойства природного газа для создания чуда. Почему непосредственно не войти в тело женщины? Плутарх верил, что боги должны полагаться на материальные субстанции этого порочного и преходящего мира, чтобы выполнить свой долг. Аполлон должен был вещать через смертных и воодушевлять их с помощью природных сил. Подробные наблюдения Плутарха и свидетельства о выходах газов в Дельфах говорят о том, что древние не отделяли научных рассуждений от религиозной подоплеки.

Таким образом, с помощью современной науки мы смогли проникнуть в древнюю тайну, связанную с Дельфийским оракулом, и получить доказательство того, как можно многого достичь, применяя междисциплинарный подход, обнаруженный греками. ■

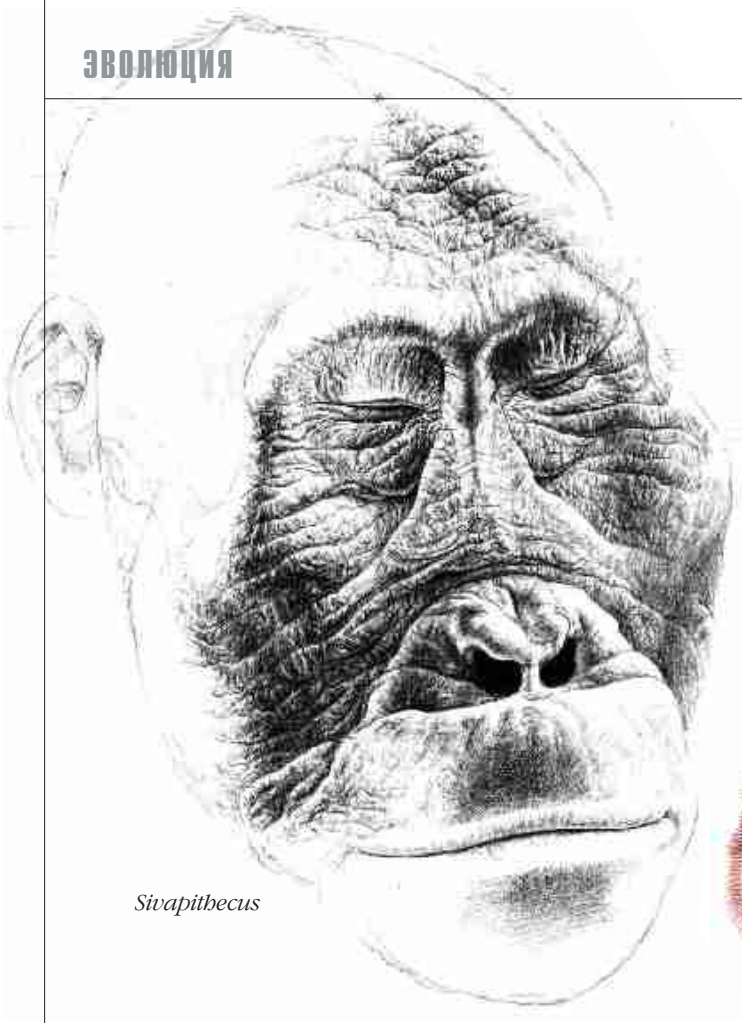
ОБ АВТОРАХ:

Джон Хейл (John Hale), **Джелл де Боер** (Jelle Zeilinga de Boer), **Джефф Чантон** (Jeff Chanton) и **Рик Спиллер** (Rich Spiller) объединились в одну команду, чтобы исследовать феномен Дельфийского оракула. Хейл, археолог из Луисвилльского университета, опубликовал две статьи в предыдущих номерах *Scientific American*. Де Боер преподает геологию в Уэслианском университете. Чантон, химик, преподает на кафедре океанографии в Университете штата Флорида. Спиллер, токсиколог, – директор Кентуккского регионального центра изучения ядов.

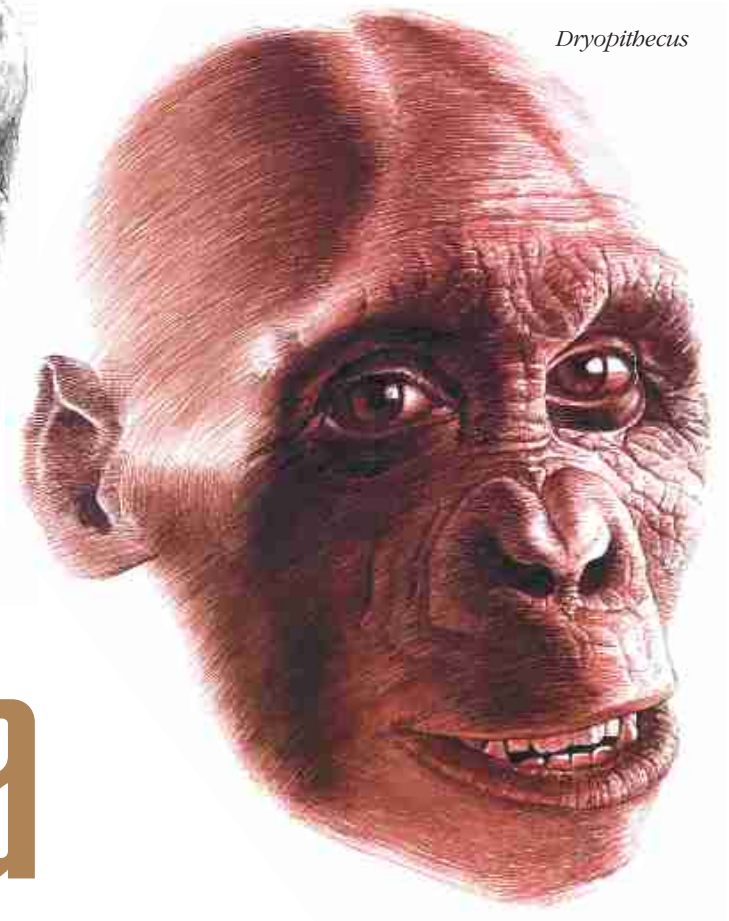
ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ:

- The Delfic Oracle. H. W. Parke and D. E. W. Wormell. Basil Blackwell, 1956.
- Plutarch's Moralia. Vol. 5 Loeb Classical Library. 6th printing. Harvard University Press, 1996.

SHANE SOLOW *(left)*; JOHN HALE *(right)*



Sivapithecus



Dryopithecus

планета человекообразных

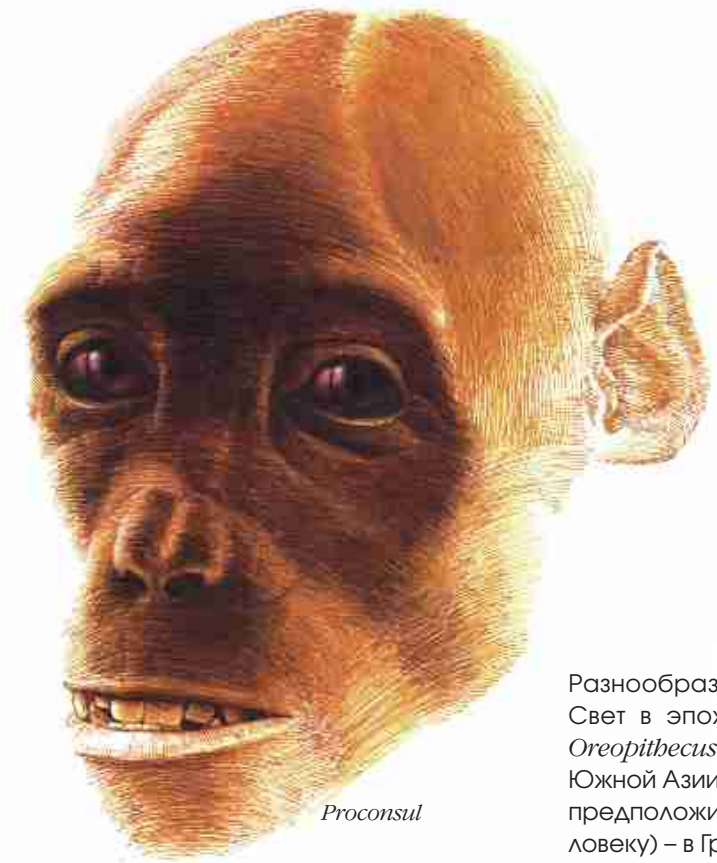
Дэвид Биган

В эпоху миоцена в разных частях Старого Света обитало 100 видов человекообразных обезьян. Судя по новым ископаемым находкам, виды, давшие начало современным гоминоидам и человеку, возникли и эволюционировали не в Африке, а в Евразии.

JANA BRENNING

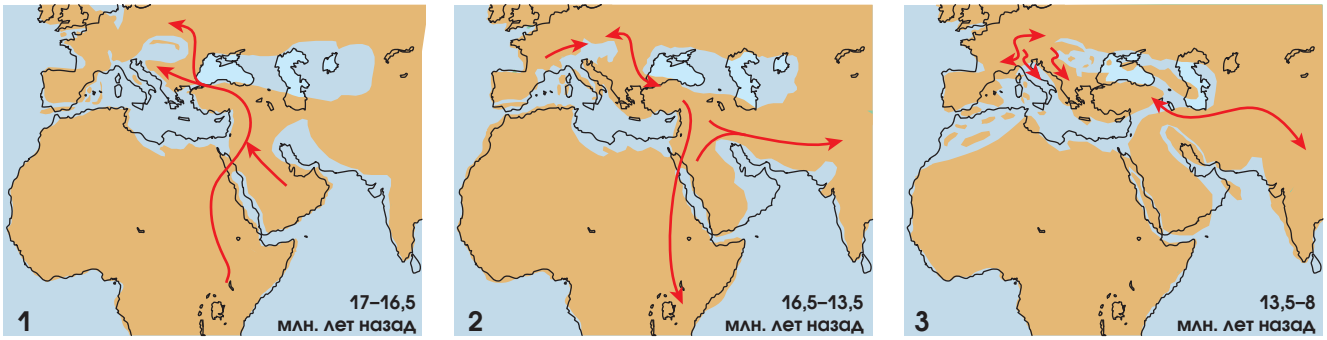
Oreopithecus

Ouranopithecus



Proconsul

Разнообразие человекообразных обезьян, населявших Старый Свет в эпоху миоцена. *Proconsul* обитал в Восточной Африке, *Oreopithecus* – на территории современной Италии, *Sivapithecus* – в Южной Азии, а *Ouranopithecus* и *Dryopithecus* (представители линии, предположительно давшей начало африканским гоминоидам и человеку) – в Греции и Западной и Центральной Европе.



«Не исключено, что Африку когда-то населяли некие вымершие человекообразные обезьяны, близкие современным гориллам и шимпанзе. Поскольку эти два вида приматов – наши ближайшие современные родственники, наиболее вероятным местом их обитания была Африка, а не какая-нибудь иная часть света».

Так в 1871 г. писал Чарлз Дарвин в книге «Происхождение человека». Обнаруженные позднее окаменелости африканских гоминоидов во многом подтвердили предсказание великого натуралиста, но родословная людей оказалась гораздо сложнее. Недавние ископаемые находки и данные генетического анализа указывают на то, что последний общий предок человека и шимпанзе, несомненно, появился в Африке 6–8 млн. лет назад. Но где возникли прародители этого самого древнего существа? Долгое время палеоантропологи предполагали, что их происхождение тоже имеет африканские корни. Однако все большее число находок подвергает это общепризнанное представление серьезным сомнениям.

Разнообразие ныне живущих на Земле человекообразных невелико. Но в промежутке времени между 22 и 5,5 млн. лет назад, в эпоху миоцена, они занимали господствующее положение в мире приматов. В разных частях Старого Света (от современной Франции до Китая и от Кении до Намибии) обитало до 100 видов гоминоидов, давших начало небольшому числу их современных родичей и самому человеку. Между тем ископаемые останки крупных человекообразных – шимпанзе, горилл и орангутанов (гиббоны и сиаманги относятся к малым человекообразным) обнаружены только в Европе, Турции, Южной Азии и Китае. Отсюда, следуя логике Дарвина, можно предположить, что местом рождения семейства гоминид, объединяющего крупных человекообразных и людей, является Евразия, а не Африка. (В последнее время гоминидами все чаще называют не только человека и его непосредственных предков, но и крупных человекообразных обезьян, включая гиббонов и сиамангов.)

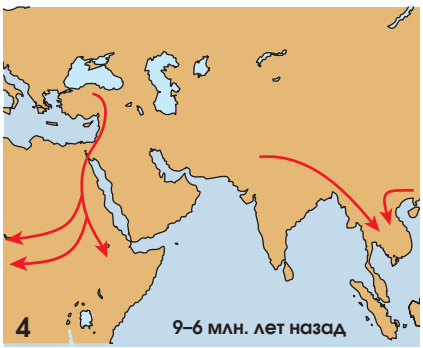
Со времен великого французского естествоиспытателя Жоржа Кювье палеоантропология прошла сложный путь развития. В 1812 г. ученый заявил, что *l'homme fossile n'existe pas* («ископаемый человек не существует»), а в 1822 г. по иронии судьбы описал окаменелости первого ископаемого представителя приматов, получившего научное название – *Adapis parisiensis* (останки этого лемура сам Кювье ошибочно принял за древнее копытное животное). В 1837 г. его ученик Эдуард Ларте впервые описал ископаемый фрагмент представителя высших приматов. Челюсть, найденная на юго-востоке Франции и принадлежавшая примитивному гоминоиду *Pliopithecus*, окончательно убедила ученых, что в далеком прошлом подобные существа водились в лесах Европы. Спустя еще 20 лет Ларте идентифицировал и ископаемые останки крупной человекообразной обезьяны *Dryopithecus*, найденные во французских Пиренеях.

Во второй половине XIX и в начале XX веков палеонтологи обнаружили немало фрагментов челюстей и зубов, а также нескольких костей конечностей человекообразных. Эти находки были сделаны в Испании, Франции, Германии, Австрии, Словакии, Венгрии, Грузии и Турции. Но в начале 1920-х гг. поиски переместились в Южную Азию (Индию и Пакистан) и Африку (главным образом в Кению). Евразийские гоминоиды были надолго забыты. Они вновь привлекли внимание ученых

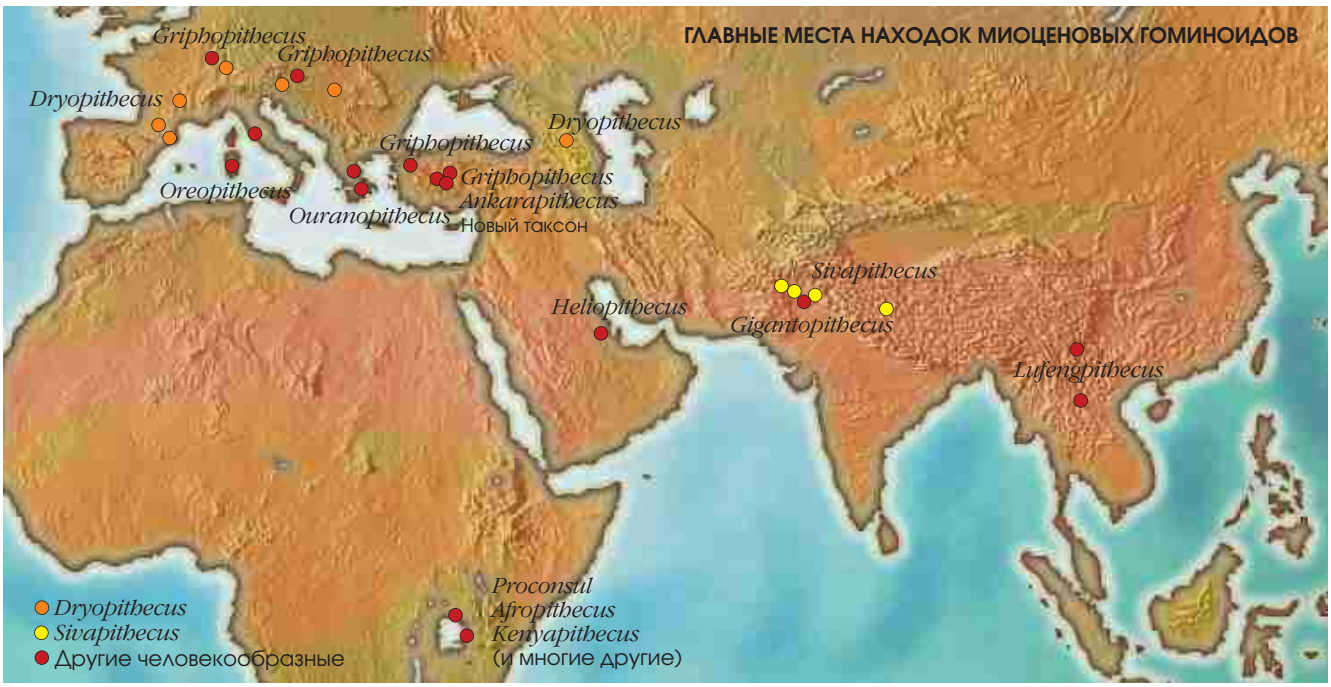
ОБЗОР: РЕВОЛЮЦИЯ В СТАНЕ ЧЕЛОВЕКООБРАЗНЫХ

- В настоящее время на Земле – в Африке и Юго-Восточной Азии – обитает всего 5 родов человекообразных обезьян. В промежутке времени между 22 и 5,5 млн. лет назад в разных частях Старого Света обитали десятки родов этих приматов.
- Долгое время ученые считали, что предки современных африканских человекообразных и людей эволюционировали исключительно в Африке. Но все большее число ископаемых находок свидетельствует о том, что местом их рождения была Евразия.
- Последние находки указывают на то, что современные крупные человекообразные обезьяны и человек происходят от двух древних линий евразийских гоминоидов: одна из них представлена азиатским *Sivapithecus* (предполагаемый предок орангутана), а другая – европейским *Dryopithecus* (возможный прародитель африканских человекообразных и людей).

LAURIE GRACE; MAP SOURCE: F. R. GIL IN THE MIOCENE LAND MAMMALS OF EUROPE, EDITED BY G. R. SSNER AND K. HEISSIG. VERLAG DR. FRIEDRICH PFEIL, 1999



Миграции гоминоидов. Первые представители человекообразных появились в Африке более 20 млн. лет назад. Вскоре они начали колонизировать и остальные части Старого Света. Изменение уровня моря, сначала соединившее Африку с Европой, а затем изолировавшее континенты, сыграло решающую роль в эволюции гоминоидов. Мостик суши, перекинувшийся между Восточной Африкой и Европой между 17 и 16,5 млн. лет назад, позволил им в начале миоцена проникнуть в Евразию (1). За несколько последующих миллионов лет они попали в Западную Европу и на Дальний Восток и дали начало крупным человекообразным обезьянам. Некоторые примитивные гоминоиды вернулись в Африку (2). Подъем уровня моря вновь разделил континенты, и крупные евразийские человекообразные дали начало ряду обособленных форм приматов (3). Резкое изменение климата в конце миоцена позволило уцелеть лишь двум линиям – *Sivapithecus* и *Dryopithecus*, представители которых мигрировали в тропические области Юго-Восточной Азии и Африки (4).



лишь в последние два десятилетия: палеонтологам удалось наконец-то обнаружить достаточно полные скелеты этих приматов, по которым можно было судить об их внешнем виде и родственных связях с современными человекообразными обезьянами и человеком.

Первые человекообразные

Сегодня ученые идентифицировали 40 родов ископаемых миоценовых человекообразных из разных мест Старого Света, что в 8 раз превышает число современных родов этих приматов. Похоже, столь большое разнообразие было характерно для них с самого начала. Только в начале миоцена, т.е. в интервале между 22 и 17 млн. лет назад, Африку населяли 14 родов гоминоидов. А если учесть к тому же крайне «несовершенную» природу ископаемого материла, можно думать, что эта цифра значительно ниже истинного числа существовавших в то время родов.

Первые человекообразные, как и их потомки, сильно различались размерами тела. Самые мелкие весили 3 кг, а самые крупные, размером с гориллу, – около 80 кг. Древние гоминоиды отличались друг от друга и рационом: одни питались листьями, другие – орехами и плодами, но большинство предпочитало спелые фрукты. Главное их отличие от современных собратьев состоит в характере передвижения и связанном с ним комплексе анатомических признаков. Если сегодня у человекообразных имеется богатый набор локомоторных навыков – от брахиации, свойственной живущим на деревьях гиббонам, до наземной ходьбы с опорой на фаланги кистей, характерной для горилл, то ранние миоценовые гоминоиды были вынуждены передвигаться на четвереньках.

Чтобы лучше понять причины, ограничивавшие локомоцию первых человекообразных, рассмотрим их некоторые анатомические признаки. Наиболее известный представитель этой группы приматов – *Proconsul*. В настоящее время ученые выделяют 4 вида этого животного, чей вес варьировал от 10 до 80 кг. Изучение его останков позволяет получить довольно полное представление об анатомических особенностях и формах локомоции ранних гоминоидов. Хвост у проконсула отсутствовал, зато его

КТО ЖЕ ТАКИЕ ГОМИНОИДЫ?

Современным человекообразным обезьянам (шимпанзе, горилле, орангутану, гиббонам, сиамангам) и человеку свойственен ряд признаков, резко отличающих их от всех прочих приматов. У них нет хвоста, а их конечности обладают настолько высокой гибкостью, что им не составляет труда, например, поднимать руки над головой и висеть на них под ветками деревьев. Вот почему для человекообразных характерны длинные массивные руки, широкая грудная клетка, короткая поясница, подвижные тазобедренный и голеностопный суставы, а также более вертикальное положение тела по сравнению с большинством других приматов. Кроме того, гоминоиды – сравнительно крупные существа, которые растут и размножаются гораздо медленнее, чем остальные приматы. Крупные человекообразные обезьяны и люди обладают самым большим головным мозгом из всех приматов и превосходят их по уровню интеллекта почти по всем показателям. Они способны пользоваться орудиями труда, узнавать собственное изображение в зеркале и отличаются сложностью социального поведения и стратегий пищевого поиска.

Ископаемые гоминоиды имеют наибольшее сходство с современными человекообразными по сравнению с какими-либо иными ископаемыми существами. И нет ничего удивительного в том, что «типичные» признаки гоминоидов у ранних форм этих приматов выражены слабее, чем у более поздних. Раннемиоценовый гоминоид *Proconsul*, к примеру, был бесхвостым животным, но не обладал подвижностью конечностей и крупными размерами головного мозга, свойственными современным человекообразным. Почти все ученые признают проконсула, чей возраст составляет 19 млн. лет, самым древним «бесспорным» гоминоидом в ископаемой истории Земли. Классификация ряда других раннемиоценовых «человекообразных» (включая *Limnopithecus*, *Rangwapithecus*, *Micropithecus*, *Kalepithecus* и *Nyanzapithecus*) не столь однозначна в связи с отсутствием многих фрагментов скелета. Не исключено, что все эти животные были более примитивными приматами, существовавшими на Земле до того, как разошлись пути эволюционного развития низших и человекообразных обезьян Старого Света.

Примитивная обезьяна | Проконсул | Крупная человекообразная обезьяна

бедренные, плечевые, запястные, голеностопные суставы, а также суставы кистей и стоп были более подвижными, чем у низших приматов. Эта особенность и предопределила необычайно высокую подвижность соответствующих суставов у современных человекообразных обезьян и человека. Благодаря ей приматы смогли освоить столь уникальный способ передвижения под ветвями деревьев, как брахиация, а человек – приобрести в процессе эволюции способность к сложнейшим манипуляциям верхними конечностями.

Но проконсул и его сородичи унаследовали от своих предков и ряд примитивных черт в строении позвоночника, таза и передних конечностей, благодаря которым они были лучше приспособлены к ходьбе по веткам, чем к перемещению под ветками. Лишь освободившись от большей части своего эволюционного «багажа», ранние гоминоиды смогли приступить к освоению форм локомоции, преимуществами которых с успехом пользуются и их современные потомки.

Проникновение в Евразию

Большинство ранних миоценовых гоминоидов вымерло. Но один из их представителей (возможно, *Afropithecus* из Кении) дал начало виду, впервые проникшему в Евразию 16,5 млн. лет назад. В это время уровень моря на земле понизился, обнажив перешеек между Африкой и Евразией, и начался массовый исход млекопитающих из Африки. Среди них были слоны, грызуны, копытные (свиньи, антилопы и др.), некоторые «экзоты» (вроде трубкозубов) и приматы.

Мигрировавшие человекообразные прошествовали по территории современной Саудовской Аравии, где и были найдены останки *Heliopithecus* – гоминоида, похожего на *Afropithecus*. Его зубы покрывал толстый слой эмали – прекрасное приспособление для размельчения твердой и грубой пищи. Не исключено, что это новообразование и позволило потомкам двух упомянутых приматов обосноваться в лесах Европы: они могли использовать пищу, недоступную для проконсула и других древних гоминоидов. Когда спустя полмиллиона лет уровень моря вновь повысился и перешеек между Африкой и Европой оказался под водой, человекообразные уже вполне освоились на новом месте жительства.

Переселение организмов в новую среду обитания дает мощный толчок процессу видообразования. Не стала исключением и иммиграция человекообразных в Евразию. Они не только хорошо адаптировались к новым экологическим условиям, но и дали начало множеству новых форм – по меньшей мере восьми известным родам приматов за каких-нибудь 1,5 млн. лет! Всплеск эволюционной активности и

PORTIA SLOAN (*this page*); JOHN GURCHE (*opposite page*)

ПОЗВОНОК (ВИД СПЕРЕДИ)

Латеральная ориентация отростка

Отросток расположен в задней части позвонка

ТУЛОВИЩЕ В ПОПЕРЕЧНОМ СЕЧЕНИИ

ПРИМИТИВНЫЙ ГОМИНОИД

КРУПНЫЙ ГОМИНОИД

Лопатка расположена сбоку

Глубокая грудная клетка

Лопатка расположена на спине

Широкая и неглубокая грудная клетка

Локтевой сустав не может выпрямляться полностью

Локтевой сустав может выпрямляться полностью

СКЕЛЕТ (ВИД СНИЗУ)

Ограниченная подвижность плечевого сустава

Более длинный и гибкий позвоночник

Ограниченная подвижность тазобедренного сустава

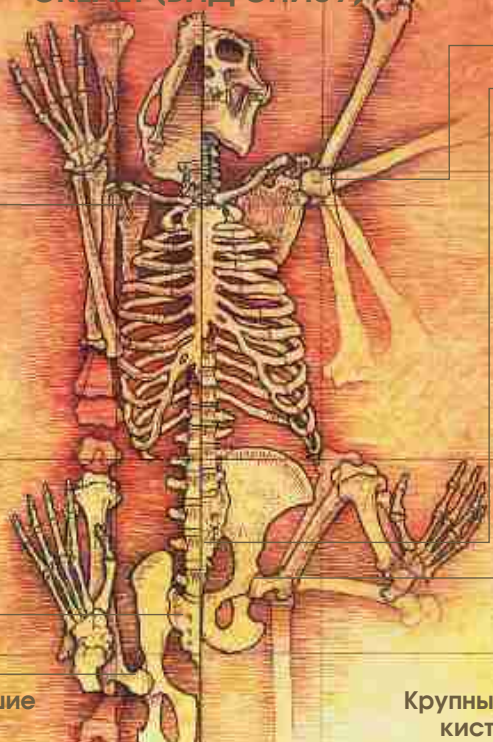
Высокая подвижность плечевого сустава

Более короткий и менее гибкий позвоночник

Высокая подвижность тазобедренного сустава

Ноги и руки одинаковой длины

Небольшие кисти

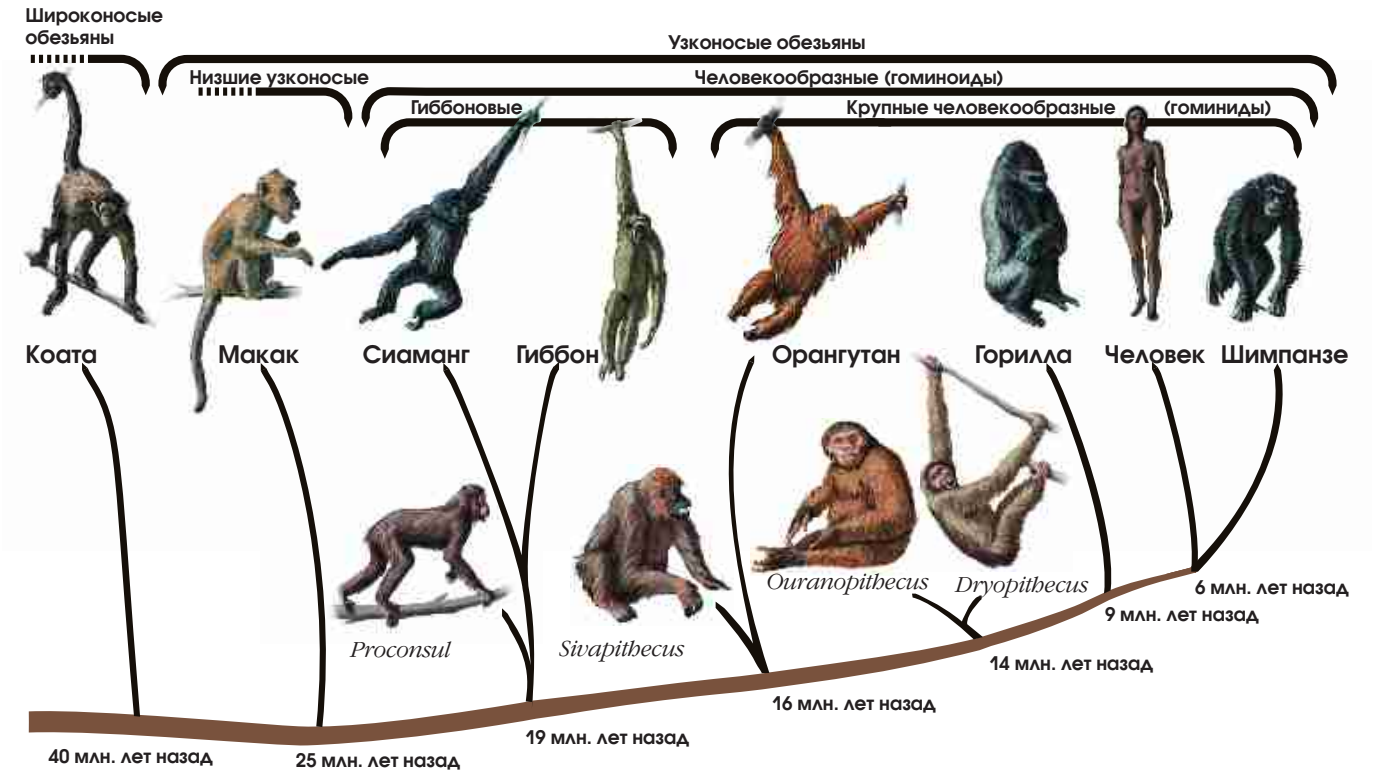


Крупные кисти

Руки длиннее ног

АНАТОМИЯ ГОМИНОИДОВ.
На рисунке представлен план строения тела примитивного гоминоида и крупной человекообразной обезьяны. Тело первых гоминоидов было приспособлено для передвижения по веткам на четвереньках. У них была длинная поясница и очень гибкий позвоночник; особенности анатомии локтевых суставов придавали силу и быстроту движениям предплечий; плечевой и тазобедренный суставы удерживали конечности по большей части под туловищем; руки и ноги были одинаковой длины.

Крупные человекообразные приспособлены к передвижению под ветками с помощью перехватывания их руками. Их позвоночник состоит из меньшего числа позвонков. Отростки позвонков ориентированы так, чтобы поддерживать более вертикальное положение тела. Для крупных гоминоидов характерна более широкая и менее глубокая грудная клетка; подвижный и способный к полному выпрямлению локтевой сустав; гибкие плечевые и тазобедренные суставы; крупные и мощные хватательные кисти. Руки у них длиннее ног.



Родословное древо гоминоидов. Большинство миоценовых гоминоидов оказались эволюционно «тупиковыми» формами. Но некоторые ученые рассматривают их в качестве возможных предков современных человекообразных обезьян и людей. Примитивный миоценовый примат *Proconsul* считается последним общим предком современных гоминоидов; древнейший крупный гоминоид *Sivapithecus* – прародителем орангутана; а *Dryopithecus* или *Ouranopithecus* – прапредками африканских человекообразных обезьян и людей.

стал предпосылкой для возникновения крупных гоминоидов и человека. Однако всю важность Евразии в этом отношении ученые начали осознавать совсем недавно. Палеонтологи традиционно считали, что первыми в Евразию проникли гоминоиды, которые перерабатывали пищу во рту более эффективно, чем *Afropithecus* и *Heliopithecus*, и что произошло это 15 млн. лет назад, т.е. вскоре после того, как эти человекообразные появились в Африке. Новые ископаемые находки свидетельствуют, однако, о том, что «продвинутые» гоминоиды (с массивными челюстями и крупными размалывающими зубами) на самом деле обитали в Евразии гораздо раньше. В 2001 г. ученые описали гоминоида более «современного» вида – *Griphopithecus*, чьи останки возрастом 16,5 млн. лет были обнаружены в Германии и Турции.

Поскольку среди африканского ископаемого материала не оказалось столь совершенных «моделей», можно предположить, что некоторые человекообразные начали приобретать современные признаки строения черепа и зубного аппарата в Евразии и возвратились в Африку уже более «совершенными» приматами только после нового понижения уровня Мирового океана.

Гоминоиды в Евразии

В конце среднего миоцена, 13 млн. лет назад, в Евразии уже обитали крупные человекообразные обезьяны. К их числу относятся *Dryopithecus*, чьи останки были обнаружены Ларте в Европе, и *Sivapithecus*, чьи окаменелости найдены в Азии. Как и современные крупные гоминоиды, эти животные имели длинные крепкие челюсти с крупными резцами, лопатовидными клыками, а также длинными молярами и премолярами со сравнительно простыми жевательными поверхностями. Такой зубной аппарат был хорошо приспособлен к потреблению пищи, состоявшей в основном из мягких спелых фруктов. Судя по укороченной морде, все более важную роль в их жизни играло зрение. А гистологический анализ зубов *Dryopithecus* и *Sivapithecus* указывает на то, что эти приматы довольно медленно росли, поздно достигали половой зрелости, имели высокую продолжительность жизни и каждый раз производили на свет только одного детеныша. Судя по некоторым косвенным признакам, они не слишком отличались от современных человекообразных и уровнем интеллекта: окаменелые мозговые коробки *Dryopithecus* свидетельствуют о том, что размеры его головного мозга относительно размеров тела были такими же, как у шимпанзе.

Изучение скелета конечностей

PORTIA SLOAN

ЗАГАДОЧНЫЙ БОЛЬШЕНОГ

Некоторые ученые полагают, что линия крупных гоминоидов, представленная *Sivapithecus*, дала начало не только орангутану, но и другому ныне здравствующему существу. Все источники описывают его как крупного волосатого примата, явно не принадлежащего к человеческому роду, но обладающего вертикальной походкой. Если верить рассказам «очевидцев», обитает это загадочное существо в некоторых областях Северной Америки и Азии. К сожалению, доказательств его существования куда меньше, чем прозвищ и названий (большеног, снежный человек, йети, сасквач, ньялмо, рими, ракси-бомбо и т.д.). Ученые, верящие в большенога, в качестве его прямого предка называют крупную ископаемую человекообразную обезьяну *Gigantopithecus*. Этот гоминоид был в 2–3 раза крупнее гориллы, обитал на территории современного Китая и Юго-Восточной Азии и вымер 300 тыс. лет назад. Отрицать существование большенога нет никаких оснований. Ведь жили на о. Мадагаскар лемуры величиной с гориллу, которые вымерли по вине людей всего 1000 лет назад. Проблема в том, что ни один ученый не видел ни одной кости этой громадной, весом в полтонны, обезьяны. А отсутствие каких-либо достоверных доказательств реальности большенога делает его существование маловероятным.

На фотографии якобы запечатлен отпечаток стопы большенога (Кус-Бей, штат Орегон, 1976 г.).

Dryopithecus и *Sivapithecus* позволило выявить у них еще ряд признаков, характерных для крупных гоминоидов. У обоих обнаружены адаптации к подвешиванию к веткам деревьев. Особенно явственно это проявляется в строении локтевого сустава, который мог полностью выпрямляться и оставаться стабильным в полной амплитуде движения. Среди приматов такое строение свойственно только человекообразным. У *Dryopithecus* обнаружен и ряд других адаптаций к подвешиванию к веткам, связанных со структурой костей конечностей и строением кисти и стопы, обладавшими недюжинными хватательными способностями. Все признаки указывают на то, что *Dryopithecus* перемещался так же, как и современные гоминоиды. О том, как это делал *Sivapithecus*, судить труднее. Одни черты строения конечностей этого животного указывают на его способность к брахиации, а ряд других свидетельствуют о том, что он передвигался на четвереньках.

Процветавшая в Азии линия *Sivapithecus* имела ответвления в Турции, Пакистане, Индии, Непале, Китае и Юго-Восточной Азии. Филогенетический анализ показывает, что от *Sivapithecus* произошел современный орангутан, *Pongo pygmaeus*. Сегодня этот обитатель лесов Борнео и Суматры – единственный сохранившийся представитель некогда процветавшей группы человекообразных.

Не менее впечатляющей была и адаптивная радиация крупных гоминоидов на Западе. Древнейший вид *Dryopithecus* – *D. fontani*, обнаруженный Ларте, всего за 3 млн. лет дал начало нескольким другим видам. А спустя 2 млн. лет появилось еще четыре новых вида, ареал которых простирался от северо-западной части Испании до Грузии. Но место *Dryopithecus* на генеалогическом древе гоминоидов остается спорным. Одни ученые сближают этого примата с азиатскими человекообразными, другие считают предком всех ныне живущих крупных гоминоидов. Филогенетический анализ приматов, проведенный с учетом наибольшего числа морфологических признаков животных, указывает на то, что наиболее тесные родственные отношения связывают *Dryopithecus* с *Ouranopithecus* – гоминоидом, чьи останки были найдены в Греции. Один из этих европейских родов и стал, по-видимому, родоначальником африканских человекообразных обезьян и самого человека.

Правомерность такого предположения подтверждает череп *Dryopithecus*, обнаруженный близ г. Рудабанья (Венгрия) и названный Габи в честь нашедшего его геолога Габора Херньяка (Gabor Hernyak). Этот образец позволяет судить об одной из важнейших анатомических характеристик приматов – соотношении между размерами и формой лицевой и мозговой частями черепа. Изучение Габи показало, что для черепа *Dryopithecus*, как и для африканских человекообразных обезьян и ранних ископаемых людей, характерна длинная и низкая мозговая коробка, уплощенная носовая область и довольно массивная нижняя часть лица. А главное, находка свидетельствует о том, что *Dryopithecus*, как и африканские гоминоиды и ранние люди, был клиноринхом, т. е. в профиль его морда была скошена книзу. Напротив, у орангутана, как и у проконсула, гиббона и сиаманга, морда вздернута кверху. Эта особенность черепной архитектуры – веский аргумент в пользу существования тесных эволюционных связей между *Dryopithecus*, с одной стороны, и африканскими человекообразными обезьянами и человеком, с другой. В пользу этого предположения свидетельствует и необычайное сходство между черепом *Dryopithecus* и черепом детеныша шимпанзе. Отсюда напрашивается вывод, что уникальная «взрослая» форма черепа у шимпанзе,

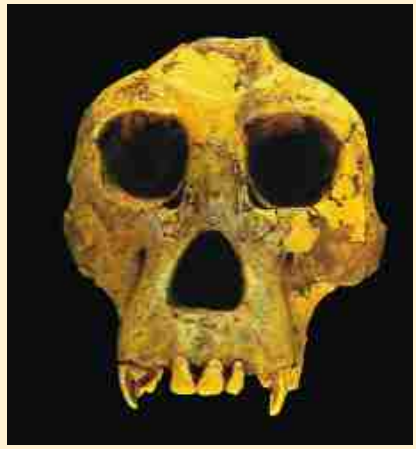
BETTMANN/CORBIS

СЧАСТЛИВЫЕ ДОГАДКИ

Слепая удача и счастливая догадка играют в палеонтологических открытиях далеко не последнюю роль. Так обстояло дело и с открытием двух самых полных образцов крупных ископаемых гоминоидов. Первый был найден в местечке Кан-Льобатерес в области Пенедес (Испания), куда меня в конце 1980-х г. пригласили местные ученые. Единственным результатом первого года работы стали черный загар и привычка есть местную тюрю. Не сломленный неудачей, я возвратился на место раскопок на следующий год в сопровождении своего 7-летнего сына Андре. Накануне начала работ я показал сыну наше «рабочее место». Мы погуляли у прошлогодних раскопок, а затем направились к ближайшим холмам. Здесь также были обнажения горных пород, которые мы решили до поры до времени не трогать. Но, приглядевшись к ним получше во время нашей импровизированной экскурсии с Андре, я решил убедить коллег сделать здесь пробную раскопку.

Когда на следующий день мы попытались удалить с отложений поверхностный слой грязи, из земли выступил премоляр крупной человекообразной обезьяны. А через несколько дней мы обнаружили здесь почти полную лицевую часть черепа *Dryopithecus* (вверху) и самый полный скелет крупного гоминоида за всю 50-летнюю историю раскопок в Кан-Льобатерес. На следующий год в этой же местности был найден самый полный из известных до сих пор скелетов *Dryopithecus*.

Девять лет спустя вместе с венгерскими коллегами мы проводили раскопки близ городка Рудабанья. Долгие годы ученые находили здесь разнообразные останки ископаемых *Dryopithecus* (главным образом зубы и фрагменты скелетов). Но за последние два года интенсивные раскопки никаких результатов не приносили. В 1999 г. я решил более обстоятельно изучить пласт отложений темного цвета, наводившего на мысль о высоком содержании в нем органического материала, а возможно, и окаменелостей. Я попросил венгерского геолога начать раскопки на южной оконечности пласта – там, где он был светлее, и продвигаться к его темной северной оконечности. Но уже через минуту взволнованный коллега позвал меня обратно: он наткнулся на крошечный кусочек верхней челюсти *Dryopithecus*. А когда мы извлекли из почвы весь ископаемый образец, перед нами лежал наиболее полный из всех найденных до сих пор черепов *Dryopithecus*. Эта находка как ни один другой ископаемый образец *Dryopithecus* указывает на близкое родство этого примата с африканскими человекообразными обезьянами.



«ЗВЕЗДНЫЕ» ОБРАЗЦЫ дриопитека, найденные в Испании (слева) и Венгрии (справа).

гориллы и ископаемых людей возникла как модификация некоего «основного плана» его строения, свойственного *Dryopithecus* и детенышам современных африканских человекообразных.

А что же сталось с теми мириадами видов гоминоидов, которым не было суждено превратиться в современных крупных человекообразных обезьян и людей? Крупные человекообразные обезьяны процветали в Евразии на всем протяжении среднего миоцена. Благодаря теплому климату континент был сплошь покрыт пышным субтропическим лесом, обеспечивавшим приматов спелыми фруктами и многочисленными укрытиями почти круглый год. Однако климатические изменения в позднем миоцене положили конец их легкой жизни. Процессы горообразования в Альпах, Гималаях и Восточной Африке, непостоянство морских течений и начало образования полярной шапки льда ускорили формирование муссонного климата, характерного для современной Азии, высыхание Восточной Африки и развитие умеренного климата в Европе. Большинство видов крупных евразийский гоминоидов не выдержали перемен и вымерли. Двум линиям приматов, *Sivapithecus* и *Dryopithecus*, удалось сохраниться только потому, что животные своевременно мигрировали в области, расположенные южнее тропика Рака – в Юго-Восточную Азию из Китая и в африканские тропики из Европы. Во время переселения обе группы гоминоидов тщательно отслеживали экологические характеристики сред и придерживались тех, к которым они адаптировались в Евразии.

Возвращение в Африку

Из-за похолодания, повлекшего за собой вытеснение субтропических лесов редколесьем и степями, евразийские предки африканских гоминоидов и человека отправились на юг. Только адаптации к наземному образу жизни (главная – ходьба с опорой на фаланги

DAVID R. BEGUN

кистей) позволили им противостоять гибельным последствиям исчезновения древесной среды обитания и переселиться в Африку.

Гибкость адаптации – одна из главных особенностей эволюции гоминоидов и человека. В раннем миоцене человекообразные вышли за пределы Африки, потому что новые адаптации в строении челюстей и зубного аппарата дали им возможность утилизировать более разнообразные источники пищи. У крупных евразийских гоминоидов возник ряд скелетных адаптаций, благодаря которым они могли жить в более разнообразных средах, а их крупный головной мозг – успешно решать сложные социальные и экологические проблемы. Подобные модификации позволили некоторым из них пережить драматические изменения климата в конце миоцена и вернуться в Африку 9 млн. лет назад. Таким образом, у представителей линии, давшей начало африканским человекообразным обезьянам и человеку, имелись все необходимые преадаптации для успешного решения проблем, связанных с радикальным изменением окружающей среды. Неудивительно поэтому, что один из этих видов обзавелся в конце концов крупным головным мозгом и освоил сложнейшие формы деятельности.

Для того чтобы понять движущие силы эволюции человека, необходимо знать, когда, где, как и от кого он произошел. Для понимания анатомических и поведенческих особенностей древних людей ученые обычно обращают свой взор на современных человекообразных обезьян. Плодотворность такого подхода отрицать нельзя. Но ведь с момента своего возникновения ныне живущие крупные приматы тоже сильно эволюционировали. Изучение ископаемых гоминоидов, с одной стороны, дает нам уникальную возможность воочию познакомиться с предками современных крупных человекообразных и человека, а с другой, может служить отправной точкой для понимания процессов и обстоятельств, приведших к появлению этой группы животных. Так, например, установив связи между крупными европейскими гоминоидами и современными африканскими человекообразными обезьянами и человеком, мы можем реконструировать последнего общего предка шимпанзе и человека. Этот примат ходил, опираясь на фаланги кистей, питался фруктами и жил в лесу; он умел пользоваться инструментами, охотился на животных и, как и современные шимпанзе и люди, жил сложно организованными и динамичными социальными группами.

В сетях родословной

Об ископаемых гоминоидах нам еще предстоит узнать немало интересного. Многие из них представлены лишь окаменелыми челюстями и зубами, а потому мы ничего не знаем о способах их локомоции, размерах головного мозга или массе тела. Кроме того, палеонтологам предстоит еще найти останки древнейших крупных африканских человекообразных. В ископаемом материале до сих пор существует колоссальный географический и временной пробел между ранними представителями линии африканских гоминоидов в Европе (*Dryopithecus* и *Ouranopithecus*) и древнейшими африканскими ископаемыми человекообразных.

«Карабкаясь» вверх по родословному древу (а точнее, родословному «кусту») гоминоидов, мы с удивлением обнаруживаем, что предполагаемые древнейшие представители человеческого семейства отнюдь не являются людьми. Так, например, недавно обнаруженный в Чаде *Sahelanthropus tchadesis* возрастом 6–7 млн. лет определенно напоминает человека небольшими клыками и расположенным ближе к центру черепа большим затылочным отверстием (через него выходит спинной мозг). И в то же самое время *Sahelanthropus* обнаруживает ряд признаков, сближающих его с шимпанзе (небольшой головной мозг, сильно выступающее вперед лицо, скошенный лоб, крупные шейные мышцы и т.д.). Такая же мозаика из признаков шимпанзе и человека свойственна и *Orrorin tugenensis*, чьи ископаемые останки возрастом 6 млн. лет найдены в Кении, а также *Ardipithecus ramidus kadabba*, фрагменты которого возрастом 5,8 млн. лет обнаружены в Эфиопии. Оба эти существа были описаны своими первооткрывателями как предки человека (см. статью Кейт Вонг «Зов далекого предка» в №3/2003 нашего журнала). Но по сути дела мы знаем о них слишком мало для того, чтобы причислять их к «перволюдям», предкам современных африканских человекообразных или вымершим «тупиковым» гоминоидам. Я считаю, что древнейший ископаемый примат, чья принадлежность к человеческому роду не вызывает никаких сомнений, – *Ardipithecus ramidus ramidus*, окаменелости которого возрастом 4,4 млн. лет тоже были найдены в Эфиопии.

Тот факт, что в Африке пока не обнаружены ископаемые останки крупных человекообразных, совсем не означает, что их там нет вовсе. С другой стороны, на континенте имеется немало мест, где найдены многочисленные останки лесных животных возрастом от 14 до 7 млн. лет, однако окаменелости крупных гоминоидов там не обнаружены. Вполне возможно, что евразийские крупные человекообразные, имеющие сильное сходство с современными крупными гоминоидами, эволюционировали параллельно с их некими африканскими предками, чьи останки обнаружить пока не удалось. Но верится в это с трудом. ■

ОБ АВТОРЕ:

Дэвид Биган (David R. Begun) – профессор антропологии в Университете Торонто. Сфера научных интересов – эволюция миоценовых гоминоидов.

The Encyclopedia of Human Evolution (Ed. S. Jones. Cambridge: Cambridge Univ. Press. 1994.

ЧИСТАЯ ВОДА

МИФ ИЛИ РЕАЛЬНОСТЬ?

Татьяна Потапова

Не плюй в колодец – пригодится:
воды напиться!
(народная мудрость)

В легендах народов мира вода символизирует первопричину, исходное состояние всего сущего. Она является одной из четырех основных стихий мироздания наряду с землей, огнем и воздухом. Мифологическая вода – это и эквивалент всех жизненных соков человека, и очистительная сила, омывающая человека от греха и скверны, и бездна, таящая в себе чудовищ, и грозная сила [1]. Живая, сияющая стихия неизменно пленяла художников и поэтов. Внимания же ученых вода удостоилась более 200 лет назад, когда Генри Кавендиш и Антуан Лавуазье доказали, что она – не простой элемент, как полагали средневековые алхимики, а молекула, построенная из двух видов атомов – водорода и кислорода.

В наши дни изучены многие свойства воды. Более того, ее физические свойства используются как эталоны при определении многих физических констант и единиц измерения. Так, температура замерзания воды, насыщенной воздухом под давлением 1 атм., принята за 0°C, а температура кипения при тех же условиях – за 100°C. Единицей массы, равной 1 г, в метрической системе мер принят вес 1 см^3 воды при 4°C. Однако вода оказалась субстанцией более сложной, чем можно было себе представить. С применением современных научных технологий выясняются все более тонкие детали структуры молекулы воды и межмолекулярных взаимодействий с ее участием.

Клод Моне. «Мост Ватерлоо. Эффект тумана».

Вода и лед

Вода и лед, их взаимные фазовые превращения и пограничные взаимодействия таят множество загадок. Например, всем знакомо живительное влияние талой воды на растения, животных и человека. У подобного воздействия есть научная основа: вода – очень хороший растворитель, поэтому в жидком состоянии – это практически всегда химическая смесь, содержащая самые разные элементы. Но вот в структуре льда примеси растворяются очень плохо: в ходе кристаллизации все «лишнее» вытесняется и не входит в структуру льда. Поэтому лед химически чист, даже если растет из взвеси или раствора (вспомним чистые, прозрачные льдинки в грязной луже), свежевыпавший снег всегда сверкает белизной, а талая вода пленяет исключительной чистотой. Некоторые специалисты объясняют особую химическую безупречность талой во-

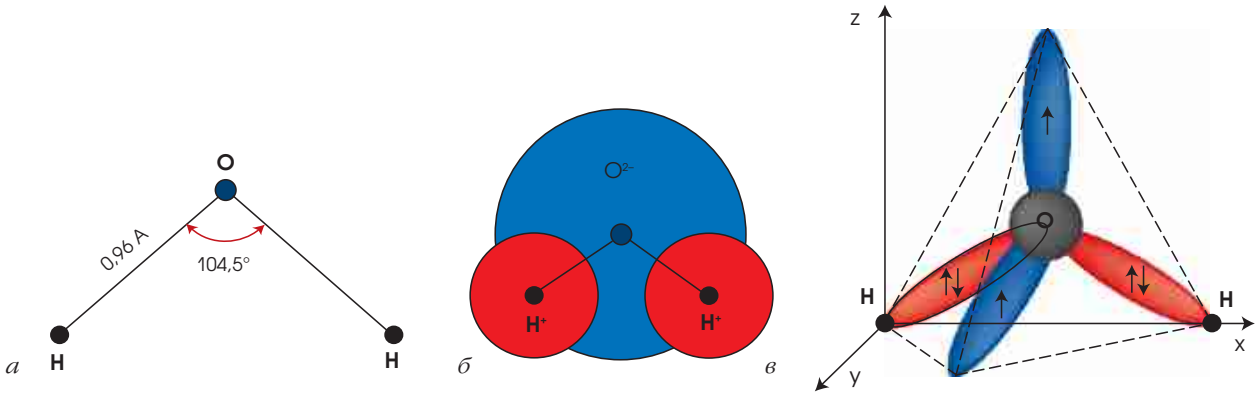


Рис. 1. Строение молекулы воды. Геометрическая схема (*а*), плоская модель (*б*) и пространственная электронная структура (*в*) мономера H_2O. Два из четырех электронов внешней оболочки атома кислорода участвуют в создании ковалентных связей с атомами водорода, а два других образуют сильно вытянутые электронные орбиты, плоскость которых перпендикулярна плоскости H–O–H.

ды тем, что в процессе таяния в многомолекулярных кластерах жидкой воды запоминается структура льда. Однако этот вопрос пока еще является предметом научных дискуссий.

В поисках живой воды

Живая и мертвая вода из старых сказок стремится перетечь на страницы научных трактатов, но тоже пока остается предметом дискуссий. Ряд ученых связывает особую биологическую активность воды с разным изотопным составом (см. рис. 1 [2]). Другие предлагают рассматривать в качестве живой воду, подвергнутую очистке с помощью электродиализа: обработанная таким способом, она имеет *pH* 9, в ней отсутствуют примеси нитратов и тяжелых металлов, на 70% снижено содержание солей (см. рис. 2 [5]).

Одной из насущных проблем человечества с древних времен было получение питьевой воды, с дефицитом которой люди борются не одно тысячелетие. Четыре тысячи лет назад индусы для очистки воды пропускали ее через древесный уголь (этот же способ очистки воды описан в сказке В. Одоевского «Мороз Иванович»). Аристотель в IV в. до н.э. получал пресную воду путем конденсации ее паров после испарения с поверхности соленой воды. Плиний Старший в I в. до н.э. описал, как руно при нагревании на солнце поглощает водяные пары, а ночью их конденсирует (этот процесс римляне использовали для получения пресной воды на морских судах).

В XIX в. для очистки воды в лабораторных условиях стали использовать метод вымораживания, позже появились методы ионообмена и мембранные методы. После разработки методов определения электрических свойств контролировать качество очистки воды стали по величине ее удельного электрического сопротивления. В конце XIX в. Ф. Кольради и А. Хейдвайллер с помощью теоретических расчетов на основе известных термодинамических зависимостей получили для идеально чистой воды при 18°C значение удельного сопротивления 26,4 МОм·см и для удельной электропроводности $3{,}8 \cdot 10^{-8}$ $Ом^{-1}см^{-1}$. Позже они с помощью последовательности 45 вакуумных дистилляций в посуде из старого йенского стекла получили предельно чистую воду с удельным сопротивлением 23,8 МОм·см (90% от идеальной), которая долго считалась эталонной.

В 1935 г. Герман Штаудингер синтезировал трехмерный, сетчатый полистирол (Нобелевская премия 1953 г.), на основе которого чуть позже были созданы катион- и анионобменники с высокой емкостью, что приблизило решение проблемы получения ультрачистой воды.

Процесс начинается с сорбции активным углем или макропористым анионобменником органических примесей воды. Затем для сорбции ионных примесей используют последовательно катионный обмен, анионный обмен и сорбцию смешанным слоем гранулированных катион- и анионобменников. На стадии катионного обмена удаляются ионы *Ca* и *Mg*, вызывающие жесткость воды, причем реакция идет в декарбоксизаторе для удаления углекислого газа. На стадии

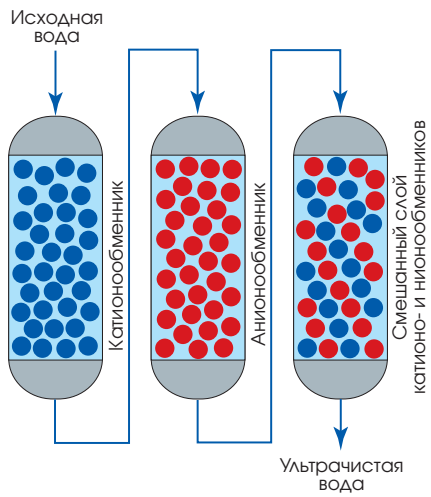


Рис. 2. Основные стадии ионообменной технологии получения ультрачистой воды.

вверху: Ю. И. Головин. 2000. Соросовский образовательный журнал. №9; внизу: В. А. Шапошник. 1998. Соросовский образовательный журнал. №9.

сорбции смешанным слоем гранулированных обменников достигается глубокое обессоливание воды с практически полным извлечением хлорида натрия. В результате удается получить воду, которая отличается от идеальной всего на 0,1 Мом·см. Однако ионнообменная технология требует последующей химической регенерации ионнообменных смол, что приводит к экологическим проблемам: технология процесса такова, что в сточных водах масса удаленных веществ на порядок превышает исходно извлекаемые примеси, и таким образом в районе сбросов экспоненциально растет минерализация.

Избавиться от экологических промахов при получении ультрачистой воды позволяют мембранные методы опреснения и глубокой очистки природных вод. Отличием этого подхода является равенство массы веществ, попадающих в стоки и извлекаемых при ее очистке.

Чудесные свойства воды

Ученые насчитали у воды около восьмидесяти уникальных свойств. Одно из самых замечательных – ее высокая растворяющая способность, благодаря которой огромное количество разнообразных веществ переносится по любым системам биосферы и доставляется к каждой клетке любого организма.

Другое чудесное свойство воды, над которым продолжают ломать голову ученые, состоит в том, что она расширяется как при нагревании, так и при охлаждении ниже 4°С. Благодаря этому в земных водоемах даже под сплошным ледяным панцирем температура воды у дна не опускается ниже 4°С, а потому жизнь обитателей водоемов в зимнее время не прекращается.

Важнейшим условием существования жизни на Земле является способность воды за счет капиллярных сил подниматься по узким почвенным каналам и сосудам растений.

Велика роль воды в формировании земного ландшафта. М. В. Ломоносов писал: «...Все во всем свете рудокопы не перероют столько земли, не провернут камней во сто лет, сколько одной весной разрушат о них льды и быстрины беспримерных вод российских». Серьезные опасности возникают, когда к длящейся веками формообразующей деятельности воды на поверхности земли добавляется поспешная и неразумная деятельность человека. Строительство водохранилищ, крупных гидроузлов, дамб, русловых карьеров меняет форму рек и гидравлические характеристики потоков, активизируется процесс размыва берегов, нанося серьезный ущерб не только природе, но и хозяйственной деятельности людей. Поэтому гидрологи МГУ целенаправленно проводят исследования причин, механизмов, формы проявления и пространственно-временной изменчивости размыва речных берегов, выявляя их зависимость от морфологии и строения берегов, связь с русловыми процессами, региональные особенности распространения на территории России и др. [6].

Вода обладает самой высокой теплоемкостью из всех известных веществ. Именно благодаря этому Мировой океан поддерживает среднегодовую температуру Земли в пределах 15°С. В противном случае климатические и сезонные перепады температур были бы гораздо резче и приводили бы к бурным ураганам. Достаточно температурному режиму океана дать сбой, как по всей Земле неминуемо прокатываются катаклизмы. Знаменитое Эль-Ниньо связано с появлением в тропической зоне Тихого океана теплого течения, которое, медленно продвигаясь от Индонезии к берегам Перу и Чили, вносит коварные поправки в климатические условия. Как правило, этот феномен возникает, когда в силу естественных колебательных процессов перераспределения энергии в океане слабеет сила пассатов, дующих вдоль экватора с востока на запад. В результате течение устремляется через океан от Индонезии к Перу и температура воды у побережья Перу поднимается на 3–5°С. Затянувшееся с 1990 по 1995 г. Эль-Ниньо привело к тому, что начиная с 1996 г. по планете периодически прокатываются климатические катастрофы – наводнения там, где их никогда не бывало, великая засуха во влажных областях.

Капризная вода

Развитие цивилизации и переселение людей в города не избавило человечество от чрезвычайных ситуаций, вызванных неуправляемыми движениями воды в природе. Так, в Забайкалье в июле 1990 г. вследствие шквальных ливней были подтоплены Чита и еще десятки населенных пунктов, смыты около 100 мостов, повреждены многие дороги, ЛЭП и т.п. Экономический ущерб от прорыва ливневыми паводками плотины ГРЭС в г. Серове Свердловской обл. в 1993 г. был оценен в $500 млн. [7]. В Приморье в сентябре 1994 г. небывалые ливни затопили 84 населенных пункта, включая города Владивосток, Находка, Уссурийск, Партизанск. Человечеству негде укрыться от града, снегопадов и метелей, снежных лавин и ледников, наводнений и ураганов. Все это требует постоянных наблюдений, сбора и анализа данных о состоянии гидросферы. Основная работа в этом направлении уже давно выполняется национальными метеорологическими, гидрологическими, геологическими службами и водохозяйственными организациями стран земного шара. В 1853 г. была разработана первая международная программа проведения метеорологических наблюдений в океанах. В XX в. быстро совершенствовались методы наблюдений и обмена данными между службами. В 1963 г. под эгидой Всемирной метеорологической организации была создана Всемирная служба погоды, которая включает глобальную систему связи и обработки данных.

Большую роль в изучении механизмов круговорота воды в природе, количественных оценках взаимодействий между глобальной циркуляцией атмосферы, переносами воды и энергии, мировой океанической циркуляцией и морскими льдами, влажностью

поверхности суши и гидрологическим режимом водных объектов суши играет осуществление национальных и международных проектов комплексных и стационарных экспедиционных исследований. С 1970 по 1994 гг. научно-исследовательскими судами России выполнено более 1100 рейсов по 54 проектам исследования Мирового океана. С 1957 г. под эгидой ЮНЕСКО проводятся международные экспедиции по исследованию ледяных панцирей Антарктиды и арктических островов. В рамках этих программ российскими учеными в 1995 г. было открыто реликтовое озеро под ледовым покровом Антарктиды.

Данные глобального мониторинга можно использовать и для прогнозирования ситуаций с обеспечением водой населения, хозяйства и промышленности.

Лучший источник питьевой воды – артезианские скважины, уходящие под водонепроницаемые породы, что защищает их от прямого попадания загрязняющих веществ. Температура и химический состав артезианских вод почти постоянны, мутность невелика, бактерий почти нет. Далее в иерархии чистоты следуют глубокие грунтовые воды, затем проточные озера и водохранилища, наконец, бессточные озера и реки.

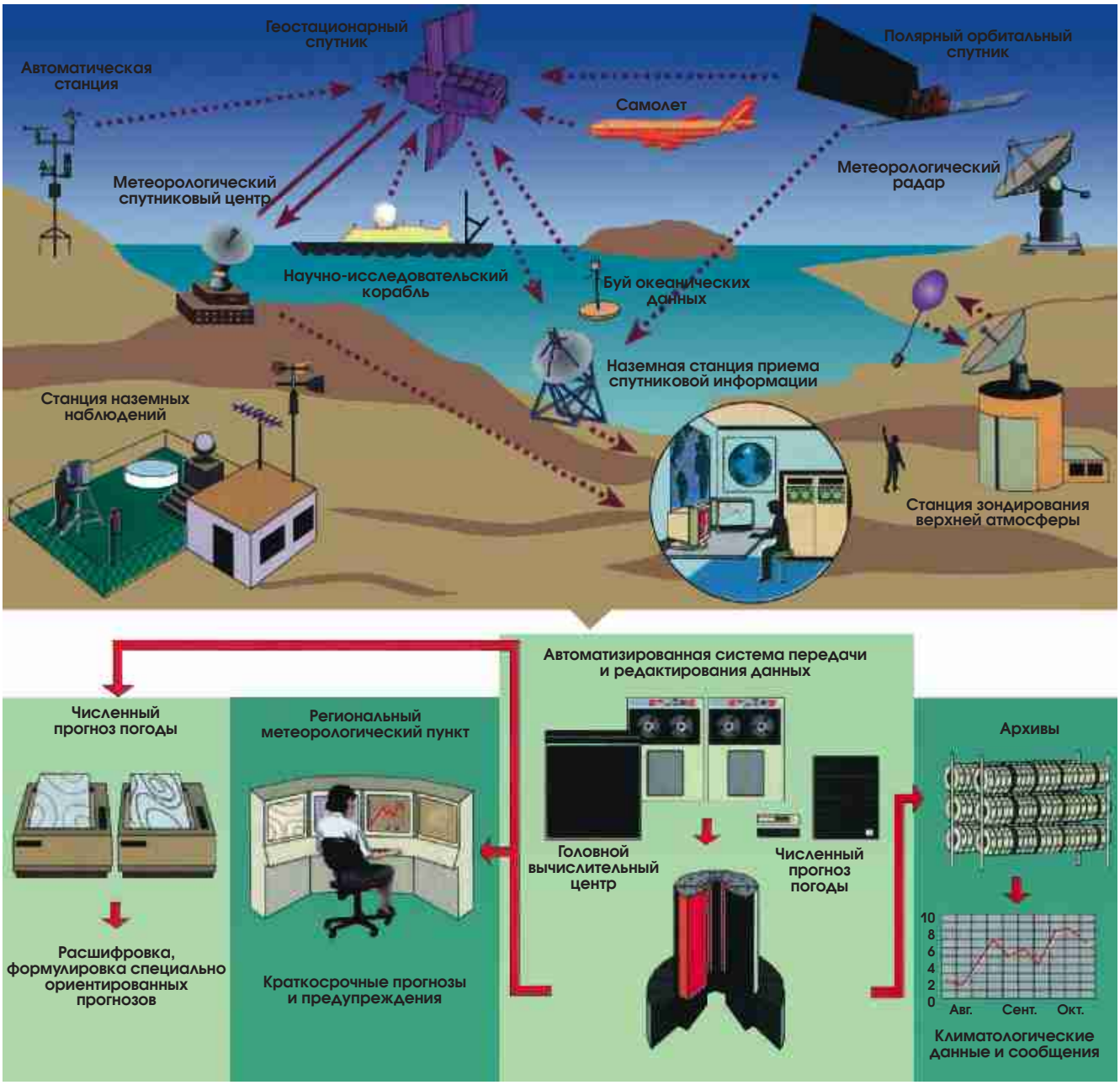


Рис. 3. Система наблюдений за состоянием гидросферы (8). Диаграмма системы наблюдений (*а*), сбора и обработки (*б*) данных наблюдений за состоянием гидросферы Земли (из сб. «Технология сбора и передачи метеорологических данных». М.: ВМО, 1995).

В. А. Семенов. 1997. Соросовский образовательный журнал №11.

Командоры.

Научные исследования показывают, что при интенсивном использовании подземных вод образуются депрессионные воронки. Одна из них, причем огромная (около 5 тыс. км³), образовалась в районе Москвы, где только с 1938 по 1958 гг. из земных недр выкачано около 2,4 км³ воды, что в 6 раз превышает питание водоносных горизонтов. На территории депрессионных воронок резко снижается поверхностный сток рек. Например, в Зауралье за 25 лет сток рек уменьшился на 40%, в Предуралье – на 60%, а в горно-складчатой области Урала – на 90% [9]. В ряде мест проблемы успешно решаются с помощью принудительной закачки воды через скважины и колодцы или самотечной фильтрацией воды на специально подготовленных полях фильтрации с легко проницаемыми грунтами. Таким способом успешно удалось увеличить суммарные водные ресурсы в районе г. Джезказган [10].

О вреде цивилизации

Современная наука обладает огромным арсеналом средств для наблюдения за количественными и качественными изменениями в гидросфере, аналитической обработки данных и построения прогнозов.

Итоги многолетних систематических наблюдений неутешительны: загрязнены практически все водные бассейны, снабжающие наши производственные, сельскохозяйственные и коммунально-бытовые нужды.

Водные ресурсы РФ в 1999 г. составляли 4 310 км³. В целом по России на питьевые и хозяйственные нужды забирается 3% водных ресурсов, из которых 2/3 сбрасывается назад в виде сточных вод. Структура нашего водопотребления такова:

- производственные нужды – 57,8%;
- хозяйственно-питьевые – 19,6%;
- орошение – 14,3%;
- сельскохозяйственные нужды – 2,4%;
- другие нужды – 5,9%.

Потери воды во внешних водопроводных сетях составили в 1999 г. 8,4 км³, т.е. более 6%, потери в коммунальном хозяйстве – 14% (из-за утечек в водопроводных сетях и запорной аппаратуре). Из общего объема сточных вод (54,8 км³) почти 38% отнесены к категории «загрязненных». Основные промышленные «вредители» – предприятия энергетики, топливной, химической и нефтехимической, целлюлозно-бумажной промышленности, металлургии и машиностроения.

Наиболее распространены загрязнения поверхностных вод России нефтепродуктами, фенолами, легко окисляемыми органическими веществами, соединениями металлов, аммонийным и нитратным азотом, а также специфическими поллютантами: лигнином, ксантогенатами, формальдегидом и др. В связи с развитием производства и экономией на очистных сооружениях до 80-х гг. быстро нарастало загрязнение поверхностных вод, которое несколько снизилось только после введения экономических санкций за нанесение ущерба окружающей среде. В 90-х гг. в связи с общим снижением объемов производства суммарные объемы загрязнений в целом по стране сократились, что, однако, не привело к заметному улучшению качества поверхностных вод.

В 1999 г. крупные реки оценивались как «загрязненные», а их притоки – от «очень загрязненных» до «чрезвычайно загрязненных». В местах мощных сбросов сточных вод наблюдается катастрофическое снижение разнообразия биологических сообществ, укорочение пищевых цепей, что очень быстро может привести к полной ликвидации биоценозов.

Прогнозные ресурсы подземных вод России в 1997–99 гг. оценивались в 316,8 км³/год, из которых использовалось 10,9 км³/год. Выявлено 2776 очагов загрязнения подземных вод и водозаборов, в том числе в таких городах, как Печора, Калуга, Самара, Южно-Сахалинск, Оренбург, Биробиджан и др. Примерно в 40% случаев это происходит из-за нарушений режима эксплуатации водоемов. При этом для питьевых нужд используется вода, содержащая чуть ли не всю таблицу Менделеева: соединения азота, железа и марганца, сульфатов, хлоридов, нефтепродуктов, фенолов, бария, кадмия, бора, кобальта, брома, ртути, кремния.

Живые датчики и «рыбная проба»

Каждый водоем – это сложная живая система, где обитают водоросли, высшие растения, бактерии, различные беспозвоночные животные. При антропогенном воздействии нарушается равновесие водной экосистемы, что отражается на видовом составе биоценоза. Таким образом, структура сообщества водных организмов определяется качеством воды. В водной среде обитает около 250 тыс. видов животных и 10 тыс. видов растений. В тропических водах их число может достигать 400 тыс., в северных видовое разнообразие гораздо меньше.

Человек с незапамятных времен использовал живые организмы для определения присутствия в окружающей среде токсичных веществ по показателям биохимических реакций организмов, изменениям их состояния, морфологическим и фукциональным нарушениям [12]. Всем известно использование шахтерами

Фото В. Гиппенрейтера.

в былые времена канареек для обнаружения рудничного газа, а присутствие фиалок определенного цвета в тайге говорит о наличии в земле кимберлитовых трубок. Данный метод называется биотестированием. Существует также понятие биоиндикации – это способ оценки антропогенной нагрузки на водоем по состоянию его живых обитателей, причем индикаторами качества воды могут служить организмы самого разного уровня – от бактерий до рыб.

Ученые работают над созданием все более совершенных методов определения загрязнения воды: чувствительных, быстродействующих, компактных, недорогих, удобных в эксплуатации. Наиболее распространены тест-методы химического анализа с использованием реагентных индикаторных бумаг. Избирательность химического анализа достигается иммобилизацией органических реагентов на поверхности кремнеземных носителей. В настоящее время реагенты на поверхности кремнеземной матрицы закрепляют за счет их ионного взаимодействия. Дальнейшее изучение химизма взаимодействия реагентов различных классов с поверхностью носителей и установление закономерностей комплексообразования с участием лигандов, закрепленных на поверхности, позволит значительно расширить аналитические возможности методов с использованием нековалентно иммобилизованных реагентов.

В поисках более чувствительных тестов ученые обращаются к биохимическим реакциям. Биологические объекты: ферменты, белково-ферментные комплексы, культуры клеток, – могли бы выступать в качестве аналитических реагентов, осуществляющих молекулярное распознавание. В процессе эволюции они идеально «настроились» на особенности строения субстрата, лиганда, эффектора и поэтому обеспечивают высокую чувствительность к биологически активным веществам. В ряде случаев уровень обнаружения токсикантов биохимическими методами сопоставимы с возможностями традиционных физико-химических методов анализа. Однако изменения на молекулярном и клеточном уровне очень лабильны, кратковременны и чувствительны к «биологическим часам».

Тем не менее создано множество ферментных тестов, совершенствование которых идет по нескольким направлениям: стабилизация фермента путем его иммобилизации, решение вопросов долгосрочной стабильности основных характеристик, улучшение измерения скорости ферментативной реакции, автоматизация средств измерения и т.д. Активно используются холинэстеразные тесты для оценки суммарного содержания фосфоорганических и карбаминатных пестицидов (предел обнаружения до 10^{-12} моля). Часть этих разработок предназначалась для контроля боевых отравляющих веществ и затем была адаптирована для решения задач эколого-аналитического контроля.

Тесты на основе пероксидазы и щелочной фосфатазы, иммобилизованной в системе полиуретан-хитозан, прошли широкую апробацию, в том числе в контроле водопроводных, подземных и поверхностных вод. Пероксидаза обнаруживает ртуть с уникальной чувствительностью до 10^{-12} моля.

Применение целых клеток имеет ряд преимуществ по сравнению с изолированными ферментами, так как отпадает необходимость в трудоемких операциях по выделению фермента, его очистке и стабилизации. Успехи биотехнологии позволяют получать модифицированные микроорганизмы с повышенной активностью «нужных» ферментов. Однако микробные тесты действуют намного медленнее ферментных, поскольку на проникновение веществ через клеточные мембраны и перемещение к местам локализации фермента необходимо время. Кроме того, культивирование микроорганизмов требует стерильных условий и особых процедур стандартизации.

Микробные тесты впервые были предложены и использованы в Японии в 1977 г. В нашей стране имеется вариант люминесцирующего микробного теста (система Биотокс), основанного на оценке токсичности по измерениям свечения живых неповрежденных микробных клеток, обусловленного комплексом реакций с участием фермента люциферазы. Выделение и расшифровка гена, ответственного за синтез данного вещества, позволили использовать в биолюминесцентных исследованиях и несветящиеся организмы. Начиная с 1993 г. применение плазмидных рекомбинантных ДНК с встроенным опероном, ответственных за синтез люциферазы, позволило получить высокопродуктивные культуры *E. coli*, *S. cerevisae*, *X.campertis* и др., продуцирующие в присутствии необходимых компонентов индуцированное свечение. Пределы обнаружения кадмия, свинца и сурьмы с помощью светящихся штаммов *Staphilococcus aureus* и *Bacilus subtilis* составили, соответственно, 10, 33 и 1 наномоля.

Возрастающее использование методов генной инженерии – основная тенденция развития биохимических и микробиологических методов контроля сточных вод.

Самый простой способ исследования токсичности воды с помощью многоклеточных организмов – «рыбная проба». Наиболее чувствительных к вредным веществам рыб – окуней, ершей, форелей, щук, налимов и судаков помещают в сетчатом садке в реку и ведут за ними наблюдение или же ставят опыты в аквариумах, заполненных загрязненной и чистой водой для контроля. Беспокойное поведение по сравнению с контролем – это уже сигнал. Если рыба начинает терять ориентацию в пространстве, перево-

ОБ АВТОРЕ:

Татьяна Васильевна Потапова – доктор биологическихх наук, ведущий научный сотрудник НИИФХБ им. А. Н. Белозерского.

Озеро Неро.

рачиваться – значит, вода содержит вредные вещества в больших концентрациях.

Промышленные предприятия, сливающие отработанные воды, уже используют аквариумы с рыбами, которые «тестируют» качество воды, сбрасываемой в водоемы. Однако специалисты пошли дальше, создавая оригинальные биотестирующие системы на основе повышенной чувствительности некоторых пород рыб к определенным видам загрязнения.

На выходе сточных вод ставится длинный лоток с форелями. Рыба сообразно своей природе держится против течения у входа в лоток, однако при появлении примеси вредных веществ уходит в противоположный конец. Это фиксируют фотоэлементы, соединенные с системой сигнализации. Подобные установки работают на некоторых предприятиях России и Франции.

Группа сотрудников из Агентства по охране окружающей среды США несколько лет исследовала «кашель» у рыб и обнаружила, что рыбы, в особенности ушастый окунь, пескарь и форель, таким образом очищают свои жабры от вредных веществ. Уже созданы промышленные системы, которые автоматически регистрируют «кашель» рыб, его частоту и подают сигнал тревоги, если загрязнение превышает установленные нормы.

Западногерманские токсикологи пошли несколько иным путем. Они регистрируют частоту электрических разрядов у нильской щуки в нормальной водной среде и при ее загрязнении. Эта «электрическая» рыба очень тонко ощущает своими хеморецепторами состав примесей в воде и реагирует на изменение электропроводности воды при появлении вредных веществ.

Французские биологи решили создать что-то наподобие рыбы-ищейки – они вживили в обонятельные области мозга радужной форели электроды и соединили их с миниатюрным передатчиком, прикрепленным к голове рыбы. В лабораторных условиях были расшифрованы электрические импульсы, соответствующие различным загрязнителям, таким, как пестициды, различные фенолы и другие компоненты сточных вод. Передатчик весит всего 3 грамма и форели не мешает, а ученым дает возможность непрерывного слежения за появлением определенных примесей в водоеме.

Рыбы, при всех их достоинствах, неудобны тем, что требуют корма, и активность их зависит от времени суток. Более совершенный «живой прибор» попытались создать с помощью двустворчатого моллюска перловицы. Одну створку раковины фиксируют, а ко второй прикрепляют нечто вроде рычага, и тогда, закрывая створку при попадании загрязненной воды, моллюск будет включать сигнальную систему. Такие же автоматические системы мониторинга химического загрязнения воды создают с помощью более мелких ракушек – дрейсен.

Системы постоянного слежения за чистотой воды созданы даже на основе микроскопических водных животных: коловраток и инфузорий, которые обнаруживают такие редкие металлы, как селен, ванадий и цирконий в концентрациях 5–10 промиле за 20–30 минут. Очень перспективным выглядит направление эмбриологического мониторинга, при котором токсикологи проверяют наличие вредных веществ в воде по ее влиянию на развитие эмбрионов дафний, икры радужной форели и личинок водных нематод.

Организмы-биоиндикаторы помогают отслеживать качество очистки в активном иле: при ухудшении очистки меняется видовой состав микробиоценоза и поведение отдельных представителей. Например, у сувойки при нехватке кислорода сжимаются устьица и перестают работать реснички.

Развитие и расширение индикаторных и тестовых исследований с использованием живых объектов – надежный и гуманный путь спасения природы, общаясь с ней на ее языке.

Ученые пристально следят за судьбой Байкала, который относится к числу наиболее чистых водоемов на Земле. Это огромное сибирское озеро, возникшее более 20 млн. лет назад, «владеет» 1/5 частью всех мировых запасов поверхностных пресных вод. Питаясь чистой водой горно-таежных рек и сбрасывая излишек в Ангару, Байкал сохраняет очень низкий уровень минерализации. Обитающий только здесь веслоногий рачок эпишура очень эффективно очищает воду от бактерий, водорослей и органических частиц, а заодно служит основным

Фото Н. Свенцицкой.

кормом знаменитого байкальского омуля. Более половины «населения» Байкала – эндемики, приспособленные к очень чистой воде.

Замечательным примером эволюционно сложившейся кооперации в поддержании чистоты воды служит семга и двустворчатый моллюск пресноводная жемчужница. Обязательное условие развития молоди семги – чистота воды и высокое содержание в ней кислорода. Многомиллионные популяции пресноводной жемчужницы очищают воду в реках от органических соединений и остатков организмов. Но и жемчужница зависит от семги, поскольку ее личинки развиваются, паразитируя на жабрах и коже семги. О былом обилии этих видов на русском Севере можно судить по богато украшенным «русским жемчугом» парадным одеждам наших предков. Более того, по свидетельствам историков, при найме на работу в этих местах, между работником и хозяином нередко заключалось соглашение, включающее удивительное условие – не кормить их семгой чаще двух раз в неделю, чтобы не уменьшать количество жемчужниц и не подрывать основу добычи жемчуга.

Гидросфера внутри нас

Кажется, что наземные организмы в меньшей степени зависят от воды, чем обитатели водоемов. Это совсем не так – любой живой организм на Земле более чем наполовину состоит из воды. У каждого из нас есть своя «гидросфера» – сосудистая система, водный баланс отдельных клеток. У сложных многоклеточных организмов каждая клетка с помощью сложной системы сосудов и межклеточных емкостей омывается внеклеточными жидкостями (кровью, лимфой и др.), которые доставляют им питательные вещества и уносят шлаки. При нормальных условиях вода постоянно входит и выходит через мембрану клеток и диффундирует из области высоких концентраций различных веществ в область низких. Например, если поместить клетку в концентрированный раствор соли, молекулы которой не проникают через клеточную мембрану, то вода будет выходить из клетки и она съежится. В дистиллированной воде с низкой концентрацией солей возникнут, напротив, потоки воды внутрь клетки: она будет набухать и может лопнуть. Процессы движения любых веществ через клеточную мембрану обязательно сопровождаются перемещениями воды, и от этого напрямую зависит наше здоровье и самочувствие. Но вода в многоклеточных организмах выполняет не только транспортные функции: она является и непременным участником реакций энергетического обмена внутри клетки.

В процессе фотосинтеза с помощью света происходит образование углеводов из воды и углекислоты. При дыхании с помощью кислорода происходит обратный процесс. Из школьного курса всем известно замечательное уравнение:

$$CO_2 + H_2O + \text{свет} \longleftrightarrow \text{глюкоза} + O_2$$

В зеленых растениях эта реакция идет слева направо, у животных (в том числе и у человека) – справа налево. Уже в середине XX в. ученым стало ясно, что в основе фотосинтеза лежит сложная последовательность окислительно-восстановительных реакций транспорта электронов между молекулами-переносчиками, погруженными в биологические мембраны. Источником электронов при фотосинтезе у зеленых растений служат молекулы воды. Через биосферу Земли идет постоянный поток энергии от Солнца и кругооборот воды и углекислого газа. В химических лабораториях реакция газообразного водорода с кислородом, при которой образуется вода, весьма взрывоопасна. В живой клетке процесс высвобождения энергии из молекул глюкозы с помощью кислорода при дыхании происходит в несколько стадий, причем на каждой из них выделяется только часть энергии, которая тут же (в доли секунды) аккумулируется молекулами АТФ.

Человек испокон веку почтительно относился к воде, особенно высоко ценя ее чистоту. С чистотой воды сравнивали чистоту драгоценных камней («бриллиант чистейшей воды») и ясность мысли («как в воду глядел»). Пора и современной цивилизации отказаться от порочного и высокомерного отношения к воде как к полезному ископаемому, а ценить и беречь ее как основу всего сущего на Земле, как великую загадку, как источник душевной услады и покоя и помнить, что именно водный мир Земли связывает воедино жизнь, атмосферу, почву, энергетические процессы в биосфере, обеспечивая их системную устойчивость. ■

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. «Мифы народов мира»: Энциклопедия в 2-х томах. Под ред. С. А. Токарева.
2. Ю. И. Головин. 2000. Соросовский Образовательный Журнал. №9.
3. В. Ф. Дерпгольц. 1989. «Мир воды». Л. Гидрометеоиздат.
4. Н. К. Евстигнеева. 1996. «Вода и здоровье». М.
5. В. А. Шапошник. 1998. Соросовский образовательный журнал №9.
6. Р. С. Чалов. 2000. Соросовский образовательный журнал №2.
7. А. С. Курбатова и др. «Природный риск для городов России». М. 1997.
8. В. А. Семенов. 1997. Соросовский образовательный журнал №11.
9. Р. А. Нежиховский 1990. «Гидроэкологические основы водного хозяйства». Л. Гидрометеоиздат.
10. В. А. Семенов 1990. «Сток рек засушливых территорий». М. Гидрометеоиздат.
11. Государственный доклад «О состоянии окружающей природной среды РФ в 1999 году».
12. В. М. Островская и др. 2002. «Вода: индикаторные системы». М. ВИНИТИ.
13. Г. Башляр. 1998. «Вода и грезы». М. Изд-во гуманитарной л-ры.

ОБЩЕДОСТУПНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ КНИГА

Компьютерные технологии позволили создать совершенно новые типы изданий, не имеющие аналогов в истории полиграфического искусства. Одним из них являются электронные книги, к выпуску которых приступило издательство ИДДК. Уже выпущены энциклопедические собрания сочинений классиков русской литературы – Н. Гоголя, Н. Гумилева, Д. Мережковского, В. Набокова, М. Цветаевой, а также электронные энциклопедии «Императорский Эрмитаж» и «Наполеон Бонапарт».

Энциклопедические собрания сочинений объединяют в себе все написанные данным автором тексты и разнообразные материалы о нем. Так, диски, посвященные Набокову и Мережковскому, содержат обширную подборку критических и научных статей, библиографию, исследования их творчества и рецензии, воспоминания и иллюстрации. В собрания включены также музыкальные произведения, написанные под впечатлением произведений авторов и поясняющие культурный контекст эпохи.

Электронные энциклопедии, как правило, состоят из двух дисков: на одном помещена текстовая часть и необходимые иллюстрации, а на втором – основной иллюстративный ряд. Энциклопедия «Императорский

Эрмитаж» предлагает видеопрогулку по музею и подбор репродукций, причем иллюстрации можно просматривать в любом разрешении. Все иллюстрации отсканированы с полиграфическим качеством оцифровки (разрешением 2000x3000).

Издание включает также знаменитый путеводитель по Эрмитажу, написанный в начале XX века художником и искусствоведом А.Бенуа., а также сведения о крупнейших художниках XVI–XIX веков.

Видеоряд «наполеоновской» энциклопедии построен как рассказ об эпохе и событиях, в которых принимал участие император. Он содержит более 600 цветных иллюстраций, видео- и музыкальные фрагменты. Справочная часть включает военные и исторические карты Европы времен Наполеона, фотографии оружия, военной формы и аксессуаров, портреты крупнейших военачальников, зарисовки сражений, выполненные их участниками и свидетелями. Энциклопедия содержит также обширную библиографию и воспоминания о Наполеоне и войне 1812 года.

Электронные книги позволяют пользователю установить оптимальный режим работы: можно просматривать текст, установив необходимый масштаб изображения и шрифт, выделять и экспортировать любые фрагменты текста на жесткий диск или в приложение. ■

Д.С.Мережковский, В.В.Набоков, М.И.Цветаева. Полное энциклопедическое собрание сочинений. – М.: ИДДК. – 2003.
Императорский Эрмитаж. Электронная книга. – М.: ИДДК. – 2003.
Наполеон I Бонапарт. Историческая энциклопедия. – М.: ИДДК. – 2003.

майны звучащего металла

По материалам беседы с Ю. В. Пухначевым

Много очевидного и невероятного о возникновении колоколов, их физике и механике, музыкальных возможностях, о развитии колокольного дела в России и в странах Европы и Азии узнали телезрители из беседы профессора Сергея Петровича Капицы с кандидатом физико-математических наук Юрием Васильевичем Пухначевым.

В IV тысячелетии до н.э. на территории современного южного Ирана и Турции, в Месопотамии и Египте уже существовала технология бронзового литья. Среди археологических находок VI–V вв. до н.э. встречается множество бронзовых колокольчиков – древнееврейские и древнегреческие, скифские и этрусские... Их размеры – от 2 до 9 см, некоторые удивительно похожи, хотя происходят из разных стран и относятся к различным эпохам. Как только люди научились добывать металл, они не могли не обратить внимание, как продолжительно и мощно звенит при ударе металл (а голос бронзы особенно красив).

Ряд исследователей полагает, что родина колоколов – Китай. Действительно, технология бронзового литья была создана в эпоху Ся (XXIII–XVIII вв. до н.э.) сохранился небольшой (4,5 см в высоту) колокольчик из сплава, содержащего 92% меди и 7% олова. В эпоху Шан (XVI–XI вв. до н.э.) колокола получают широкое распространение. Примечательно, что уже тогда они объединялись в наборы по три или пять штук. В эпоху Чжоу (XII–III в. до н.э.) их вешали как амулеты на шею лошади или на пояс, чтобы отпугивать злых духов. Для военных колокольный звон служил сигналом тревоги, в храмах он сопровождал жертвоприношения. Технология литья усовершенствовалась и позволяла создавать колокола размером до 80 см, причем с заранее задаваемой высотой звучания. Среди музыкальных инструментов колокол занимает главное место – недаром он возглавляет их список в древнекитайском трактате «Юэцзи» («Записки о музыке»).

В числе предметов, найденных под пеплом Геркуланума и Помпеи (I в. до н.э.), встречались колокольчики высотой 14 и 17 см. В античном мире они выполняли, в основном, сигнальные функции. В Древнем Риме их звон оповещал об открытии рынков и бань, о поливке улиц, о казнях и других событиях городской жизни. Возницы, подъезжая к перекресткам узких улочек, звоном предупреждали о своем приближении, городские стражи подавали друг другу сигнал тревоги. Считалось что колокольчик на шее домашних животных охранял их от злых сил. Позже он начинает выполнять декоративную функцию: им украшали колесницы и одежды знати.

Весть, призыв, торжество, красота, богатство, власть и святыня – так на исходе античности складывается семантический ряд, определяющий значение колокола. В окружении этих понятий он и вошел в христианскую религию.

Христианство и колокола

Колокольчики использовались во всех дохристианских религиях, потому ранние христиане их отвергали. Этим объясняется негативный тон, в котором они упоминаются в Новом Завете: «Если я говорю языками человеческими и ангельскими, а любви не имею, то

я – медь звенящая или кимвал звучащий» (Кор.,13, 1).

Обычай созывать монахов на богослужение возник в христианских монастырях в Египте. В палестинских, сирийских, греческих монастырях до сих пор применяются особые доски (била), в которые ударяют колотушкой (клепалом).

Когда колокола были невелики, их вешали на фронтонах церквей. По мере увеличения веса для них стали сооружать небольшие башенки на крышах храмов. Звонили с земли, дергая за веревку. С VIII в. появляются сообщения о первых колокольнях, построенных отдельно от церквей. Позже романская и готическая архитектура объединили колокольню и церковь в единый ансамбль.

Усовершенствованная технология литья позволяла отливать колокола не только более крупные, но и издающие тон желаемого тембра. Уже в IX в. стали изготавливаться наборы колоколов (до 8 штук), создававшие определенный звукоряд. В раннем Средневековье они получили повсеместное распространение, и в странах христианской Европы с VII в. стали неотъемлемой частью повседневной жизни европейского города, а с IX в. – и европейского села.

В империи Карла Великого, который поощрял искусных мастеров, колокола приобрели статус государственного достояния. Примечателен капитулярий Карла Великого от 789 г., запрещающий крестить колокола – их следовало освящать. Но строгие меры не помогли, и в последующие века их продолжали крестить: обливали водой, надевали крестильную рубаху, окуривали ладаном и присваивали имя. Собор св. Стефана в Вене оглашал звоном «Башмачник Михель».

Колокол символизировал добро. Средневековый европеец верил, что его звон отводит козни дьявола, молнии, бури и т.д.

Изготовление колоколов расценивалось как священнодействие. Монах Теофил, живший на рубеже XI–XII вв., оставил первое подробное описание

литья в трактате «Записки о разных искусствах». Для изготовления сплава Теофил предписывал взять четыре части меди и одну – олова (такое процентное соотношение сохранилось и по сей день, отклонения составляют лишь 1–2%).

В XII в. была разработана новая технология литья, обеспечившая высокое качество звучания и возможность увеличить вес колокола, впервые описаная в книге В. Бирингуччо «Пиротехния» (1540 г.) и сохранила основные черты до наших дней.

Вскоре появились комплексы, объединяющие до тридцати колоколов; система клавиш, по которым звонарь ударял кулаками, была дополнена педалями; колокола следовали друг за другом в соответствии с полутонами без пробелов (был создан звукоряд по системе европейской хроматической гаммы, состоящей из полутонов). Так получила завершение конструктивная схема нового инструмента – карильона.

Период с XII по XVI в. занимает, таким образом, особое место в истории колоколов: в эти столетия сформировалась их современная форма и технология литья, полностью определились функции.

На Руси

Вероятно, колокола попали на Русь с Запада. Первое упоминание о них содержится в 3-й Новгородской летописи и датируется 1066 г.: «Приде Всеслав и взя Новгород, и колоколы съимыя Софие и паникадил съима». До наших дней дошли два древнерусских колокола домонгольского периода, еще от 39 сохранились фрагменты. Диаметр в нижнем основании колеблется от 30 до 60 см. Сплав, из которого они изготавливались, содержал от 20 до 24% олова, а форма напоминала западноевропейские образцы того времени.

Ранняя история колоколов на Руси сложилась так же, как и на Западе. Сначала их отливали монахи, но довольно скоро дело перешло к ремесленникам. Колокола освящались, но их никогда не крестили и не нарекали человеческими именами. Хотя часто давали прозвища: колокол с сильным, резковатым звучанием нередко звался «Лебедем», с мягким, приятным – «Красным», с неровным, дребезжащим – «Козлом», «Бараном». (Так , например, зовутся колокола звонницы Успенского собора в Ростове Великом.)

На Руси им приписывалась способность изгонять нечистую силу, развеивать козни и злые чары, отводить гро-

зу, исцелять болезни. При этом они нередко подвергались суровым наказаниям. В 1771 г. набатный колокол Московского Кремля по указу Екатерины II был снят и лишен языка за то, что призывал к бунту. В 1591 г. по приказу Бориса Годунова та же участь постигла Угличский колокол, оповестивший народ о гибели царевича Дмитрия. На Руси колокола отмеряли ход времени, били тревогу, предупреждали о приближении неприятеля, созывали воинов, встречали победителей, приветствовали знатных гостей. Звук вечевого колокола созывал народные собрания в Новгороде и Пскове.

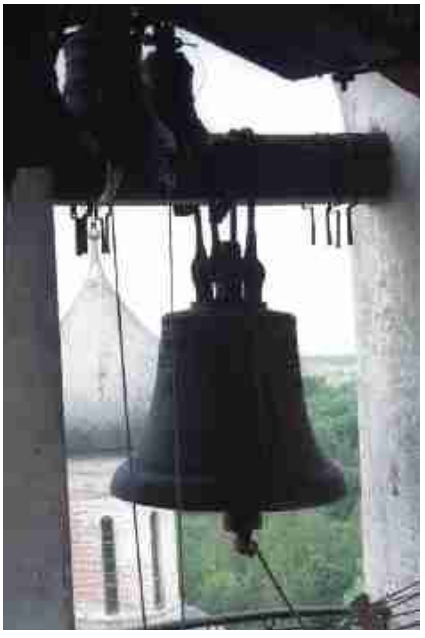
Русские тяжеловесы

Путешественников, приезжавших в Россию, поражало не только обилие колоколов, но и их вес. Уже к середине XVI в. русские колокола превзошли по габаритам западные. Если европейские колокола весом 100–150 пудов (один пуд равен 16 кг) считались редкостью, то в России они были широко распространены. В Московском Кремле колокола такой «весовой категории» звучали по будням. Экземпляры весом до 600–700 пудов назывались полиелейными и благовестили по памятным дням, до 800–1000 пудов – именовались воскресными и звонили в воскресенье, от 1000 пудов и выше – праздничными, они оповещали о больших радостных событиях.

Каждый государь старался ознаменовать свое правление отливкой именного колокола, который должен был быть тяжелее предшественника. Звон гигантов символизировал возрастающую мощь державы, звал к единению. Иван III повелел отлить колокол в 450 пудов, Василий III – 1000 пудов, Иван Грозный – 2200 пудов, Борис Годунов – 2500. В 1654 г. Алексей Михайлович задумал изготовить колокол весом в 8000 пудов (почти 100 тонн). Отлил его Емельян Данилов, (тот колокол уже называли Царем-колоколом), однако колокол разбился, а мастера уже не было в живых: он умер от моровой язвы. Восстановить колокол вызвался малорослый, тщедушный человек, которому не было еще 20 лет – Александр Григорьев, будущий гений колокольного дела (он послужил прототипом одного из героев фильма «Андрей Рублев»). Именно он впоследствии отлил большой колокол Саввино-Сторожевского монастыря в Звенигороде, который признан самым благозвучным в России. Во время Второй мировой войны (1941г.), его, как национальную святыню, собирались эвакуировать, но он сорвался с колокольни и разбился. Второй колокол, созданный Александром Григорьевым, погиб еще в 1701 г. во время пожара в Кремле. Тогда было решено отлить колокол уже в 10 тыс. пудов. Русские мастера Иван и Михаил Моторины изготовили Царь-колокол весом в 12 тыс. пудов. Вероятно, это был предельный для колокола вес – и с тех пор он украшает собой подножье колокольни Ивана Великого в Кремле.

Выдающиеся имена

Первые литейщики пришли на Русь, очевидно, из Европы – об этом свидетельствуют их прозвища: Борис Римлянин, Николай Немчин и т.д. Со временем появились прославленные русские мастера: Андрей Чохов, Александр Григорьев, Харитон Попов и др. Считается, что русские литейщики были неграмотными, и колокола лили



ТЕХНОЛОГИЯ КОЛОКОЛЬНОГО ЛИТЬЯ

Теофиловы колокола

Монах Теофил, живший на рубеже XI–XII вв., в трактате «Записки о разных искусствах» дал первое описание литья колоколов.

На деревянном шпинделе, вращающемся в гнездах вокруг горизонтальной оси, из сырой глины формируется ядро, обтачиваемое резцами до точного соответствия внутреннему профилю будущего колокола. После просушки накладывается слой сала, повторяющий своей формой колокол. На него осторожно наносится несколько слоев жидкой глины, причем каждый последующий накладывается только после высыхания предыдущего – так образуется кожух. Шпиндель удаляется, и вся конструкция прогревается на сильном огне, сало вытапливается, оставляя после себя полость. Таким же образом создается модель ушей. Затем в форму заливается сплав меди и олова, приготовленный в переносных тиглях.

Сохранилось более десятка колоколов, изготовленных описанным способом. Их называют теофиловыми. (Самый крупный из них – колокол св. Луллия высотой 130 см.) У них почти отвесные стенки одинаковой толщины, край скруглен, а не заострен, как у современных колоколов. Звук у теофиловых творений чистый, но отрывистый, резкий, без привычного долгого гула. Теофил отмечает, что утолщение стенки колокола, и увеличение его размеров влияет на высоту звука. Поэтому когда требуется отлить набор колоколов, согласованных между собой по тональным высотам, можно пользоваться одним из этих двух приемов – в своем трактате Теофил приводит соответствующие расчеты. Изложение методики можно найти и в других источниках того времени. Предпочтительным считался вариант, когда все колокола имели стенки одинаковой толщины, а желаемая высота тона определялась размерами колокола.

Тем временем шел настойчивый поиск такой формы стенок колокола, которая придала бы звуку красивую окраску. Формы теофиловых колоколов назывались «улей»; ее сменила «сахарная голова» (верхняя часть напоминает усеченный конус и едва заметно прогибается внутрь, нижняя же часть круто выгибается наружу, образуя выпуклость и массивную губу с заостренным краем).

Пиротехния

Новая технология, описанная в книге В. Бирингуччо «Пиротехния» (1540 г.), выглядит следующим образом.

В литейной яме выкладывают из кирпича полый сердечник литейной формы, обмазывают его смесью глины и песка, нанося ее тонкими слоями. Шаблоном, вращающимся вокруг вертикальной оси, выглаживают каждый слой так, чтобы в итоге сердечник принял форму, соответствующую внутреннему профилю колокола. Внутри полости разводят огонь и хорошо просушивают глиняную обмазку сердечника – слой за слоем, затем смазывают его салом. Сверху выкладывают глиняную «рубашку», в точности повторяющую своими очертаниями желаемый колокол, внешнюю поверхность скругляют и выравнивают другим шаблоном. Глиняный колокол просушивают и смазывают салом. Затем на него накладывают буквы и элементы орнаментов, приготовленные из воска. Сверху наносят один за другим тонкие слои жидкой глины, высыхающие на воздухе, без прогревания огнем. Глина замешивается все гуще, ее слой становится все толще – таким образом образуется глиняный кожух, который для прочности охватывают железными ребрами и обручами. В полости снова разводят огонь и прогревают кожух, затем его приподнимают и удаляют глиняный колокол (то и другое получается без особого труда благодаря разделительным слоям сала). Потом кожух опускают, стараясь поточнее установить на прежнее место. Форму для «ушей» готовят тем же способом, что описан у Теофила, и надстраивают ею форму колокола. Литейную яму засыпают землей и тщательно утрамбовывают, чтобы форму не разорвало при заливке. Сплав готовится в отражательной печи неподалеку от литейной ямы и направляется в форму по желобу из кирпичей, обмазанных глиной.

Изготовление тела колокола завершено, теперь осталось вдохнуть в него душу. Нежные и мелодичные, звонкие и задорные – разольются колокольные переливы по долам и весям…

наугад, по наитию, не опираясь на теоретические знания. Действительно, выдающийся мастер Григорьев «грамоте не умел» и свои распоряжения подмастерьям и ученикам давал устно. Но сохранившиеся документы московского Пушечного двора свидетельствуют о том, что каждой отливке предшествовала детальная смета и работу сопровождали точные расчеты.

Русским мастерам принадлежат три самых тяжелых колокола звонницы Успенского собора в Ростове Великом: «Лебедь» (500 пудов) и «Полиелей» (1000 пудов), отлитые в 1682 и 1683 гг. Филиппом Андреевым, и созданный в 1688 г. Флором Терентьевым «Сысой» (2000 пудов). Они образуют домажорное трезвучие; а низший обертон «Сысоя» совпадает с основным тоном «Полиелея». Созданная в XVII в. гармония по сей день радует слух.

С увеличением веса очапной (т.е. путем раскачивания) звон начал изживать себя. Чем тяжелее был колокол, тем больше людей требовалось для его раскачивания. Очапные веревки со стременами на концах расходились вниз веером. В отлитый Григорьевым Царь-колокол звонили 40–50 человек, еще несколько помощников подводили язык к краю колокола. В XVII в. был разработан определенный тип колокольни и новый способ звона. Колокольня стала входить в ансамбль храма, но стояла отдельно от него. Сначала на звоннице неподвижно закреплялись лишь самые большие экземпляры, но со временем неподвижно стали устанавливаться колокола всех размеров, и складывался стиль русского звона.

Если колоколов на звоннице было много, то они обычно подразделялись на три основные группы. Большой, низко звучащий басовый колокол задавал темп звону, его удары – редки и размеренны, поскольку тяжелые языки с огромной инерцией медленно поддавались усилиям звонарей и раскачивались в неизменном ритме (впрочем, опытным звонарям удавалось бить в один край или даже пропускать удар). Средние альтовые колокола заполняли своим звучанием промежутки между ударами большого и образовывали основной рисунок звона. Мелкие, зазвонные завершали его мелодико-ритмическую вязь.

Стилистика колокольного звона на Руси складывалась параллельно с развитием певческого искусства – от одноголосного распева, строчного и партесного пения к более развитым формам. Большой вклад в художественное богатство звона внесли и русская частушка, русская пляска.

Малиновый звон

Бельгийская Королевская школа звонарей, ставшая колокольным центром всего мира, находится в городе Михелен – так произносится по-фламандски. А по-французски он звучит как Малин. Говорят, что Петр Великий был настолько восхищен мастерством бельгийских звонарей, что с тех пор самый красивый колокольный звон стали называть малиновым – так звучать могут лишь лучшие колокола.

К «колокольным мотивам» обращались и черпали в них вдохновение многие русские композиторы: Глинка и Мусоргский, Чайковский и Бородин. В русских операх часто звучит звон. Он передает колорит эпохи, которая с детства окружала русских композиторов. Отсюда колокольные мотивы, колокольные переливы и переборы в русской музыке.

Например, обращаясь к народным истокам русской колокольной музы-

ки, Н. А. Римский-Корсаков положил в основу второй части своей «Воскресной увертюры», как пишет он сам, «звуковосприятие радостного, почти плясового колокольного звона».

Русский колокольный голос – живой, ему присущи диссонансы. В увертюре к опере «Борис Годунов» Мусоргского звучание хора настолько переплетается со звонами колоколов, что одно от другого отличить почти невозможно. Именно многоголосное хоровое пение воспитало российских звонарей. Былина, песня, частушка, пляска – все это нашло звуковое отражение в колокольном звоне, в нем нет долгой развивающейся мелодии, а скорее попевки (краткие, интонационно яркие мелодии, идущие от знаменного распева), создающие музыкальных орнаменты, которые производят неизгладимое впечатление на слушателя.

На Руси существовал обычай: в пасхальную неделю в церковные колокола мог звонить любой желающий. Так раскрывались способности будущих звонарей, подбирались ритмические фигуры.

Каждый регион отличался своей манерой игры: на севере звон более степенный и затейливый, в средней полосе он прост и подвижен. Все богатство русской земли отражалось в исполнительском искусстве звонарей.

Поначалу колокольная музыка в России основывалось на тех же принципах, что и на Западе, затем ее формы изменились, и она пошла своим путем. Начиная с XVIII в. в звонах больше ценилась не мелодия, а ритм, разнообразие и богатство звучания.

В первые послереволюционные годы, в период борьбы с религией, погибли многие шедевры колокольного искусства. Если в начале XX в. в России было 39 колоколов весом 1000 пудов и более, до наших дней дошло лишь пять: Царь-колокол, Большой Успенский, «Реут» (Москва, Кремль), «Сысой», «Полиелей» (Ростов Великий, соборная звонница).

Возвращение российской культуры к духовным основам воскресило и колокольное дело. В 1982 г. в Московском

Доме ученых прошла первая научная конференция «Колокола: история и современность», где обсуждался широкий спектр «колокольных» вопросов: история, этнография, краеведение, физика металла, математика, акустика и т.д. Исследователь Т. Б. Шашкина расшифровала кристаллическую структуру колокольной бронзы, обусловливающую уникальные акустические свойства этого сплава. Она же показала, что в основе колокольного профиля лежит логарифмическая спираль, позволявшая древним мастерам, не знакомым с высшей математикой, добиваться благозвучия.

С тех пор многое сделано для возрождения и развития колокольного искусства: появились новые мастера и литейщики, звонари, проходят концерты колокольной музыки. Искусство звучащего металла вновь возрождается. ■

Конвергенция на диване

Уэйт Гиббс

Что получится, если соединить стереосистему и телевизор с домашней локальной сетью?

Лет десять назад было очень модно говорить о конвергенции – объединении телевизора, музыкального центра и телефона в единый агрегат. Руководители СМИ и компьютерных компаний в один голос расхваливали появившиеся тогда мультимедийные ПК. Многим казалось, что компьютеры вскоре станут сердцем коммуникационных и развлекательных домашних систем. Однако технологии не оправдали ожиданий, и все отвлеклись на новую игрушку – Интернет.

Сегодня гиганты электронной промышленности *Philips*, *Samsung* и *Pioneer* опять громко заявляют о конвергенции. Они обещают, что их аппаратура сделает наше «диванное» время гораздо приятнее.

Коммуникационные системы вновь отошли на второй план. Считается, что потребители станут присоединять новые мультимедийные серверы к уже имеющейся развлекательной аппаратуре не для пользы, а для развлечения.

Привлекательность трудно рассчитать, особенно специалистам по компьютерам. Вещи развлекают, если работают, не вызывая раздражения. Создатели мультимедийных игрушек сталкиваются с двумя трудностями. Во-первых, устройства и программы должны быть настолько простыми и надежными, чтобы дремлющий на диване лежебока управлял ими с дистанционного пульта. Во-вторых, нужно научить машину читать медиафайлы различных форматов, в том числе зашифрованные с помощью так называемых кодов цифровой защиты авторских прав. Пользователь будет недоволен, если защита от копирования помешает смотреть или слушать оплаченные программы.

Насколько преуспели первопроходцы в устранении возможных раздражителей? Чтобы разобраться в этом вопросе, я несколько недель возился с тремя сетевыми мультимедийными устройствами. Два из них изготовлены знаменитыми *Sony* и *Hewlett-Packard*, а третье – молодой компанией *Prismiq*, реализовавшей несколько прогрессивных идей.

С появлением цифровых мультимедийных приемников формула «укажи и щелкни» наполняется новым смыслом.

JOHN FRASER

Опробованные мной новинки относятся к одной ценовой категории и стоят от $200 до $250. Все они подключаются к телевизору, стереосистеме и домашней сети *Ethernet*. Более дорогие модели можно использовать с беспроводной *WiFi*-сетью. Прилагаемое программное обеспечение превращает домашний компьютер в сервер, который передает фотографии, музыку и другие цифровые данные на мультимедийное устройство, транслирующее их на колонки и на телеэкран.

Инженеры компания *Sony* сумели втиснуть свой *RoomLink Network Media Receiver* в изящный корпус размером с большую книгу. Однако тестовый комплект оказался тремя коробками общим весом 20 кг. Дело в том, что *RoomLink* совместим только с компьютерами *Vaio* производства *Sony*. Если у вас, как и у меня, нет такого ПК, то удовольствие обойдется не $200, а все $2 000.

Рабочие станции *Vaio* ориентированы на тех, кто снимает собственные фильмы и записывает их на *DVD*-диски. Такие пользователи по достоинству оценят три мощные программы для поиска *MP3*-файлов, фотографий и видеозаписей, которые затем появятся в меню *RoomLink*. Однако в интерфейсах этих утилит нет ничего общего, и все предлагаемые варианты показались мне неудобными и невразумительными. Чтобы составить список проигрываемых и прослушиваемых файлов и занести его в *Vaio*, мне пришлось потратить целый час на изучение инструкции.

Наконец я схватил пульт дистанционного управления, включил *RoomLink*, выбрал в качестве сервера *Vaio* (бессмысленная и раздражающая операция, если больше нечего выбирать) и стал любоваться фотографиями. Тут-то и началась потеха. Рассматривать семейные снимки на экране телевизора гораздо приятнее. Во-первых, так они выглядят ярче, крупнее и живее, чем в фотоальбоме. Во-вторых, здорово осознавать, что тебя и твоих близких показывают по «ящику». К такому удовольствию можно и пристраститься!

Однако вскоре радость от новой игрушки была омрачена небольшой неприятностью. *Vaio* позволяет сохранять на жестком диске и затем просматривать телепрограммы и любительские видеофильмы. А вот воспроизводить видеоклипы из других источников (например, загруженные из *Internet*) *RoomLink* не умеет. Программа отказалась проигрывать фильмы, отснятые цифровой камерой и обработанные на другом компьютере (не *Vaio*). Я стал жертвой борьбы *Sony* с видеопиратством и так и не смог насладиться кадрами, запечатлевшими первые шаги моего сынишки.

Насколько сложен аппарат от *Sony*, настолько прост *Digital Media Receiver* компании *Hewlett-Packard*. Правда, он позволяет работать только с музыкой и фотографиями, но делает свое дело хорошо. Шустрое программное обеспечение устанавливается, спрашивает, какие записи вы хотите просматривать, и исчезает с экрана – больше я о нем не вспоминал. Папки с обоих компьютеров под управлением *Windows* волшебным образом появлялись в меню, и никаких раздражающих окон типа «Выберите сервер...» на экране не возникало. Все три испробованные устройства отказались работать с операционными системами *Linux* и *MacOS*.

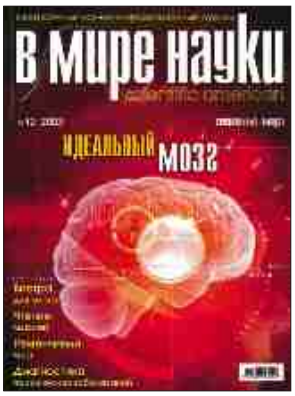
Digital Media Receiver автоматически рассортировал более 600 *MP3*-файлов, обнаруженных на моих компьютерах, по исполнителям, альбомам и даже по жанрам. Кроме того, аппарат от *HP* позволяет слушать музыку при просмотре фотографий, чего не допускает детище *Sony*. Слайд-шоу с музыкальным сопровождением, несомненно, развлекает, но стоит ли оно затраченных $200?

Лично я рассчитывал получить за эти деньги большее. В частности, выпущенный в мае новый *MediaPlayer* компании *Prismiq* тоже позволяет сопровождать показ фотографий музыкой, но кроме того оснащается клавиатурой и встроенным браузером, который годится для проверки электронной почты, просмотра прогноза погоды, чтения киноафиш и ресторанных обзоров. Более того, *MediaPlayer* знает о существовании интернет-радио. Я с удовольствием слушал иранские и российские радиостанции. Правда, по качеству звука сжатый аудиопоток намного уступает записям на компакт-дисках, но зато как здорово слышать музыку с другого края света!

Окупается ли домашнее телевизионное музыкальное слайд-шоу «Моя семья»?

MediaPlayer с успехом демонстрирует видеофильмы – любительские, загруженные из Интернета и с *DVD*-дисков. Но здесь мы снова натыкаемся на ограничения, налагаемые аудио- и видеоиндустрией: устройство от *Prismiq* может воспроизводить только незашифрованные видеофайлы. Поэтому для записи *DVD*-фильмов на жесткий диск требуются специальные программы, взламывающие шифр. Они запрещены *DMCA* – законом о защите авторских прав в цифровом тысячелетии (см. «В мире науки», №5/2003, статья «Слово для защиты»), но совместимы с проигрывателем *Prismiq*, и их легко приобрести.

Итак, проведенные мною любительские испытания, увы, показали, что в каждой бочке мультимедийного меда все еще есть пара-тройка столовых ложек дегтя. ■



Читайте в декабрьском специальном выпуске журнала:

Виагра для мозга

Чтение мыслей

Изменчивый мозг

Как приручить стресс

Диагностика психических заболеваний

Оформить подписку на журнал «В мире науки» можно:
• по каталогам: «Пресса России», подписной индекс 45724; «Роспечать», подписной индекс 81736; периодических изданий для библиотек, подписной индекс Б392; изданий органов НТИ, подписной индекс 69970; через редакцию журнала (только по России), перечислив деньги через Сбербанк или по почте, отправив копию квитанции (с указанием Ф.И.О., точного адреса и индекса подписчика) в РосНОУ по почте, по факсу: (095) 105-03-72 или по e-mail: red_nauka@rosnou.ru
Стоимость подписки на полугодие – 390 руб., на год – 780 руб.

Редакция журнала «В мире науки» выражает благодарность компании TARIO.net и техническому директору Костюнину В. Г. лично за помощь в распространении.

Негосударственное образовательное учреждение
«Российский новый университет»
Расчетный счет 40703810200000010014
в АКБ «Ист-Бридж Банк» ЗАО, г. Москва БИК 044579128
Корреспондентский счет 30101810500000000128
ИНН 7714082749; КПП 770901001

Фамилия, И.О., адрес плательщика

Вид платежа	Дата	Сумма
Подписка на журнал **«В мире науки»**		
Плательщик		

Негосударственное образовательное учреждение
«Российский новый университет»
Расчетный счет 40703810200000010014
в АКБ «Ист-Бридж Банк» ЗАО, г. Москва БИК 044579128
Корреспондентский счет 30101810500000000128
ИНН 7714082749; КПП 770901001

Фамилия, И.О., адрес плательщика

Вид платежа	Дата	Сумма
Подписка на журнал **«В мире науки»**		
Плательщик		