

научно-популярный научно-информационный журнал

SCIENTIFIC
AMERICAN

В мире науки

№12 2006

КАТАСТРОФИЗИКА

Что заставляет звезды взрываться?
Мистерия рождения суперновой

Вирусы
и нанозлектроника

Молекулярные
матрицы

Как предки ацтеков
сделали из Мехико
город-сад

Иммунные
миротворцы: клетки,
которые спасают
нас от нас самих

Лосось — пища леса



www.sciam.ru

содержание

ДЕКАБРЬ 2006

ГЛАВНЫЕ ТЕМЫ НОМЕРА:

- 20 АСТРОФИЗИКА**
КАК ВЗОРВАТЬ ЗВЕЗДУ
Эвальд Мюллер, Вольфганг Хилльбранд и Ханс-Томас Янка
Почему не все звезды умирают тихо?
- 28 ИММУНОЛОГИЯ**
СТРАЖИ ИММУННОЙ СИСТЕМЫ
Шимон Сакагучи и Золтан Фегервари
Регуляторные Т-клетки удерживают иммунную систему организма от нападения на собственные ткани
- 36 НАУКИ О ЗЕМЛЕ**
ОКЕАН-УБИЙЦА
Питер Уорд
Массовая гибель древних организмов — космогенная или земная катастрофа?
- 44 ЭКОЛОГИЯ**
ЛОСОСЬ — ПИЩА ЛЕСА
Скотт Дженди и Томас Квинн
Новые сведения об экологическом балансе популяции лосося, рек и прибрежных лесов
- 50 МЕДИЦИНА**
МОДА НА МИНЕРАЛКУ
Елена Демьгина и Елена Родина
Минеральная вода может стать лекарством — но только при правильном употреблении
- 54 АНТРОПОЛОГИЯ**
ГИДРОТЕХНИКИ ДРЕВНЕЙ МЕКСИКИ
Кристофер Кэран и Джеймс Нили
Три тысячи лет назад земледельцы юга Мексики, предки ацтеков, чтобы получать урожай круглый год, построили первые ирригационные сооружения Нового Света
- 62 ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**
ВИРУСНАЯ НАНОЭЛЕКТРОНИКА
Филип Росс
Выведены вирусы, которые покрывают себя определенными веществами, а затем самоорганизуются в жидкие кристаллы и наноскопические проводники
- 66 ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**
ПРОЩАЙТЕ, КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА!
Гэри Стикс
Скоро пользователи Интернета смогут использовать картинки в качестве поисковых запросов
- 70 МАТЕМАТИКА**
НАУКА О СУДОКУ
Жан-Поль Делае
Не так давно головоломка судоку стала такой же популярной, как кубик Рубика

Учредитель и издатель: ЗАО «В мире науки»

Главный редактор: С.П. Капица

Заместитель главного редактора: В.Э. Катаева

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

Арт-директор: Л.П. Рочева

Ответственный секретарь: О.И. Стрельцова

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

Выпускающий редактор: М.А. Янушкевич

Спецкорреспондент: Д.В. Костикова

Над номером работали:
А.В. Банкрашков, Е.Г. Богадист, А.Н. Божко, Г.П. Васильев,
Е.Н. Демьгина, О.В. Закутняя, Б.А. Квасов, М.Б. Молчанов,
И.А. Нечаев, Т.В. Потапова, Е.В. Родина, И.Е. Сацевич,
В.В. Свечников, В.Г. Сурдин, П.П. Худолей, И.В. Человеков,
Б.В. Чернышев, Н.Н. Шафрановская

Научные консультанты:
профессор, доктор психологических наук Ю.И. Александров;
профессор, доктор психологических наук И.А. Васильев;
профессор, доктор экономических наук М.В. Конотопов;
профессор, доктор биологических наук Г.Х. Мержанова;
профессор, доктор биологических наук С.Н. Покровский

Верстка: А.Р. Гукасян

Корректурa: Я.Т. Лебедева

Секретарь: О.С. Быковская

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

Главный бухгалтер: Т.М. Братчикова

Помощник бухгалтера: С.М. Амелина

Отдел распространения: Л.В. Старшинова

Подписка: О.А. Флакова

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

Адрес редакции:
105005, Москва, ул. Радио, д. 22, к. 409
Телефон: (495) 727-35-30, тел./факс (495) 105-03-72
e-mail: edit@sciam.ru; www.sciam.ru

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

Отпечатано в Эстонии, типография Printall

© В МИРЕ НАУКИ

Журнал зарегистрирован в Комитете РФ по печати.
Свидетельство ПИ №ФС77-19285 от 30.12.2004

Тираж: 10 000 экземпляров

Цена договорная.

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

SCIENTIFIC AMERICAN

ESTABLISHED 1845

Editor in Chief: John Rennie

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

News Editor: Philip M. Yam

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

Art director: Edward Bell

Vice President and publisher: Bruce Brandfon

Chairman emeritus: John J. Hanley

Chairman: John Sargent

President and chief executive
officer: Gretchen G. Teichgraber

Vice President and managing director,
international: Dean Sanderson

Vice President: Frances Newburg

© 2004 by Scientific American, Inc.

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

РАЗДЕЛЫ:

ОТ РЕДАКЦИИ СВЕТ ИСТИНЫ

3

50, 100, 150 ЛЕТ ТОМУ НАЗАД

4

СОБЫТИЯ, ФАКТЫ, КОММЕНТАРИИ

6

- Обуздать углерод
- Крепкий орешек
- Фитопланктон гибнет за металл
- Еще раз о демографическом кризисе
- Энергия для больших городов
- По несчастью не товарищи
- Ум с сердцем в ладу
- Вам и не снилось
- Мытье рук как нравственное очищение?
- Кортизон против одиночества
- Кишечные бактерии-ловушки
- Дитя Люси
- Углерод выводит на чистую воду
- Сверхзвуковой охотник-убийца

ПРОФИЛЬ

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ВИКТОРА ВЕСЕЛАГО

Ольга Закутняя

Виктор Георгиевич Веселаго придерживался принципа: *менять направление исследований каждые 5–6 лет. В результате в его арсенале радиоспектроскопия, плазма твердого тела, ядерно-магнитный, циклотронный резонанс и сильные магнитные поля*

16

НАУЧНОЕ КАФЕ

ЭМОЦИИ И РАЗУМ: ДРУЗЬЯ ИЛИ ВРАГИ?

Марина Смирнова

Эмоции — краски нашей жизни. *Что такое эмоции? Какую роль они играют в социуме? Входят ли они в конфликт с разумом? Есть ли эмоции у животных и чем они отличаются от человеческих? На эти и ряд других вопросов постарались ответить участники «Научного кафе», посвященного проблемам изучения эмоций*

88



СВЕТ ИСТИНЫ

Достигнув определенных профессиональных высот, некоторые ученые считают долгом публично заявить о своих религиозных убеждениях. Оуэн Гингерич (Owen Gingerich) и Фрэнсис Коллинз (Francis Collins), следуя примеру Артура Эддингтона (Arthur Eddington) и Макса Планка (Max Planck), утверждают, что не видят противоречий между верой и научными знаниями. Если обратить внимание на цели, которые ставят перед собой и религия, и наука (познание основ мироздания и сути человека), а также подойти к этим высказываниям с точки зрения эволюции религиозных взглядов (от многобожия к вере в единого Бога, характерной для современных мировых религий), то в каком-то смысле они правы.

Кроме того, масштаб конфликта между религией и наукой сильно преувеличен. Несмотря на то, что американцы славятся своей религиозностью, опросы общественного мнения в США показывают, что большинство ученых не считают себя верующими. Однако дело даже не в непримиримости религиозных и научных представлений, а в том, что религий много и между ними существуют разногласия (не говоря уже о распрах и войнах), а наука едина. Именно это противоречие никто не пытается или не может преодолеть.

Как писал Альберт Эйнштейн, быть ученым — значит иметь силу духа, чтобы продолжать работу, несмотря на разочарования и одино-



Наука и религия будут спокойно сосуществовать, если ни одна из этих сфер духовной деятельности не попытается присвоить функции другой

чество, и порой именно вера в Бога может дать эту силу. Несомненно, научные открытия противоречат некоторым догматам церкви. Космология, геология и основанная на идеях дарвинизма биология полностью опровергают буквальное толкование мифов о сотворении мира. Тем не менее, ниспровержение религии не входит в задачи науки: проводя исследования, ученые имеют дело с тем, что можно изучить, измерить и подтвердить экспериментально. Вера же не требует никаких доказательств. Об этом писал еще Квинт Тертуллиан, богослов, живший в Карфагене во II–III вв. н.э.: *Credo quia absurdum* («Верую, ибо абсурдно»).

Какими бы искренними ни были заявления ученых о религиозных убеждениях, скорее всего, они стремятся примирить свои знания

о бесстрастной Вселенной с эмоциональной верой в более значительный замысел. Такая потребность может быть вызвана стремлением противостоять господствующим в большинстве современных обществ тенденциям к деконструкции любых серьезных построений, в том числе и в области морали. Поиск вечных истин, обращение к религии, как, впрочем, и увлечение мистическими обрядами, всевозможными колдунами, экстрасенсами и лженаучными теориями, отражают моральный кризис мирового сообщества людей. В эпоху демографической революции, которую переживает человечество, масштаб социальных изменений стал столь значительным, что ни отдельная личность, ни общество в целом не успевают приспосабливаться к темпам перемен миропорядка, что приводит к потере традиционных нравственных ориентиров.

Что же касается «противостояния» религии и науки, на самом деле оно связано лишь с расхождением между различными системами убеждений и нравственных принципов, когда часть плюралистического общества должна ограничивать действия тех, кто придерживается иных ценностей. Поэтому следует уделять внимание не иллюзорному водоразделу между наукой и религией, а политической системе, которая пытается манипулировать как той, так и другой, и при этом слишком далека от решения реальных проблем. ■

Искусственные элементы ■ Право первого полета ■ Горящее судно

ДЕКАБРЬ 1956

101-Й ЭЛЕМЕНТ. «Вот уже час мы наблюдали за регистрирующей аппаратурой, подключенной к ионизационной камере. Близился рассвет, и ожидание казалось бесконечным. Но вдруг перо самописца метнулось к середине ленты и тут же вернулось назад, оставив ровную красную линию — след импульса ионизации, в 10 раз более мощного, чем от альфа-частицы. За несколько дней тестовых прогонов естественный фон излучения не спровоцировал ни одного подобного импульса. Вероятнее всего, это был сигнал долгожданного расщепления. Бесменная вахта продолжалась. Примерно через час на ленте появился еще один такой же импульс. Теперь не оставалось никаких сомнений: мы зарегистрировали распад двух атомов 101-го элемента, пополнившего таблицу Менделеева», — Альберт Гиорсо и Гленн Сиборг. (Прим. ред.: в 1951 г. Сиборг получил Нобелевскую премию по химии.)

ФЛЕКСАГОНЫ. «Математика многим обязана играм, а игры — математике. В последнее время лучшие умы человечества увлечены головоломкой из бумажных полосок, которую придумал британский студент-математик из Принстонского университета. А ведь все началось с того, что листы английских и американских тетрадей отличаются по размеру», — Мартин Гарднер.

ДЕКАБРЬ 1906

ПЕРВЫЙ ПОЛЕТ. Братья Райт из Дэйтона, штат Огайо, на удивление неохотно сообщают о своем эпохальном изобретении — первом в мире летательном аппарате. Об их выдающихся достижениях долгое время почти ничего не было известно, и многие всерьез усомнились в существовании машины, которую изобретатели упорно не хотели продемонстрировать публично. Редакция *Scientific American* решила обратиться за разъяснениями к 17 свидетелям, наблюдавшим экспериментальные полеты собственными глазами. Письма, полученные от этих уважаемых людей, положили конец любым сомнениям относительно существования удивительного изобретения. К сожалению, мировое авиационное сообщество не придало большого значения свидетельствам опрошенных нами очевидцев. Поэтому когда Альберто Сантос Дюмонт пролетел всего несколько сотен метров, в Европе его объявили человеком, совершившим первый успешный полет.

ГЛУБОКОВОДНЫЙ ПЕШЕХОД. Известный парижский инженер-гидролог М. де Плуви изобрел новый водолазный



Скафандр де Плуви открыл дорогу в царство Нептуна, 1906 г.

костюм. Удивительный скафандр сделан из легкого и прочного металла, а стыки и сочленения его деталей выполнены из прессованной кожи и резины. Воздух поступает к ныряльщику не с поверхности, а из регенерационной камеры, в которой специальные химические вещества обогащают кислородом воздух, выдыхаемый подводником. Де Плуви лично опробовал новый скафандр, погрузившись в нем на глубину 90 м.

ДЕКАБРЬ 1856

ЭФИРНАЯ ПРОБЛЕМА. В южно-американском порту Байа сгорел пароход *La France*, двигатель которого работал на водно-эфирной смеси. Когда судно оказалось в жарком климате, эфир быстро испарился из резервуаров, воспламенился от случайной искры и сжег пароход. Чрезвычайно глупо было отправлять корабль с эфиром, который кипит при 35 °С, к берегам залива, где температура воды часто достигает 37 °С.

Тематика статей номера, как всегда, широка и разнообразна.

28 ноября исполнилось 100 лет со дня рождения Дмитрия Сергеевича Лихачева. Уходящий в историю 2006 год был объявлен в России «Годом гуманитарных наук, культуры и образования — годом академика Лихачева».

Крупнейший знаток древнерусской литературы, Д.С. Лихачев не меньше сделал, работая над анализом ее истории, всего культурного пласта, выступая при этом с позиций собственной исторической концепции. Именно культура, по глубокому убеждению академика, составляет смысл и главную ценность существования человечества — как народов, малых этносов, так и государств. И на индивидуальном, личностном уровне смысл жизни, по Лихачеву, также обретается в культурном контексте человеческой жизнедеятельности. В этой связи ясна обеспокоенность академика Лихачева по поводу отсутствия в нашей стране государственной культурной программы.

Ст. «Академик Лихачев: взгляд из XXI века».

В преддверии 100-летия со дня рождения другого выдающегося представителя мировой науки, крупнейшего ученого-биохимика, одного из основоположников космической биологии, академика Нораира Мартиросовича Сисакяна, «Наука и жизнь» обратилась к его лекции «На путях к населенному космосу», прочитанной в 1965 году на конференции ЮНЕСКО в Париже. Лекции, удивительно свежо и злободневно звучащей и в наши дни. Ведь, как ни странно, споры о том, каким образом должны идти космические исследования — ежель вообще таковые сегодня нам нужны, — набирают обороты. Аргументация в пользу безоговорочного освоения космоса на основе, в первую очередь, пилотируемых полетов, звучащая из уст авторитетнейшего специалиста и одновременно ученого широчайшего дисциплинарного спектра, не имеет срока давности. Прошедшие десятилетия и фактические достижения в исследовании Вселенной лишь доказывают его правоту.

Ст. «На путях к населенному космосу».

Кровавый вторник 11 сентября 2001 года обозначил начало нового периода в истории терроризма — периода террористических (и антитеррористических) войн, в которых друг другу противостоят не только значительные человеческие, материальные, финансовые, информационные ресурсы, но и идеологические. Мишенью террористов становятся уже не отдельные личности, а целые страны.

Порой кажется, что времена терроризма второй половины XIX века, который нередко называли «романтическим», «идейным» терроризмом, безвозвратно канули в Лету. Но нет — старое и новое сосуществуют и питают друг друга. Пожалуй, именно в тех первых, «классических» терактах наиболее четко проявилась сущность терроризма как универсального вневременного явления.

Ст. «Еще раз о деле Засулич и либеральном обществе. Как благословили терроризм».

«Все империи смертны, но... Но отчего-то падение великих империй отзывается в человеческих душах камертоном высокой трагедии и возникает странное ощущение... Ощущение непонятной утраты. Порой оно появляется, даже если человек в этой империи никогда не жил. (Или даже был ее прямым врагом!) И особенно трогает душу Древний Рим. Иначе чем объяснить, что сотни неравнодушных книг и десятки кинофильмов посвящают Риму... Что исследователи придумали массу гипотез для объяснения причин заката этой великой цивилизации, без которой наш сегодняшний мир был бы, наверное, совсем-совсем другим...»

Ст. «Осколки» из кн. «Судьба цивилизатора. Теория и практика гибели империй».

Остеопороз иногда называют «бездомной» эпидемией: пока перелом не случится, больной не ощущает себя больным. Люди зачастую даже не подозревают, что у них произошли изменения в костной ткани, о своей болезни знают менее 1% из страдающих остеопорозом. Не всегда вспоминают об остеопорозе и врачи. Поэтому при жалобах на боли в спине больным назначают лечение, как при дегенеративных заболеваниях позвоночника, например мануальную терапию, в случае остеопороза только усугубляет течение заболевания. Сейчас у врачей есть возможность точно поставить диагноз. По мнению директора Института ревматологии РАМН Е.Л. Насонова, надо не только совершенствовать диагностику, но и менять идеологию профилактики остеопороза, относиться к нему более серьезно.

Ст. «Болезнь без симптомов».



ISSN 0028-1263

НАУКА И ЖИЗНЬ

12
2006

● Неспособных детей не бывает, но встреча с хорошим учителем — едва ли не главное на жизненном пути
● Пионер космической биологии академик Н. М. Сисакян считал, что «закрыть космос перед естественными науками означало бы отрубить крылья птице, которая стремится ввысь и живет только в состоянии полета»
● Заменяв в городской новогодней иллюминации лампочки на светодиоды, можно сэкономить 85% электроэнергии
● Не мистика, но сила: классическая музыка вдохновляет, лечит, повышает производительность труда
● Традиционно «на закуску»: немного о конструировании влочных игрушек и приготовлении праздничных блюд. Счастливого Нового года!



Без мясорубки не обходится ни одна кухня. Впрочем, название этого бытового прибора в применении к современным электрическим моделям не отражает всех его возможностей. Электрическая мясорубка теперь не только способна превратить мясо в фарш, но и поможет приготовить домашнюю колбасу, разнообразные пюре, густые соусы, ровно и красиво нашинковать овощи или фрукты для салата, вылить из теста фигурные печеня, натереть сыр, измельчить лед для коктейлей или орехи, быстро отжать сок из цитрусовых.

Ст. «Мясорубка — почти комбайн».

Знакомство с любым новым местом — всегда открытие, тем более с таким, как Армения. Снежные горы и скалистые ущелья, девственные леса

и альпийские луга, виноградники на склонах-террасах сменяют друг друга и создают неповторимую по красоте картину. И на фоне этой природной декорации возникают величественные каменные храмы — памятники тысячелетней христианской истории. Трудно найти другие места, где любой маршрут приведет вас к замечательным памятникам.

Ст. «Неповторимый вкус Армении».

Глядя на свое отражение в зеркале, невольно задаешься вопросом: почему зеркало меняет местами левое и правое, а верх и низ — нет? Попробуем разобраться в этом, хотя, как принято говорить, «вопрос не простой»...

Ст. «Зеркальный образ».

Электронная версия ISSN 1683-9528 представлена в сети Интернет, ежемесячно регистрируется более 60 000 обращений.

Адрес редакции: 101990, Москва, Центр, ул. Мясницкая, д. 24. Тел. (495) 624-1835, факс (495) 625-0590.

Служба распространения и связей с общественностью: Ю.А. Сигорская — (495) 621-9255. Рекламная служба: (495) 628-5965.

<http://www.nkj.ru> и www.nauka-i-zizn.ru, e-mail: mail@nauka.relis.ru.

Продолжается подписка на журнал «Наука и жизнь». Подписные индексы: 70601, 79179, 99349, 99469, 34174.

ОБУЗДАТЬ **Углерод**

Первый американский проект по захоронению диоксида углерода дает пока неоднозначные результаты

В самом сердце Техаса, к востоку от Хьюстона, реализуется исследовательский проект *Frio Formation*, призванный решить проблему хранения диоксида углерода. Ученые надеются, что улавливание и изоляция углекислого газа под землей помогут бороться с глобальным потеплением без причинения вреда

окружающей среде. Как считает Джулио Фридманн (Julio Friedmann), геолог из Ливерморской национальной лаборатории им. Лоуренса, таким образом можно нейтрализовать до 50 млрд. тонн диоксида углерода ежегодно.

Песчаник с пустотами, заполненными соленой водой, — это лучший (и широко распространенный) кандидат на роль «резервуара» для диоксида углерода. Но специалистам необходимо больше информации об этих почвах. «Уже около 30 лет нефтяные компании практикуют впрыскивание двуокиси углерода — это помогает получать нефть из истощенных месторождений, — говорит Салли Бенсон (Sally Benson) из Национальной лаборатории им. Лоуренса в Беркли. — Способ нам известен, но пока неясно, как закачивать под землю большие количества углекислого

газа и как хранить его там в течение длительного времени».

Коммерческие прецеденты такого рода существуют: около 10 лет назад на оффшорной газовой платформе *Sleipner* в Северном море норвежская компания *Statoil* начала ежегодно закачивать 1 млн. т диоксида углерода в толстый водоносный пласт. Но такие проекты, как *Sleipner*, совершенно не приспособлены для научных изысканий, отмечает геолог Сюзан Говорка (Susan D. Novorka) из Техасского университета в Остине. Чтобы усовершенствовать экспериментальные модели процессов, происходящих под землей, исследователи должны непосредственно отслеживать работы по впрыскиванию, а в рамках коммерческих разработок для этого вряд ли возможно выделить время и создать условия.

Вот зачем нужен проект *Frio Formation*. В 2004 г. возглавленная Говоркой программа, в которую было вложено \$6 млн., началась с того, что 3 тыс. т двуокиси углерода были сжаты до состояния сверхкритической жидкости, подогреты до 15 °C и закачаны на глубину 1,6 км в пласт песчаника толщиной 23 м. Трехмерное сейсмическое изображение и результаты других методов мониторинга показывают, что почти весь диоксид углерода, захороненный в *Frio*, задержался в песчанике или растворился в воде.

Кроме того, Говорка, Юсиф Карака (Yousif Kharaka), сотрудник Геологической службы США и их коллеги обнаружили, что углекислый газ повышает кислотность воды, которая, в свою очередь, разлагает некоторые минеральные вещества в породе, высвобождая кальцит и металлы, в основном, железо. Это может иметь как положительные, так и отрицательные последствия. С одной стороны, разложение части породы оставляет больше места



Похоронная команда: диоксид углерода в состоянии сверхкритической жидкости закачивается под землю на тестовом объекте *Frio Formation* в Техасе

для консервации диоксида углерода. С другой стороны, освобожденные металлы могут мигрировать на поверхность земли и стать причиной экологического бедствия. Некоторые водоносные горизонты содержат, например, мышьяк и уран — элементы, которые лучше не беспокоить вовсе.

Карака отмечает, что кислая соленая вода может разрушить цемент, используемый при установке оборудования для впрыскивания, поэтому необходимо использовать цемент, устойчивый к воздействию кислоты, и избегать старых брошенных скважин.

Данные проекта *Frio Formation* помогут безошибочно выбирать пригодные для захоронений места

и предоставить детальную информацию о том, как углекислый газ ведет себя в породе.

Вполне возможно, что Говорке и ее коллегам придется поторопиться: не за горами коммерциализация процесса. Япония уже объявила о планах захоронения 200 млн. т углекислого газа ежегодно вплоть до 2020 г. В следующем году нефтяной гигант *British Petroleum* намеревается начать неподалеку от Лос-Анджелеса строительство (бюджет — \$1 млрд.) фабрики по производству водорода из нефтяного кокса — побочного продукта нефтеочистных работ, — что потребует захоронения примерно 4 млн. т диоксида углерода в год.

Ребекка Реннер



На газовой платформе *Sleipner* в Северном море впервые применили технологию закачивания углекислого газа под землю. Пока исследователи не располагают данными, которые помогли бы разработать стратегию захоронения диоксида углерода

КРЕПКИЙ ОРЕШЕК

Американские каштаны когда-то составляли четверть восточных лесов США. Четыре миллиарда деревьев росли от штата Мэн до Флориды. Но в начале XX в. века практически все они погибли от случайно завезенного в США грибка. Однако недавно биолог Натан Клаус (Nathan Claus) из министерства природных ресурсов Джорджии обнаружил

полдюжины американских каштанов, некоторые — высотой более 120 м, недалеко от загородной резиденции президента Рузвельта на юге Аппалачей. «Иногда в наших лесах можно найти отдельные американские каштаны, но такая большая роща — единственная в своем роде», — комментирует Клаус. Он обращает внимание на то, что грибок-убийца,

вероятно, не любит сухой воздух скалистых склонов. Это и позволило деревьям выжить.

Фонд американских каштанов объявил о намерении скрестить деревья с устойчивыми к болезням китайскими каштанами в надежде получить в итоге более выносливый гибрид.

Чарльз Чой

ФИТОПЛАНКТОН ГИБНЕТ ЗА МЕТАЛЛ

Долгое время оставалось загадкой, почему в некоторых частях Тихого океана фитопланктон растет очень медленно. Ведь глубинные воды, поднимаясь на поверхность, обеспечивают эти микроскопические растения достаточным количеством углекислого газа. Оказалось, что у фитопланктона в водах с пониженным содержанием железа фотосинтез идет гораздо медленней, чем у его

«собратьев» в богатых железом водах, однако, и те, и другие растения производят одинаковое количество хлорофилла. «Когда маленьким обитателям океана не хватает железа, они вырабатывают больше хлорофилла, чем нужно», — говорит исследователь Майкл Беренфельд (Michael Behrenfeld) из Университета штата Орегон. Если условия окружающей среды изменятся, то планктон подрастет.

Ранее исследования океанского фотосинтеза основывались на данных со спутников, которые измеряли только уровень хлорофилла. Поэтому истинная причина явления оставалась непонятной. Недостаток железа в воде означает, что уровень абсорбции углерода Мировым океаном превышает допустимую норму на 2–4%.

Дж.Р. Минкел

ЕЩЕ РАЗ О ДЕМОГРАФИЧЕСКОМ кризисе

Проблеме депопуляции была посвящена Всероссийская научная конференция «Национальная идентичность России и демографический кризис»

В 1990-х гг. правительство отошло от управления демографическими процессами и их необходимого стимулирования. Уже тогда было известно, что рождаемость, смертность и продолжительность жизни определяются не только состоянием общества, но и качеством государственной политики в этой сфере. В связи с необходимостью решения проблемы в октябре 2006 г. Отделение общественных наук РАН, Институт государства и права РАН, Институт экономики РАН, ИНИОН РАН, Центр национальной славы России и Центр проблемного анализа и государственно-управленческого проектирования провели Всероссийскую научную конференцию «Национальная идентичность России и демографический кризис» под председательством научного руководителя ЦПАиГУП, президента ОАО «РЖД» В.И. Якунина. Во вступительном слове он отметил, что настало время перейти к активному

управлению экономическим ростом России, что соответствует основным положениям послания Президента РФ Федеральному собранию и требует реализации конкретных рекомендаций научного сообщества.

С.П. Капица раскрыл связь происходящего в России с общемировыми проблемами. В частности, он сказал, что общая динамика роста населения Земли показывает: время его постоянного увеличения прошло, начинается период ограниченного воспроизводства. Это величайшее по значимости событие в истории человечества с момента его появления, затрагивающее все страны. До 2000 г. население Земли росло с постоянно увеличивающейся скоростью, и многим казалось, что демографический взрыв, исчерпание ресурсов и резервов природы приведут человечество к катастрофе. Однако в третьем тысячелетии скорость роста начала уменьшаться,

и теперь расчеты демографов показывают, что в самом ближайшем будущем он практически прекратится. Население планеты стабилизируется на уровне 10–12 млрд.

Страны Европы первыми прошли через демографический переход, теперь очередь за Россией, в которой сейчас наблюдается спад рождаемости. Динамика современного общества провоцирует стрессовую обстановку. Это происходит на уровне отдельного человека, когда распадаются связи, ведущие к образованию и стабильности семьи. Одним из следствий стало резкое сокращение числа детей на каждую женщину. Таким образом, все самые богатые и экономически развитые страны, которые на 30–50 лет раньше прошли через демографический переход, оказались несостоятельными в своей главной функции — воспроизводстве населения. Этому способствует и увеличение времени получения образования, и либеральная система ценностей, и распад традиционных идеологий в современном мире.

В обсуждении докладов участвовали представители научных центров Москвы, Санкт-Петербурга, Нижнего Новгорода, Иркутска, Свердловска, Саратова, Архангельска, Оренбурга и других городов, а также зарубежные наблюдатели.

Общий вывод однозначен — для преодоления депопуляции необходима социально ориентированная политика и активная управленческая работа по воздействию на главные факторы и причины демографического кризиса.

Только системное понимание всей совокупности процессов, достигнутое в междисциплинарных исследованиях, станет первым шагом к предвидению и активному управлению будущим, в котором определяющая роль будет отведена культуре и науке.

Сергей Федоров



Энергия для больших городов

Поиск альтернативных путей обеспечения энергетических потребностей общества, рациональное использование электроэнергии, снижение негативного воздействия автотранспорта и объектов энергетики на городскую окружающую среду — темы, обсуждавшиеся на Международной конференции «Альтернативные источники энергии для больших городов», прошедшей осенью текущего года в Москве. В мероприятии участвовали более 850 делегатов — представители федеральной власти, ученые, руководители ведущих нефтеперерабатывающих и нефтехимических компаний и мировых автоконцернов.

В рамках конференции прошли заседания круглых столов по таким актуальным темам, как «Диметилвый эфир — производство и применение», «Водородная энергетика», «Газообразное моторное топливо. Комбинированные энергетические установки». Участники конференции отмечали необходимость использования в городах видов топлива с улучшенными экологическими характеристиками. Выступивший на открытии конференции мэр г. Москвы Ю.М. Лужков также подчеркнул актуальность поиска и массового внедрения альтернативных видов топлива для мегапо-



лиса. Согласно решению столичных властей, с 2007 г. два московских автопарка будут полностью переведены на потребление сжиженного природного газа.

Ирина Прошкина

ПО НЕСЧАСТЬЮ НЕ ТОВАРИЩИ



Карибские лангусты держатся подальше от инфицированных собратьев, чтоб избежать заражения

В наши дни растущей угрозы пандемий можно позавидовать способности карибских лангустов или колочих омаров (*Panulirus argus*) избегать больных соплеменников. Биологи заметили, что у этих ракообразных, которые вообще-то представляют собой типичный пример «общественных животных», особь, инфицированная смертельным, весьма контагиозным вирусом RaVI, обычно вскоре оказывается

изолированной от остальных. Чтобы определить, насколько целенаправленно такое поведение лангустов, исследователи устроили в резервуаре с соленой водой два убежища и запускали в него двух лангустов. Если один из них был уже заражен, он равнодушно относился к состоянию здоровья товарища по заключению и стремился разделить с ним жилище. Но здоровые ракообразные явно предпочитали общество друг друга, а от захворавшего удалялись в отдельное убежище. Почти 70% здоровых лангустов безошибочно отвергали носителей вируса в течение первых четырех недель протекания заболевания, когда признаки болезни еще не проявляются.

Это первый случай обнаружения в дикой природе животных, склонных к коллективному образу жизни, у которых тем не менее инстинкт самосохранения доминирует над стадным инстинктом.

Дж.Р. Минкел

УМ С СЕРДЦЕМ В ЛАДУ

Примерно 5% пациентов, перенесших инсульт, вскоре после него начинают страдать от сердечных приступов, даже если ранее не испытывали никаких проблем с сердцем. Недавно исследователи обнаружили участок мозга, который, будучи поражен инсультом, в 15 раз повышает риск нарушения функций сердечной мышцы. Работники Центрального госпиталя Массачусетса проанализировали состояние 50 пациентов после инсульта, случившегося вследствие закупорки артерий, у которых наблюдались и симптомы расстройства деятельности сердечной мышцы. По данным магнитного резонанса, очагом оказалась правая инсультная область, участок в глубине мозга, связанный с частью нервной системы, отвечающей за стрессовые реакции. Открытие поможет уберечь жертв инсультного инсульта от проблем с сердцем путем протективной терапии. Дальнейшие исследования могут дать ответ и на вопрос, какие из пациентов, перенесших инсульт, наиболее склонны к развитию пневмонии или появлению перебоев сердечного ритма.

Чарлз Чой

ВАМ И НЕ СНИЛОСЬ

В США ВОЗОБНОВЛЯЮТСЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГАЛЛЮЦИНОГЕНОВ

Стоп-кадр: мужчина среднего возраста заходит в уютный кабинет, садится на кушетку и глотает таблетку. Затем врач надевает ему на глаза маску, на голову наушники и предлагает лечь на спину. В наушниках раздается спокойная классическая музыка, и испытуемый на 8 часов отправляется в увлекательнейшее путешествие по лабиринтам собственного сознания, инициированное псилоцибином (одним из активных ингредиентов «волшебных грибов»).

В недавно проведенном исследовании, посвященном изучению фармакологического и психического воздействию псилоцибина, участвовали 36 человек (испытуемые контрольной группы принимали психомоторный стимулятор риталин). Псилоцибин вызывал мистические переживания у 22 испытуемых

добровольцев, которые охарактеризовали их как одно из наиболее важных событий своей жизни, сравнив по значимости с рождением первого ребенка или смертью родителей. Впоследствии эти люди продолжали отмечать позитивные сдвиги в жизненных установках и поведении, как рассказывает руководитель проекта Ролэнд Гриффитс (Roland Griffiths) из Университета Джонса Хопкинса: пережитый во время эксперимента опыт продолжает представлять для них большую личную и духовную значимость (см.: Чой Ч. *Правильные грибочки // ВМН, № 10, 2006*).

Чарлз Гроб (Charles Grob) из Медицинского центра Лос-анджелесского университетского колледжа изучал возможность использования псилоцибина для снятия тревоги у неизлечимых раковых больных. А Франциско Морено (Francisco Moreno) из Аризонского университета испытывал его способность облегчать симптомы навязчивых состояний. Начались эксперименты и с другими галлюциногенами (например, с метилendioксиметамфетаминном (МДМА), или экстази).

По сути дела эти исследования возобновились в 1990 г., когда после двадцатилетнего моратория Управление по контролю над качеством продуктов и медикаментов (FDA) одобрило изучение возможного терапевтического действия диметилтриптамина — мощного и быстро действующего галлюциногена. По словам Гроба, FDA изъявило желание субсидировать эту работу, т.к. «прошло достаточно много времени с тех пор, как утихла шумиха, связанная с проведением подобных исследований».

Поскольку псилоцибин и другие галлюциногены являются запрещенными препаратами, попытки использовать их в терапевтической практике могут закончиться неудачей. Но даже наблюдатели, не входящие в узкий круг испытателей галлюциногенов, указывают на качественные различия между этими соединениями. «Ситуация с изучением марихуаны в точности повторяет перипетии, сопровождавшие в прошлом исследования галлюциногенных препаратов: в обоих случаях эти испытания не были обеспечены надежными контрольными экспериментами», — отмечает руководитель отдела по изучению злоупотребления наркотиками Колумбийского университета Герберт Клебер (Herbert Kleber).

Действительно, современные ученые, занимающиеся психоделиками, прилагают все усилия, чтобы обеспечить свои исследования грамотным, надежным контролем и сфокусировать внимание на воздействии этих препаратов на людей. «Животным легко ввести все наркотики, которыми злоупотребляют люди, но ведь они не могут сами инъектировать себе псилоцибин, ЛСД и прочие галлюциногены, — объясняет бывший директор Национального института по профилактике злоупотреблений лекарственными средствами Чарлз Шастер (Charles



«Волшебные грибы», вырабатывающие псилоцибин — галлюциногенное вещество, интенсивно изучаемое в настоящее время в некоторых фармакологических лабораториях

Shuster) из Уэйнского государственного университета. — Это сугубо человеческий феномен». Вот почему подобные исследования чреватy серьезной опасностью: как оказалось, МДМА вызывает у животных ряд неблагоприятных эффектов, а псилоцибин может инициировать у восприимчивых людей шизофрению и некоторые другие психические заболевания. «Несмотря на все меры предосторожности, 30% участников наших экспериментов испытывали сильное чувство страха. А некоторые из них обнаруживали и признаки паранойи, — отмечает Гриффитс. — Нетрудно понять, что эти расстройства могут усугубиться и привести к опасным поведенческим нарушениям».

Не исключено, однако, что в надлежащей обстановке, под внимательным наблюдением врача псилоцибин и другие психоделики могут оказаться эффективными для облегчения страха у неизлечимых больных и даже лечения наркотической зависимости. В некоторых областях медицины псилоцибин уже раскрыл свой терапевтический потенциал. Так, исследователи из Больницы МакЛина в г. Белмонт (штат Массачусетс) обнаружили, что этот препарат снимает приступы кластерных головных болей. А согласно данным одной из работ, недавно проведенной в Национальном институте психического здоровья, галлюциногенный транквилизатор кетамин быстро и эффективно облегчал

симптомы депрессии у пациентов, резистентных к другим лекарственным препаратам.

Вполне возможно, что галлюциногенные вещества помогут ученым глубже понять некоторые механизмы работы головного мозга. «Насколько мне известно, из всех классов психоактивных препаратов лишь галлюциногены не нашли пока медицинского применения, — говорит Дэвид Николс (David Nichols) из Университета Пурду, основатель Института Хеффтера, горячо поддерживающий испытания психоделиков. — Давно следовало использовать их в качестве инструментов для изучения поведения и мозговой деятельности».

Дэвид Биелло

НРАВСТВЕННОЕ ОЧИЩЕНИЕ?

После убийства Дункана леди Макбет отчаянно пыталась смыть с рук кровь. Подвергнув этот «эффект леди Макбет» экспериментальной проверке, исследователи из Северо-западного университета обнаружили, что мытье рук и впрямь помогает некоторым людям успокаивать собственную совесть. Испытуемым-добровольцам предлагали вспомнить и описать один из совершенных в жизни нравственных и один из безнравственных поступков. Затем им предлагали шесть фрагментов слов, три из которых (например, W _ _ H) можно было превратить в слова, связанные или не связанные по смыслу с очищением (например, WASH — «мыть» или WISH — «желание», соответственно). Испытуемые, описавшие безнравственный поступок, чаще составляли слова «очистительного» значения. Потребность в нравственном очищении влияла и на поведение участников эксперимента. Среди тех, кто вспоминал старые грехи и не имел возможности «смыть» их, 74% позднее изъявляли желание участвовать



Чище руки — чище совесть

в последующих аналогичных исследованиях, а среди испытуемых, «очистившихся» от грехов, таких желающих был всего 41%.

Дэвид Биелло

КОРТИЗОН ПРОТИВ ОДИНОЧЕСТВА

Ложась спать с чувством тоски и одиночества, утром человек переживает гормональное потрясение. Это обусловлено увеличением уровня кортизола — гормона стресса, который часто связывают с депрессией. Но геронтологи обнаружили, что именно кортизол способен заставить пожилых людей покинуть постель. В течение дня уровень этого гормона в крови изменяется. Обычно, когда человек просыпается, он достаточно низок, однако через полчаса резко повышается, достигая дневного максимума, затем постепенно понижается, к полуночи доходя до минимума. Это общая закономерность, но, по мнению ученых, на выработку данного гормона могут влиять и события повседневной жизни. У пожилых людей, ложившихся спать с чувством одиночества и подавленности, утром его уровень был значительно выше, чем у пребывавших в спокойном состоянии. Такой гормональный взрыв побуждает одиноких людей вставать, выходить в мир и общаться. А люди, которые никогда не испытывали утренних кортизоловых встрясок, чаще чувствуют себя уставшими в течение дня. Таким образом, сама человеческая природа не терпит одиночества и дает нам оружие для борьбы с ним.

Кира Кертин

СКОРАЯ ПОМОЩЬ КИШЕЧНИКУ

Бактерия перехватывает «ядовитые пули», нацеленные на клетки человека

Отправляясь в тропические страны, мы опасаемся, что подхватим там необычную для нас кишечную инфекцию. Как полагает один австралийский исследователь, лучшей защитой от местных патогенов служат модифицированные кишечные

ПУГАЮЩЕЕ СХОДСТВО

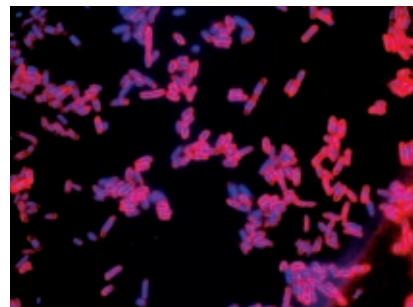
Опасения, что модифицированные бактериальные клетки, имитирующие клетки человека, могут провоцировать развитие аутоиммунного заболевания, не лишены оснований. На мысль об этом наводят случаи возникновения аутоиммунной реакции после некоторых инфекционных болезней. Пример тому — синдром Гийена-Барре, проявляющийся в мышечной дистрофии, обусловленной атакой антител на периферические нервы. При этом у 25% больных выявлены признаки перенесенного ранее инфекционного заболевания, вызванного бактерией *Campylobacter jejuni*. Клетки этого микроорганизма несут на своей поверхности рецепторы, сходные с таковыми на миелиновой оболочке нервных волокон человека. Антитела, выработанные в ответ на *C. jejuni*, направляют свое оружие и на соответствующие клетки человека. По мнению Томаса Ламонта (Thomas LaMont) из Гарвардской медицинской школы, на образование антител влияют факторы воспаления, которые вырабатываются во время инфекционного заболевания. Он полагает, что пассивный носитель соответствующих рецепторов, лишенный инфекционных свойств, не приведет к развитию аутоиммунитета.

бактерии *Escherichia coli*, которые способны связывать токсины, секретируемые другими бактериями.

Джеймс Пейтон (James C. Paton) из Аделаидского университета видоизменил клетки безвредного штамма *E. coli*, в результате чего на их поверхности появились рецепторы, сходные с рецепторами клеток выстилки желудка человека. Смысл процедуры состоял в том, чтобы токсины, которые синтезируются патогенными бактериями, связывались не с клетками выстилки кишечника, а с обычными обитающими в нем микроорганизмами. В последнем из вариантов клетки *E. coli* были снабжены человеческими рецепторами токсина, вырабатываемого холерным вибрионом. При этом количество токсина, адсорбируемого каждой бактериальной частицей, составляло 5% ее массы. В опытах *in vitro* модифицированные *E. coli* нейтрализовали 99,95% токсинов, смертельных для клеток человека. Когда 12 мышатам ввели модифицированные бактерии, а затем заразили их *Vibrio cholerae*, то 8 из них выжили, а все 12 контрольных животных, зараженных холерой без введения *E. coli*, погибли. Две трети экспериментальных мышей оставались в живых даже в том случае, когда «противоядие» вводили спустя четыре часа после заражения.

Пейтон получил также штамм *E. coli*, который связывал токсины, продуцируемые более агрессивными кишечными бактериями рода *Shigella*, а также бактериями, часто вызывающими диарею путешественников и диарею с летальным исходом у детей, проживающих в странах третьего мира. Пейтон надеется, что его «пробиотик» найдет применение и как недорогое лекарственное средство, и как профилактическая мера во время эпидемий.

Использование бактерий в качестве средства защиты организма



Модифицированные клетки *E. coli* (синий цвет) поглощают токсин (красный цвет), вырабатываемый возбудителем шигеллеза

человека от их же агрессивных «сородичей» имеет ряд преимуществ. Во-первых, нужные микроорганизмы легко нарастить в любом количестве. Во-вторых, их можно принимать вместе с жидкостью, которую больной употребляет, чтобы избежать обезвоживания. И, в-третьих, поскольку нейтрализуется только токсин, вырабатываемый патогеном, а сам патоген никакому воздействию не подвергается, отсутствует риск развития резистентности.

Идея использования модифицированных кишечных бактерий для поглощения токсинов впервые пришла в голову Пейтону в середине 1995 г. В это время в Аделаиде разразилась эпидемия шигеллеза, и бактериологи апробировали свои методы ранней диагностики заболевания. «Мы научились диагностировать инфекцию на самых ранних стадиях, но ничего не могли сделать, чтобы спасти больных», — вспоминает Пейтон. Спустя неделю у них развивалась острая почечная недостаточность с гемолитической анемией и тромбоцитопенией (синдром Гассера), обусловленная разрушением почечной ткани. И тогда исследователь решил создать модифицированные *E. coli*, способные поглощать токсины.

Для конструирования бактериолюбительницы ядов Пейтон встроил в обычный штамм *E. coli* гены двух других типов бактерий. В результате

у гибрида появились рецепторы, похожие на поверхностные рецепторы клеток выстилки кишечника человека. Второй созданный им гибрид охотно поглощал токсин, вырабатываемый возбудителем шигеллеза. Все его поверхностные рецепторы были почти точными копиями соответствующих рецепторов клеток человека, и каждая гибридная клетка поглощала яд в количестве, соответствующем 15% ее массы.

Сейчас Пейтон обеспокоен тем, что на его гибридные микробы могут быть распространены ограничения, действующие в отношении трансгенных организмов. Решением проблемы может стать использование убитых бактерий. «Со смертью клетки ее рецепторы не утрачивают своих свойств. Они работают немного хуже, чем при жизни хозяина, зато последний уже не является генетически модифицированным организмом, потому что вообще перестает существовать».

Кристина Соарес

дитя люси

Палеоантропологи обнаружили окаменелые останки детеныша афарского австралопитека (*Australopithecus afarensis*) — древнейшего предшественника человека, прославившегося благодаря ископаемому скелету знаменитой Люси. Частично сохранившийся скелет детеныша возрастом 3,3 млн. лет был найден в местечке Дикика (Эфиопия) всего в нескольких километрах от места находки самой Люси. Останки принадлежали трехлетней самке австралопитека. Палеонтологи нашли кости, которые никогда ранее не встречались в столь древних образцах австралопитека, — лопаточные и маленькую подъязычную кости. Изучение найденных останков еще раз подтвердило предположение о том, что хотя афарский



Пополнение в семействе: обнаруженный в Эфиопии ископаемый череп малыша афарского австралопитека

австралопитек был способен к прямохождению, он проводил много времени на деревьях, где, возможно, добывал пропитание или ночевал.

Кейт Вонг

Научно-популярный журнал
«НАУКА из первых рук»
(SCIENCE First Hand — версия журнала на англ. языке)
Выходит 6 раз в год



Адрес редакции: 630090, г. Новосибирск,
пр. Ак. Коптюга, 4; тел. +7(383) 333-26-98, 335-63-61
www.ScienceFistHand.ru, www.SibScienceNews.org

Читайте в журнале «НАУКА из первых рук» № 5, 2006 г.:

Первый после Первой мировой

После почти столетнего перерыва возобновляет работу Всероссийский археологический съезд. О 300-летней истории отечественной археологии — по малозвестным документальным свидетельствам, сохранившимся в архивах и музеях

В ПОИСКАХ СОКРОВИЩА БОГАТЫРЯ ХАРА-ЦЗЯНЬ-ЦЗЮНЬ

Среди неизданных трудов выдающегося археолога С.И. Руденко — рукопись о Мертвом городе Тангутского царства, скрытом в безводных песках Гоби

ЗОЛОТО КОЧЕВНИКОВ

О происхождении уникальных предметов из золотой Сибирской коллекции Петра I — первого российского собрания древностей

А.А. КОВАЛЬСКИЙ. НА БРАННОМ ПОЛЕ ЦЕПНЫХ РЕАКЦИЙ

Первый Атомный проект: пятьдесят лет под грифом «секретно»

ВОСЬМИНОГИЕ ВАМПИРЫ

За одну «кровоавую» трапезу самка таежного клеща — переносчика почти трех десятков инфекций — может увеличить свой вес в 100 раз!

НА ПРИЦЕЛЕ У ЭНЦЕФАЛИТА

Новосибирские ученые разрабатывают вакцины против энцефалита с использованием гено-инженерной ДНК

НОВЫЙ ОБЛИК ОПТИКИ

В основе искусственного хрусталика глаза и зеркала будущих космических телескопов лежит красивое физическое явление, открытое Леонардо да Винчи

СТРАНСТВИЯ ПОД СОЗВЕЗДИЯМИ СКОРПИОНА

Лишь три процента от полутора тысяч известных видов скорпионов смертельно ядовиты для человека

Углерод выводит на чистую воду

Что общего у велосипедиста Флойда Ландиса с морскими микроорганизмами?

Стремясь проникнуть в тайны жизни ныне почивших морских микроорганизмов, химик Джон Хайес (John Hayes) разработал метод исследования атомов углерода в природном иле. Мог ли он представить, что 15 лет спустя его открытие будет использовано в допинг-контроле?

Исследователи из Олимпийской лаборатории Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе (UCLA) применили методику Хайеса для обнаружения атомов углерода в моче легкоатлетов. Так был создан первый анализ на синтетический тестостерон, популярный анаболик-стероид, запрещенный

большинством спортивных организаций с 1970-х гг. Новый допинг-контроль, известный как тест на соотношение изотопов углерода (*carbon isotope ratio, CIR*), сыграл определяющую роль в некоторых нашумевших случаях. В частности, именно из-за него спринтеру Джастину Гатлину угрожают дисквалификация и аннулирование мирового рекорда на дистанции 100 м, а велосипедисту Флойду Ландису — лишение титула победителя «Тур де Франс — 2006».

До появления *CIR* в конце 1990-х гг. результат анализа мочи показывал только повышенное содержание тестостерона по отношению к эпитестостерону, его природному изомеру. Но, как объясняет директор Олимпийской лаборатории UCLA Дон Катлин (Don H. Catlin), этот показатель (так называемое соотношение *T/E*) у некоторых людей повышен (или колеблется) от природы, и для предъявления спортсмену обвинения в использовании допинга необходимо провести несколько проб.

Причем если результаты более поздних анализов будут такими же, как предыдущие, официальные лица будут вынуждены снять обвинение.

Антидопинговым комиссиям был необходим метод, позволяющий отличать искусственный тестостерон от естественного. Катлин и его коллеги должны были найти своеобразный химический «отпечаток пальца» гормона, который помог бы отследить его источник, так же как Хайес смог определить, поглощали ли его подопечные микроорганизмы диоксид углерода из воды или из газов, поднимающихся со дна.

Фармацевтические компании производят препараты с использованием молекул тестостерона, которые сконструированы на основе атомов углерода, полученных из дикого батата или соевых бобов. В этих теплолюбивых растениях содержится гораздо меньше углерода-13, чем в более распространенных культурах, составляющих основу рациона человека, от яблок до зерна, которым питалась корова, прежде чем стать гамбургером. Когда анализ мочи спортсмена показывает наличие бедного углеродом-13 тестостерона (как и было в случаях Гатлина и Ландиса), это свидетельствует об употреблении допинга.

Джон Хайес, ныне работающий в Вудсхоллском океанографическом институте, охарактеризовал тест *CIR* как «пуленепробиваемый». Против него бессильны все контраргументы, выдвигаемые спортсменами, обвиняемыми в использовании допинга.

Теперь, как отмечает Катлин, спортсмены дважды подумают, прежде чем принимать стероиды, пока производители допингов не найдут новый способ обойти правила. Народная мудрость подтверждается: человек есть то, что он ест.

Сара Симпсон



Тень подозрения: Флойд Ландис стартовал в «Тур де Франс — 2006» под номером 17. Он победил в трехнедельной гонке, но потерпел поражение во время допинг-контроля, который показал, что спортсмен, возможно, использовал синтетический тестостерон

сверхзвуковой ОХОТНИК-УБИЙЦА

Допустим, что разведывательная служба США получила непровержимую информацию о том, что некий лидер террористов в данный момент обедает в таком-то доме где-то в центральной Азии. Представим также, что особенности политической ситуации в регионе не допускают нанесения бомбового удара, а обед вряд ли продлится более двух часов, необходимых для того, чтобы поразить цель крылатой ракетой «Томагавк». Как быть в такой ситуации?

Поставщики оружия Пентагона надеются, что ответить на этот вопрос поможет усовершенствованный реактивный двигатель, который способен снизить время достижения крылатой ракетой цели до десятков минут. Такая система не позволит гипотетическому террористу дожить даже до десерта.

Проблемы, связанные с высокоомобильными целями, возникли во время первой иракской войны, когда союзники столкнулись с трудностями отслеживания и уничтожения мобильных ракетных установок SCUD, установленных на автомобилях.

Вооруженные силы других стран, включая Россию и Китай, имеют в своем арсенале сверхзвуковые ракеты с прямоточным воздушно-реактивным двигателем. Если сравнить газотурбинный и прямоточный двигатели, то окажется, что последний сжигает больше топлива, обладает меньшей дальностью полета, а также имеет узкий диапазон изменения тяги. К тому же, существующие сверхзвуковые ракеты дальнего действия с прямоточным двигателем нуждаются в блоке-ускорителе.

В свою очередь, исследовательское управление ВМС США предлагает разработать совместно с компаниями *Lockheed Martin* (отдел перспективных разработок) и *Rolls-Royce Liberty-Works* крылатую ракету

с газотурбинным двигателем, способную преодолеть тройной звуковой барьер. (При значительном превышении тройной скорости звука, а именно при скоростях выше 3675 км/час, разогрев турбины приводит к разрушению жизненно важных узлов аппарата.) По словам Крэга Джонстона (Craig Jonston), руководителя проекта компании *Lockheed Martin*, в рамках программы *RATTLRS (Revolutionary Approach to Time-Critical Long-Range Strike program)* — программа революционного подхода к дальнедействующим аппаратам быстрого реагирования) возможно создать крылатую ракету, более эффективную и гибкую в действии, чем ее предшественники, работавшие на прямоточных воздушно-реактивных двигателях. Новое оружие дальнего действия будет способно изменять свою летную конфигурацию в соответствии с выполняемой миссией. Например, после запуска с самолета, корабля или подводной лодки, ракета типа *RATTLRS*, достигнув цели, сможет выжидать подходящего для атаки момента. Ей под силу, например, увеличить дальность своего полета, перейдя в топливосберегающий сверхзвуковой режим, и доставить смертоносный груз в зону конфликта уже на дозвуковых скоростях.

Полномасштабная экспериментальная модель ракеты *RATTLRS* имеет 6 м в длину и напоминает *SR-71* «Черный дрозд» (в частности, его воздухозаборник с изменяющейся геометрией и отчетливо стреловидные крылья) — использовавшийся в прошлом самолет-шпион компании *Lockheed*. Джонстон признал, что *RATTLRS* многое унаследовал от *SR-71*, который был способен превышать скорость звука более чем в 3 раза. Изменение геометрии воздухозаборника позволяет поглощать ударные волны и замедлять движе-



Быстрая и неистовая: крылатая ракета типа *RATTLRS* сможет ставить рекорды скорости благодаря воздухозаборнику с изменяющейся геометрией и новому двигателю

ние до приемлемых дозвуковых скоростей. В зависимости от числа Маха (отношения скорости движения аппарата к скорости звука), воздух либо подается в двигатель «Черного дрозда», либо обходит его.

Однако, по словам директора программы компании *Liberty-Works* Боба Дьюджа (Bob Duge), на 21-дюймовой модели не видна главная особенность *RATTLRS* — сверхкомпактный топливосберегающий турбовентиляторный двигатель *YJ102R*, который в шесть раз превосходит *SR-71* по удельной тяге. Главная причина такой производительности двигателя — в его высокой рабочей температуре, что обусловлено использованием эффективной системы охлаждения, позволяющей снизить температуру жизненно важных узлов аппарата. Камера сгорания и лопатки турбины сделаны из особых термостойчивых сплавов и пронизаны множеством воздухопроводов системы охлаждения. Детали проекта засекречены

По словам Джонстона, ВМС США планирует провести испытания прототипа ракеты типа *RATTLRS* до конца 2007 г., а к 2015 г. поставить их на вооружение.

Стивен Эшли

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

Виктора Веселаго

Судьба Виктора Георгиевича Веселаго, доктора физико-математических наук, сотрудника ИОФАна и профессора Московского физико-технического института сыграла с ним интересную шутку. Посвятив всю жизнь практике и эксперименту, международное признание он получил за теоретическое предсказание одного из интереснейших феноменов электродинамики



Судьбоносная случайность

Виктор Георгиевич Веселаго родился 13 июня 1929 г. на Украине и, по его словам, до определенного момента физикой не интересовался. А затем произошла одна из тех судьбоносных случайностей, которые меняют не только направление жизни человека, но и, в конечном счете, вектор развития науки. В седьмом классе мальчик заболел и, чтобы скоротать время, стал читать все книги подряд. Среди них оказалась и «Что такое радио?» Кина, прочитав которую, школьник не на шутку

увлекся радиотехникой. В конце десятого класса, когда встал вопрос выбора вуза, один из приятелей обмолвился, что в Московском университете открывается новый физико-технический факультет, где помимо других специальностей есть и радиофизика.

Абитуриентам ФТФ МГУ предстояло выдержать «марафон» из девяти экзаменов. На первом же из них — письменной математике — Веселаго получил «двойку»... Сегодня он объясняет такой «конфуз» тем, что просто растерялся, оказавшись

в огромной аудитории, где чувствовал себя в буквальном смысле слова песчинкой. На следующий день, когда он пришел забирать документы, заместитель декана Борис Осипович Солоноуц (которого за глаза называли просто БОС) посоветовал ему все-таки прийти на следующий экзамен. Поскольку терять было нечего, молодой человек так и поступил. Все остальные восемь экзаменов сдал на пятерки и был принят. Уже потом, спустя много лет, выяснилось, что таких «неудачников» оказалось довольно много, и деканат решил не отсеивать абитуриентов по результату первого экзамена.

Затем были четыре года учебы, которые сейчас Виктор Георгиевич называет самым счастливым временем своей жизни. Студентам читали лекции такие светила, как Петр Леонидович Капица, Лев Давидович Ландау... Летнюю практику Виктор Веселаго проходил на радиоастрономической станции в Крыму, где познакомился с ее руководителем, сотрудником ФИАНа профессором Семеном Эммануиловичем Хайкиным. Оказалось, что именно он написал ту самую книгу «Что такое радио?», подписавшись псевдонимом Кин.

В 1951 г. физико-технический факультет МГУ был закрыт — он «перерос» в Московский физико-технический институт, а студентов бывшего ФТФ распределили по другим факультетам. Виктор Георгиевич оказался на физическом факультете МГУ и формально окончил именно его, но считает себя выпускником Физтеха. Дипломную работу Веселаго защищал у Александра Михайловича Прохорова в Физическом институте им. П.Н. Лебедева, где потом и продолжил работать под его руководством. Сначала — в ФИАНе, а с 1982 г. и по сей день — в отпочковавшемся от него Институте общей физики (ИОФАНе, который сейчас носит имя А.М. Прохорова).

Строительство «Соленоида»

Для получения сверхсильных магнитных полей в 1960-х гг. в ФИАНе шло строительство установки под

названием «Соленоид». Проектированием занимался ГИПРОНИИ, но основные элементы проекта Виктор Георгиевич разрабатывал сам. Он до сих пор считает, что одним из его важнейших достижений, помимо научных, стал пандус, позволяющий завозить на первый этаж тележки с тяжелым оборудованием. За создание установки для получения сильных магнитных полей Веселаго вместе с рядом сотрудников ФИАН и других научных организаций получил в 1974 г. Государственную премию.

Левые и правые

В 1960-е гг. Виктор Георгиевич заинтересовался материалами, которые одновременно являются и полупроводниками, и ферромагнетиками. В 1967 г. в журнале «Успехи физических наук» (УФН) он опубликовал статью под названием «Электродинамика веществ с одновременно отрицательными значениями ε и μ »,

фазовая и групповая скорости электромагнитного колебания направлены в разные стороны (в обычной среде — в одну сторону).

Материалы с отрицательным коэффициентом преломления Веселаго назвал «левыми», а с положительным — соответственно, «правыми», исходя из взаимного расположения тройки векторов, характеризующих распространение электромагнитных колебаний. Преломление на границе двух таких сред происходит зеркально относительно оси z .

Теоретически обосновав свои идеи, Виктор Георгиевич попытался реализовать их на практике, в частности, в магнитных полупроводниках. Однако получить искомым материал не удалось. И только в 2000 г. группа ученых из Калифорнийского университета в Сан-Диего в США, используя композитную среду, доказала, что отрицательное преломление возможно. Исследования Виктора Веселаго не только положили начало новому научному на-

В своих научных изысканиях Веселаго придерживался принципа: менять направление исследований каждые 5–6 лет

где впервые был введен термин «вещества с отрицательным показателем преломления n » и описывались их возможные свойства.

Как объяснил ученый, полупроводниковые свойства описываются через величину ε — диэлектрическую проницаемость, а магнитные свойства через величину μ — магнитную проницаемость. Названные величины, как правило, положительны, хотя известны вещества, где ε отрицательно, а μ положительно, или наоборот. Веселаго задался вопросом: что будет, если обе величины будут отрицательными? С математической точки зрения такое возможно, а с физической? Виктор Георгиевич показал, что подобное состояние не противоречит законам природы, но электродинамика таких материалов заметно отличается от тех, где ε и μ одновременно больше нуля. Прежде всего тем, что в них

правлению (см.: Пэндрю Д. и Смит Д. В поисках суперлинзы // ВМН, N 11, 2006), но и позволили уточнить некоторые физические формулы, описывающие электродинамику веществ. Дело в том, что целый ряд формул, приводимых в учебниках, применим лишь в так называемом немагнитном приближении, т.е. тогда, когда магнитная проницаемость равняется единице, а именно — для частного случая немагнитных материалов. Но для веществ, магнитная проницаемость которых отлична от единицы или отрицательна, нужны другие, более общие выражения. Указание на это обстоятельство Веселаго также считает важным результатом своей работы.

Шаг в будущее

После пророческой статьи исследователь, верный принципу менять тематику каждые 5–6 лет, увлекся ▶



новыми направлениями: магнитными жидкостями, фотомagnetизмом, сверхпроводимостью.

В целом, по его воспоминаниям, за время работы в ФИАНе-ИОФАНе он прошел стандартный путь «советского ученого» — от студента-дипломника до доктора наук, заведующего отделом сильных магнитных полей, который к концу 1980-х гг. включал около 70 человек, работавших по 5–7 разным направлениям.

он — профессор кафедры прикладной физики факультета проблем физики и энергетики, читает созданный им курс «Основы физики колебаний», а также ведет семинарские и лабораторные занятия на кафедре общей физики.

В.Г. Веселаго принадлежит к редкому типу ученых, для которых характерна широта научных интересов. Он прекрасный теоретик и одновременно — физик-экспери-

Потребность в электронных научных публикациях в России очень велика — причем не только в качестве самостоятельных единиц, но и в рамках сетевых версий печатных изданий

По сути, отдел был маленьким институтом в институте, который за это время выпустил более 30 кандидатов наук.

Сейчас Виктор Георгиевич руководит лабораторией магнитных материалов отдела сильных магнитных полей ИОФАН им. А.М. Прохорова. За цикл работ «Основы электродинамики сред с отрицательным коэффициентом преломления» в 2004 г. ему была присуждена премия имени академика В.А. Фока.

Виктор Георгиевич более 40 лет преподает в Московском физико-техническом институте. Сейчас

ментатор, инженер, конструктор установок с сильными магнитными полями. Он талантлив и как профессор, сдвигший большой вклад в преподавание общей физики в МФТИ, воспитавший множество учеников. Именно эти черты ученого делают личность Виктора Георгиевича такой привлекательной.

Вторжение во всемирную паутину

В последние 15 лет физик снова сменил или, вернее, расширил круг своих интересов, став инициатором двух сетевых проектов.

В 1993 г. была организована служба «Инфомаг», занимающаяся распространением среди ученых оглавлений научных и технических журналов и зарубежных научных электронных бюллетеней. Все началось с того, что ИОФАН одним из первых был подключен к Интернету. Обзаведясь первым электронным адресом, Веселаго заинтересовался телеконференциями по физике и начал получать бюллетень *Physics News Update*, которую пересылал своим коллегам. Затем он организовал рассылку содержания и других научных журналов. Первыми изданиями, предоставившими информацию службе «Инфомаг», стали «Журнал экспериментальной и теоретической физики» (ЖЭТФ), «Письма в ЖЭТФ» и «Приборы и техника эксперимента». Сейчас список включает более 150 наименований.

Успех «Инфомага» способствовал созданию и второго «детисца» Веселаго — первого в России многопредметного электронного научного журнала «Исследовано в России» (<http://zhurnal.ape.relarn.ru>), который начал свое существование в 1998 г. Он выходит только в электронном виде и в нем публикуется около 250 статей в год, как из области естественных, так и гуманитарных наук.

По мнению Виктора Георгиевича, потребность в электронных научных публикациях в России очень велика, причем не только в качестве самостоятельных единиц, но и в рамках сетевых версий печатных изданий. В России выходит несколько сот академических научных и технических журналов, но подавляющее большинство из них недоступно в электронном виде, и потому отечественные специалисты не имеют оперативного доступа к результатам работы своих коллег, что мешает плодотворному и оперативному диалогу ученых.

Между тем сегодня как никогда ранее приобретает значение быстрый и своевременный доступ к новейшим открытиям, концепциям и разработкам: в современном мире выигрывает тот, кто владеет информацией. ■

ежемесячный научно-информационный журнал

SCIENTIFIC
AMERICAN

В мире науки

www.sciam.ru

- анонсы
- новости
- статьи
- архив
- подписка

Адрес редакции: 105005, г. Москва, ул. Радио, д. 22,
офис 408–409, тел./факс: (495)105-0372



Через десять секунд после вспышки термоядерное пламя почти полностью сжигает белый карлик. Стремительно распространяясь из глубины наружу, цепная ядерная реакция превращает углерод и кислород (*сиреневый и красный*) в кремний (*оранжевый*) и железо (*желтый*). На основе более ранних компьютерных моделей было невозможно проследить турбулентные движения и объяснить, почему звезды взрываются

Эвальд Мюллер, Вольфганг Хилльбранд и Ханс-Томас Янка

КАК ВЗОРВАТЬ ЗВЕЗДУ

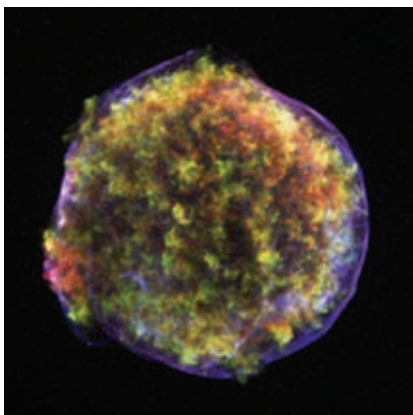
Моделирование ситуации рождения сверхновой — нелегкое дело. По крайней мере, до недавнего времени все эксперименты терпели крах. Но астрофизикам все-таки удалось взорвать звезду

11 ноября 1572 г. астроном Тихо Браге (Tycho Brahe) заметил в созвездии Кассиопеи новую звезду, сияющую так же ярко, как Юпитер. Пожалуй, именно тогда рухнула уверенность в том, что небеса вечны и неизменны, и родилась современная астрономия. Спустя четыре века астрономы поняли, что некоторые звезды, вдруг становясь в миллиарды раз ярче обычных, взрываются. В 1934 г. Фриц Цвики (Fritz Zwicky) из Калифорнийского технологического института назвал их «сверхновыми». Они снабжают космическое пространство тяжелыми элементами, управляющими формированием и эволюцией галактик, и помогают изучать расширение пространства.

Цвики и его коллега Вальтер Бааде (Walter Baade) предположили, что энергию для взрыва дает звезда гравитация. По их мнению, звезда сжимается, пока ее центральная часть не достигнет плотности атомного ядра. Коллапсирующее вещество может выделить гравитационную потенциальную энергию,

достаточную чтобы выбросить наружу остатки звездного вещества. В 1960 г. Фред Хойл (Fred Hoyle) из Кембриджского университета и Вилли Фаулер (Willy Fowler) из Калтеха считали, что сверхновые похожи на гигантскую ядерную бомбу. Когда звезда типа Солнца сжигает свое водородное, а затем и гелиевое топливо, наступает очередь кислорода и углерода. В ходе синтеза этих элементов не только выбрасывается гигантская энергия, но и рождается радиоактивный никель-56, распадом которого объясняется послесвечение взрыва, длящееся несколько месяцев.

Обе идеи оказались правильными. В спектрах некоторых сверхновых нет следов водорода (тип I); по-видимому, в большинстве из них произошел термоядерный взрыв (тип Ia), а у остальных (типы Ib и Ic) — коллапс звезды, сбросившей свой внешний водородный слой. Сверхновые, в спектрах которых обнаружен водород (тип II), также возникают в результате коллапса. Первые два явления превращают звезду в разлетающееся газовое облако, ▶



Сверхновая Тихо: термоядерный взрыв, наблюдавшийся знаменитым датским астрономом Тихо Браге в 1572 г., оставил после себя облака кремния, железа и других тяжелых элементов, светящихся в рентгеновском диапазоне (зеленый, красный). Ударная волна (тонкая голубая оболочка) расширяется со скоростью 7500 км/с

а гравитационный коллапс приводит к образованию сверхплотной нейтронной звезды или даже черной дыры. Наблюдения сверхновой 1987А (тип II) подтверждают предложенную теорию.

Однако до сих пор взрыв сверхновой остается одной из главных проблем астрофизики. Компьютерные модели воспроизводят его с трудом. Очень сложно заставить звезду взорваться (что само по себе приятно). Звезды — саморегулирующиеся объекты, которые остаются стабильными в течение миллионов и миллиардов лет. Даже умирающие светила имеют механизмы затухания, но не взрыва. Чтобы воспроизвести последний, потребовались многомерные модели, расчет которых компьютерам был не по зубам.

ОБЗОР: СВЕРХНОВЫЕ

- По всем правилам, звезды должны быть спокойными и умирать тихо. Но почему некоторые из них в конце жизни взрываются как сверхновые? Это одно из сложнейших явлений в астрофизике.
- Теоретики постепенно улучшали свои модели и недавно смогли объяснить два основных типа сверхновых. Задача состояла в том, чтобы учесть все три пространственных измерения для воспроизведения динамики турбулентных потоков.
- Оказалось, что взрыв может быть очень несимметричным, разбрасывающим в разные стороны остатки звезды (включая и вновь синтезированные химические элементы). Если в результате образуется нейтронная звезда, то она может получить ускорение и стремительно понесется по галактике.

Взрыв — дело нелегкое

Белые карлики — это неактивные остатки звезд, похожих на Солнце, которые постепенно остывают и затухают. Они могут взрываться как сверхновые типа Ia. Однако, по мнению Хойла и Фаулера, если белый карлик вращается вокруг другой звезды на близкой орбите, он может аккретировать (отсасывать) вещество со своего компаньона, увеличивая тем самым свою массу, центральную плотность и температуру до такой степени, что возможен взрывной синтез из углерода и кислорода.

Термоядерные реакции должны вести себя как обычный огонь. Фронт горения может распространяться через звезду, оставляя за собой «ядерный пепел» (в основном никель). В каждый момент времени реакции синтеза должны идти в небольшом объеме, в основном, в тонком слое на поверхности пузырей, заполненных «пеплом» и плавающих в глубине белого карлика. Из-за своей низкой плотности пузыри могут всплывать к поверхности звезды.

Но термоядерное пламя будет гаснуть, поскольку выделение энергии приводит к расширению и охлаждению звезды. В отличие от бомбы, у звезды нет оболочки, ограничивающей ее объем.

В лаборатории невозможно воссоздать взрыв сверхновой, его можно наблюдать только в космосе. Наша группа провела тщательное моделирование, используя суперкомпьютер IBM p690. Численная модель звезды была представлена

трехмерной расчетной сеткой, имевшей 1024 элемента по каждой из сторон, что позволило учесть детали размером в несколько километров. Каждый вычислительный сет требовал более 10^{20} арифметических операций. Даже суперкомпьютеру, проделывающему более 10^{11} операций в секунду, на это потребовалось почти 60 процессоров-лет. Различные вычислительные ухищрения, упрощающие модель и используемые в других областях науки, неприменимы к сверхновым с их асимметричными течениями, экстремальными условиями и гигантским пространственным и температурным диапазоном. Кроме того, в моделях сверхновых должны учитываться физика частиц, ядерная физика, гидродинамика и теория относительности.

Под капотом

Найти решение помог анализ работы автомобильного двигателя. Перемешивание бензина с кислородом и их воспламенение создают турбулентность, которая, в свою очередь, увеличивает поверхность горения, интенсивно деформируя ее. При этом скорость сжигания топлива, пропорциональная площади горения, возрастает. Но и звезда тоже турбулентна. Потоки газа проходят в ней огромные расстояния с большой скоростью, поэтому малейшие возмущения быстро превращают спокойное течение в турбулентный поток. В сверхновой всплывающие горячие пузыри должны перемешивать вещество, заставляя ядерное горение распространяться так быстро, что звезда не успевает перестроиться и «затушить» пламя.

В исправно работающем двигателе внутреннего сгорания пламя распространяется с дозвуковой скоростью, ограниченной скоростью диффузии тепла сквозь вещество — такой процесс называют дефлацией, или быстрым горением. В «стреляющем» двигателе пламя распространяется со сверхзвуковой скоростью в виде ударной волны, проносимой по кислородно-топливной смеси и сжимающей ▶

ТЕРМОЯДЕРНАЯ СВЕРХНОВАЯ

Один из видов сверхновых типа Ia — результат внезапной ядерной детонации звезды

1 Более массивная из двух звезд солнечного типа, исчерпав свое топливо, превращается в белый карлик

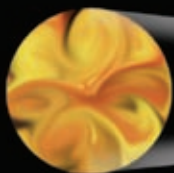


Звезда-соседка

2 Белый карлик захватывает газ, теряемый соседкой, и приближается к критической массе

Белый карлик

3 «Пламя» неуправляемых ядерных реакций возгорается в турбулентном ядре карлика

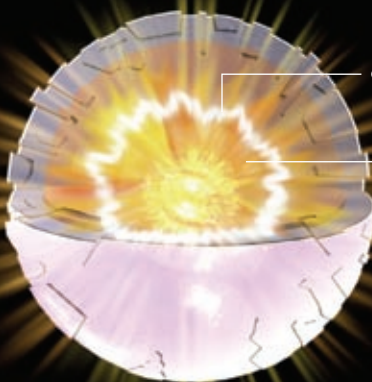


Гелий

Углерод/Кислород

Ядро

4 Пламя устремляется наружу, превращая углерод и кислород в никель



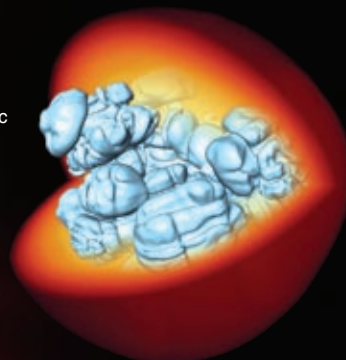
Фронт горения

Никель

5 За несколько секунд карлик полностью разрушается. Затем еще несколько недель радиоактивный никель распадается, вызывая свечение остатков звезды



Прорыв в моделировании сверхновых позволил исследовать турбулентность. Здесь показано, что произойдет через 0,6 с после воспламенения. Фронт ядерного горения имеет турбулентную, пузырчатую структуру (голубой). Турбулентность служит причиной быстрого продвижения фронта и подавления стабилизирующих механизмов звезды





Крабовидная туманность — газовый остаток сверхновой с коллапсом ядра, взрыв которой наблюдался в 1054 г. В центре — нейтронная звезда (указана стрелкой), выбрасывающая частицы, заставляющие газ светиться (голубой). Внешние волокна в основном состоят из водорода и гелия разрушенной массивной звезды

ее (детонация). Термоядерное пламя может распространяться тоже двумя путями. Детонация способна полностью сжечь звезду, оставив только самые «негорючие» элементы, такие как никель и железо. Однако в продуктах этих взрывов астрономы обнаруживают большое разнообразие элементов, включая кремний, серу и кальций. Следовательно, ядерное горение распространяется, по крайней мере в начале, как дефлаграция.

В последние годы были созданы надежные модели термоядерной дефлаграции. Исследователи из Калифорнийского (г. Санта-Круз) и Чикагского университетов и наша группа опирались при этом на программы, созданные для исследования

химического горения и даже для прогноза погоды. В турбулентном каскаде исходный поток дробится на все более и более мелкие части, поэтому моделирование непременно должно быть трехмерным.

Модель сверхновой имеет грибообразный вид: горячие пузыри поднимаются в слоеной среде, сморщиваясь и растягиваясь турбулентностью. Усиленное ею ускорение скорости ядерных реакций за несколько секунд приводит к разрушению белого карлика, остатки которого разлетаются со скоростью около 10 тыс. км/с, что соответствует наблюдаемой картине.

Но до сих пор не ясно, отчего воспламеняется белый карлик. Кроме того, дефлаграция должна выбрасывать большую часть вещества карлика неизменной, а наблюдения показывают, что лишь малая часть звезды не изменяется. Вероятно, взрыв обусловлен не только быстрым горением, но и детонацией, а причина взрыва сверхновых типа Ia кроется не только в аккреции вещества, но и в слиянии двух белых карликов.

Гравитационная могила

Возникновение сверхновых в результате коллапса звездного ядра объяснить труднее. С наблюдательной точки зрения эти сверхновые более разнообразны, чем термоядерные: одни из них имеют водород, другие нет; одни взрываются в плотной межзвездной среде, другие — в почти пустом пространстве;

одни выбрасывают огромное количество радиоактивного никеля, другие нет. Энергия выброса и скорость расширения также различаются. Самые мощные из них производят не только классический взрыв сверхновой, но и продолжительный гамма-всплеск (см.: Герелс Н., Леонард П. и Пиро Л. Ярчайшие взрывы во Вселенной // ВМН, № 4, 2003). Эта неоднородность свойств — одна из многих загадок. Сверхновые с коллапсом ядра — основные кандидаты для формирования самых тяжелых элементов, таких как золото, свинец, торий и уран, которые могут образоваться только в особых условиях. Но никто не знает, действительно ли такие предпосылки возникают в звезде, когда ее ядро взрывается.

Несмотря на то, что идея коллапса кажется простой (при сжатии ядра выделяется энергия гравитационной связи, за счет которой выбрасываются внешние слои вещества), трудно понять процесс в деталях. В конце жизни у звезды с массой более 10 масс Солнца образуется слоеная структура: на глубине появляются слои все более тяжелых элементов. Ядро состоит в основном из железа, а равновесие звезды поддерживается квантовым отталкиванием электронов. Но в конце концов масса звезды подавляет электроны, которые вжимаются в атомные ядра, где начинают реагировать с протонами и образовывать нейтроны и электронные нейтрино. В свою очередь, нейтроны и оставшиеся протоны прижимаются друг к другу все сильнее, пока их собственная сила отталкивания не остановит коллапс.

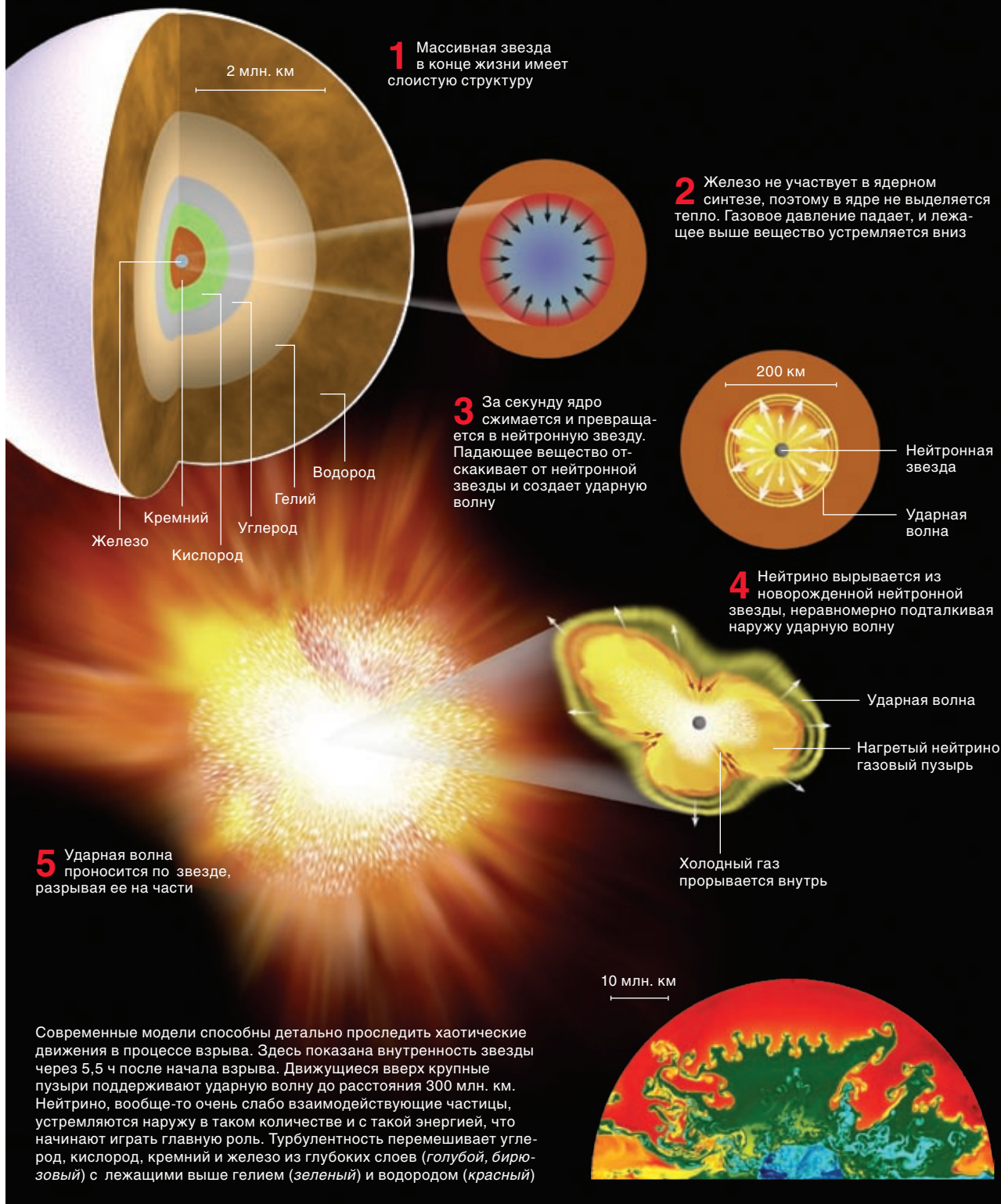
В этот момент сжатие останавливается и сменяется расширением. Вещество, втянутое вглубь гравитацией, начинает частично вытекать наружу. В классической теории данная задача решается с помощью ударной волны, которая возникает, когда внешние слои звезды со сверхзвуковой скоростью налетают на ядро, внезапно замедлившее свое сжатие. Ударная волна движется наружу, сжимая и нагревая ▶

ОБ АВТОРАХ

Эвальд Мюллер (Ewald Müller), **Вольфганг Хилльбранд** (Wolfgang Hillebrandt) и **Ханс-Томас Янка** (Hans-Thomas Janka) работают в Институте астрофизики им. Макса Планка (Гарчинг, Германия) и преподают в Мюнхенском техническом университете. Мюллер руководит группой численной и релятивистской астрофизики. В 1993 г. вместе с Янка он получил премию Хейнца Биллинга за использование компьютеров в науке. Хилльбранд — один из директоров Института астрофизики, занимается ядерной астрофизикой, эволюцией звезд и взрывами сверхновых. В 1982 г. он получил премию Германского физического общества за работы по нуклеосинтезу путем быстрого захвата нейтронов. Янка интересуется нейтрино в астрономии, эволюцией нейтронных звезд, вспышками сверхновых и гамма-всплесками. Через месяц после того, как он начал работать над диссертацией, была открыта сверхновая 1987A, изменившая его судьбу (а также всю Вселенную).

СВЕРХНОВАЯ С КОЛЛАПСОМ ЯДРА

Сверхновые другого рода образуются при сжатии звезд с массами более 8 масс Солнца. Они относятся к типам *Ib*, *Ic* или *II*, в зависимости от наблюдаемых особенностей



Современные модели способны детально проследить хаотические движения в процессе взрыва. Здесь показана внутренность звезды через 5,5 ч после начала взрыва. Движущиеся вверх крупные пузыри поддерживают ударную волну до расстояния 300 млн. км. Нейтрино, вообще-то очень слабо взаимодействующие частицы, устремляются наружу в таком количестве и с такой энергией, что начинают играть главную роль. Турбулентность перемешивает углерод, кислород, кремний и железо из глубоких слоев (голубой, бирюзовый) с лежащими выше гелием (зеленый) и водородом (красный)

РЕАКТИВНЫЙ ЭФФЕКТ СВЕРХНОВОЙ

Наблюдатели гадали, почему нейтронные звезды несутся по Галактике с огромной скоростью. Новые модели сверхновой с коллапсом ядра предлагают объяснение, основанное на внутренней асимметрии этих взрывов

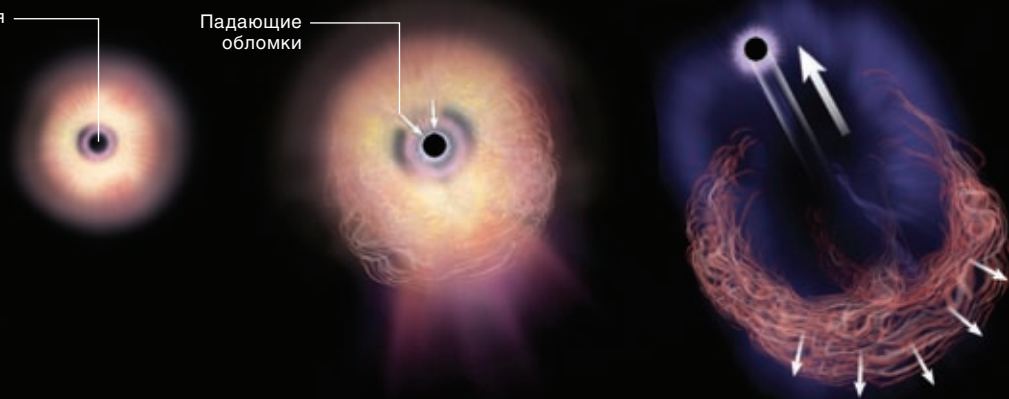
Новорожденная нейтронная звезда в центре зарождающегося взрыва почти спокойна

Гравитация несимметричного выброса тянет нейтронную звезду в определенном направлении, а падающее на звезду вещество дает ей дополнительный толчок

Эти силы выбрасывают нейтронную звезду. (По закону сохранения импульса нейтронная звезда улетает в ту сторону, откуда на нее падает вещество.)

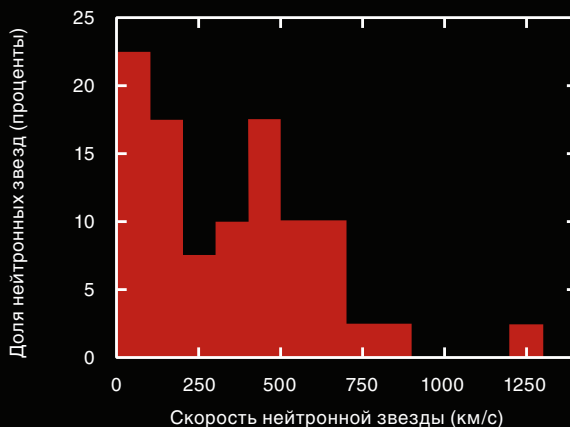
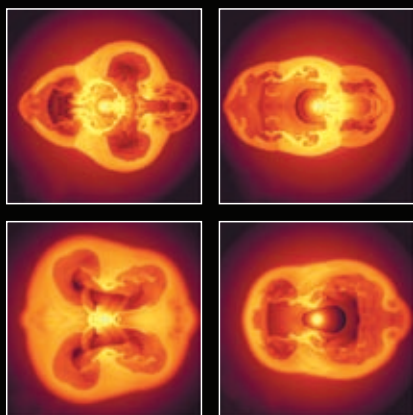
Нейтронная звезда

Падающие обломки



Моделирование показывает, что асимметрия развивается уже в начале взрыва. Малые различия в начале коллапса звезды приводят к большим различиям в степени асимметрии

Эти различия, в свою очередь, проявляются в разных скоростях нейтронных звезд. Сравнивая предсказанные скорости с наблюдаемыми, можно проверять модели



вещество, с которым она сталкивается, и в то же время теряет свою энергию, в конце концов затухая. Моделирование показывает, что энергия сжатия быстро рассеивается. Как же в таком случае звезда взрывает себя?

Первой попыткой решить задачу стала работа Стирлинга Колгейта (Stirling Colgate) и Ричарда Уайта (Richard White), опубликованная в 1966 г., а позже — компьютерные

модели Джима Вильсона (Jim Wilson), созданные им в начале 1980-х гг., когда все трое работали в Ливерморской национальной лаборатории им. Лоуренса. Они предположили, что ударная волна — не единственный переносчик энергии от ядра к внешним слоям звезды. Возможно, вспомогательную роль играют нейтрино, рожденные во время коллапса. На первый взгляд, идея выглядит странной: как известно, нейтрино чрезвычайно

неактивны и так слабо взаимодействуют с другими частицами, что их даже трудно зарегистрировать. Но в сжимающейся звезде они обладают более чем достаточной энергией, чтобы вызвать взрыв, а в условиях предельно высокой плотности неплохо взаимодействуют с веществом. Нейтрино нагревают слой вокруг коллапсирующего ядра сверхновой, поддерживая давление в тормозящейся ударной волне.

Как ракета

Но достаточно ли такого дополнительного толчка для поддержания волны и завершения взрыва? Компьютерное моделирование показало, что недостаточно. Несмотря на то, что газ и поглощает и излучает нейтрино, потери доминируют, и поэтому взрыва не получается. Но в изучаемых моделях было одно упрощение: звезда в них считалась сферически симметричной. Поэтому игнорировались многомерные явления, такие как конвекция и вращение, которые очень важны, поскольку наблюдаемые сверхновые порождают весьма несферичный, «лохматый» остаток.

Многомерное моделирование показывает, что вокруг ядра сверхновой нейтрино нагревают плазму и создают в ней всплывающие пузыри и грибообразные потоки. Конвекция переносит энергию к ударным волнам, толкая их вверх и вызывая взрыв.

Когда взрывная волна немного замедляется, пузыри горячей расширяющейся плазмы, разделенные текущим вниз холодным веществом, сливаются. Постепенно образуется один или несколько пузырей в окружении нисходящих потоков. В результате взрыв становится асимметричным. Кроме того, заторможенная ударная волна может деформироваться, и тогда коллапс принимает форму песочных часов. Дополнительная неустойчивость возникает, когда ударная волна вырывается наружу и проходит через неоднородные слои предка сверхновой. При этом химические элементы, синтезированные на протяжении жизни звезды и во время взрыва, перемешиваются.

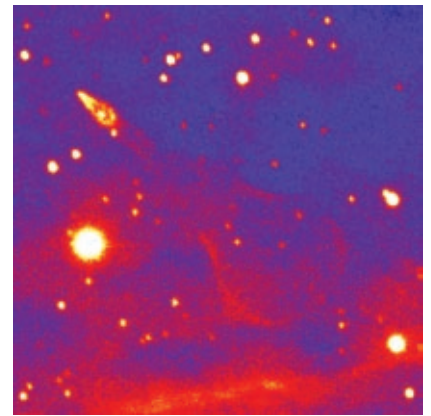
Поскольку остатки звезды в основном вылетают в одну сторону, находящаяся в центре нейтронная звезда отскакивает в другую, как скейтборд, откатывающийся назад, когда вы спрыгиваете с него. Наша компьютерная модель показывает скорость отскока более 1000 км/с, что соответствует наблюдаемому движению многих нейтронных звезд. Но некоторые из них движутся

медленнее, вероятно, потому, что пузыри во время образовавшегося взрыва не успели слиться. Возникает единая картина, в которой различные варианты становятся результатом одного основного эффекта.

Несмотря на значительные достижения последних лет, ни одна из существующих моделей не воспроизводит весь комплекс явлений, связанных со взрывом сверхновой, и содержит упрощения. Полная версия должна использовать семь изменений: пространство (три координаты), время, энергию нейтрино и скорость нейтрино, описанную двумя угловыми координатами. Более того, это нужно сделать для всех трех типов, или ароматов нейтрино.

Но может ли взрыв быть спровоцирован различными механизмами? Ведь магнитное поле может перехватить вращательную энергию только что сформировавшейся нейтронной звезды и дать новый толчок ударной волне. Кроме того, оно будет выдавливать вещество наружу вдоль оси вращения в виде двух полярных джетов. Эти эффекты позволят объяснить наиболее мощные взрывы. В частности, гамма-всплески могут быть связаны с джетами, движущимися с околосветовой скоростью. Возможно, ядра таких сверхновых коллапсируют не в нейтронную звезду, а в черную дыру.

Пока теоретики улучшают свои модели, наблюдатели пытаются использовать не только электромагнитное излучение, но также нейтрино и гравитационные волны. Коллапс ядра звезды, его бурление в начале взрыва и его возможное превращение в черную дыру приводят не только к интенсивному выбросу нейтрино, но и сотрясают структуру пространства-времени. В отличие от света, который не может пробиться сквозь вышележащие слои, эти сигналы исходят прямо из бурлящего ада в центре взрыва. Созданные недавно детекторы нейтрино и гравитационных волн могут приоткрыть завесу над тайной смерти звезд. ■



Туманность гитара — это ударная волна, расходящаяся за нейтронной звездой (у стрелки), которая несетя сквозь газ со скоростью 1600 км/с. Чтобы сообщить звезде такую скорость, взрыв должен быть несимметричным

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Бисноватый-Коган Г.С. Физические вопросы теории звездной эволюции. М.: Наука, 1989.
- Гоффмейстер К., Рихтер Г., Венцель В. Переменные звезды. М.: Наука, 1990.
- Де Ягер К. Звезды наибольшей светимости. М.: Мир, 1984.
- Каплан С.А. Физика звезд. М.: Наука, 1977.
- Псковский Ю.П. Новые и сверхновые звезды. М.: Наука, 1985.
- Шкловский И.С. Сверхновые звезды и связанные с ними проблемы. М.: Наука, 1976.
- Supernova Explosions in the Universe. A. Burrows in *Nature*, Vol. 403, pages 727–733; February 17, 2000.
- Full-Star Type Ia Supernova Explosion Models. F.K. Röpkе and W. Hillebrandt in *Astronomy and Astrophysics*, Vol. 431, No. 2, pages 635–645; February 2005. Preprint available at arxiv.org/abs/astro-ph/0409286
- The Physics of Core-Collapse Supernovae. S. Woosley and H.-Th. Janka in *Nature Physics*, Vol. 1, No. 3, pages 147–154; December 2005. Preprint available at arxiv.org/abs/astro-ph/0601261
- Multidimensional Supernova Simulations with Approximative Neutrino Transport. L. Scheck, K. Kifonidis, H.-Th. Janka and E. Müller in *Astronomy and Astrophysics* (in press). Preprint available at arxiv.org/abs/astro-ph/0601302

Шимон Сакагучи и Золтан Фегервари

стражи ИММУННОЙ СИСТЕМЫ

Как только иммунная система начинает применять свое оружие не по назначению, регуляторные *T*-клетки (*T-reg*) встают у нее на пути

Регуляторные Т-клетки удерживают иммунную систему организма от нападения на собственные ткани. Их использование позволит лечить самые разные заболевания и, возможно, решить проблему отторжения трансплантированных органов

Тяжелейший аутоксикоз — такой термин был введен около ста лет назад известным немецким врачом-бактериологом Паулем Эрлихом для описания патологического состояния, при котором иммунная система человека «атакует» его же собственные органы и ткани. Эрлих полагал, что с биологической точки зрения в аутоиммунности (еще одно введенное им определение) нет ничего абсурдного, когда она находится под строжайшим контролем. Однако медицинское сообщество не приняло столь неоднозначной идеи. В самом деле, зачем природе встраивать в организм человека механизм, способный разрушать своего носителя?

Однако врачи время от времени сталкивались со случаями, которые попадали под концепцию Эрлиха. Среди них такие заболевания, как рассеянный склероз, инсулинозависимый диабет, ревматоидные артриты. Выяснилось, что у подобных больных обычно нарушена функция особых лейкоцитов, известных как CD4+Т-лимфоциты (они названы

так потому, что созревают в тимусе — железе, расположенной в грудной клетке чуть выше сердца, и несут на своей поверхности молекулы гликопротеина CD4). В норме они играют роль «старших офицеров», которые отдают команду другим клеткам иммунной системы к наступлению на вторгшихся в организм врагов — болезнетворные микроорганизмы, но иногда направляют оружие против органов и тканей родного тела.

Эрлих оказался прав и в другом: недавно идентифицированы клетки, специализирующиеся на возвращении на путь истинный вышедшей из повиновения иммунной системы. Они получили название регуляторных Т-клеток. Будучи частью популяции CD4+Т-клеток, они поддерживают мир и согласие между иммунной системой и организмом. Кроме того, выяснилось, что им свойственна не только миротворческая функция: они также влияют на реакцию иммунной системы на проникшие в организм инфекционные агенты, опухолевые клетки, трансплантированные органы, клетки плода при наступлении беременности и т.д. Если удастся выяснить, как они выполняют свои обязанности, и почему их работа иногда дает сбой, исследователи получат возможность контролировать деятельность этих регуляторов и при необходимости подавлять иммунную активность.

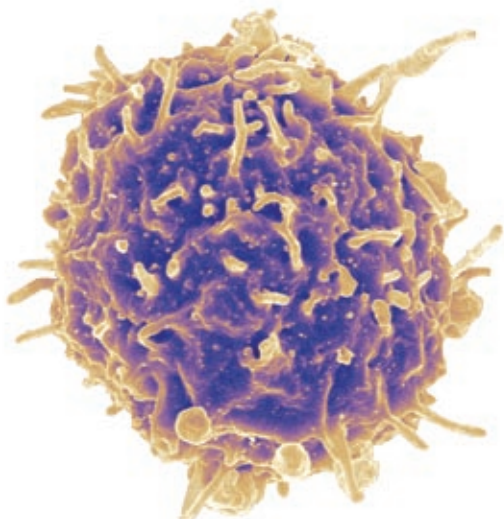
Ненадежная система обороны

Многих людей сегодня пугает сознание того, что иммунная система в любой момент может выйти из-под контроля и спровоцировать аутоиммунное заболевание. Неприятнее всего то, что такой «иммунологический дамклов меч» не так уж трудно привести в действие. Например, при введении мышам белков их собственной центральной нервной системы вместе с каким-нибудь адъювантом (неспецифическим стимулятором иммуногенеза) возникает деструктивная иммунная реакция, которая в основном проявляется как рассеянный склероз, вызывающий разрушение головного и спинного мозга.

Вводя животным их собственные белки разного происхождения, можно вызвать и другие аутоиммунные реакции. Такая же опасность подстерегает и человека. По крайней мере, из крови вполне здоровых людей выделены аутореактивные клетки иммунной системы, которые в пробирке ведут себя крайне агрессивно в отношении тканей своего родного организма.

Почему же при наличии постоянной угрозы со стороны собственной иммунной системы большинство из нас не страдает аутоиммунными заболеваниями? Каким образом наша внутренняя защита отличает опасных микробов от нормальных клеток своего организма? Исследователи обнаружили, что для обеспечения самотолерантности (способности удерживать иммунную систему в рамках) принимается множество мер предосторожности. Первая линия обороны, во всяком случае, в том, что касается Т-клеток, располагается в тимусе. Здесь созревшие Т-клетки проходят серьезный «курс обучения» и настраиваются на крайне слабую реакцию на здоровые клетки организма-хозяина. Клетки, не поддающиеся «дрессировке», отбраковываются. Однако ни одна система не застрахована от ошибок, и некоторое количество аутоагрессивных Т-клеток ускользает от контроля. Попадая в кровотоки и лимфу, они создают угрозу запуска аутоиммунной реакции.

Кровь и лимфа представляют собой вторую линию обороны. Здесь используется несколько приемов. Некоторые ткани, в том числе головного и спинного мозга, ограждены от аутоагрессивных клеток иммунной системы тем, что к ним ведет небольшое число сосудов, уходящих вглубь этих органов. Однако такая самоизоляция не может быть полной. В силу определенных обстоятельств (например, при повреждении тканей) аутореактивные клетки все же могут проникнуть внутрь. Другие способы защиты носят упреждающий характер. Иммунные клетки, проявляющие подозрительный интерес к здоровым ▶



Так выглядит *T-reg*-клетка мыши

тканям и органам, атакуются другими компонентами иммунной системы и разрушаются или инактивируются ими.

По-видимому, среди «подразделений», участвующим в упреждающих действиях, ключевая роль принадлежит регуляторным *T*-клеткам. Большинство из них (а возможно, и все) обучаются мастерству в тимусе, а затем распространяются по всему организму в виде специализированной субпопуляции *T*-клеток.

История открытия регуляторных *T*-клеток

В 1969 г. Ясуаки Нисидзука (Yasuaki Nishizuka) и Тэруе Сакакура (Teruo Sakakura) из японского Центра по исследованию рака в г. Нагоя обнаружили, что удаление тимуса

у новорожденных мышат женского пола приводит к серьезным последствиям — разрушению яичников. Вначале ученые предположили, что тимус секретирует гормоны, необходимые для развития и сохранения данных органов. Однако позже выяснилось, что ткани яичников у мышат, лишенных тимуса, буквально наводнены иммунными клетками, что свидетельствовало о наличии аутоиммунного заболевания, возникшего в результате выхода из строя какого-то регуляторного механизма. Стоило ввести грызунам нормальные *T*-клетки, как болезнь отступала. Все указывало на то, что в популяции *T*-клеток имеется система самоконтроля.

В начале 1970-х гг. аналогичные результаты в ходе опытов на взрослых крысах получил Джон Пенхейл (John Penhale) из Эдинбургского университета, а Ричард Гершон (Richard Gershon) из Йельского университета впервые предположил, что существует некая группа *T*-клеток, способных подавлять иммунную реакцию, в том числе и направленную против тканей собственного организма. Гипотетические клетки были названы супрессорными, но в то время никто не мог найти объяснения их поведению.

Основные надежды возлагались на обнаружение особых структур на поверхности *T*-клеток — маркеров, по которым супрессорные *T*-клетки можно было бы отличить от других составляющих иммунной системы.

Начиная с середины 1980-х гг. многие молекулы были испробованы на роль потенциального маркера. В конце концов, в 1995 г. один из нас (Сакагучи) обнаружил таковой — им оказалась молекула, названная *CD25*. Когда у мышей были удалены *CD4+*-*T*-клетки, несущие данный маркер, иммунной атаке подверглось сразу несколько органов: желудок, половые, слюнные, щитовидная и поджелудочная железы. К ним устремились лейкоциты и разрушили их.

Важным подтверждением того, что мы находимся на правильном пути, стал следующий эксперимент. Мы выделили популяцию *T*-клеток нормальной мыши, удалили из нее большую часть *CD4+*-*CD25+*-клеток, а затем оставшийся материал инъецировали грызунам с нефункционирующей иммунной системой, что привело к развитию у них аутоиммунного заболевания. Чем меньше *CD4+*-*CD25+*-клеток оставалось в *T*-клеточной популяции, вводимой лабораторным животным, тем шире становился круг аутоиммунных расстройств, приводивших к гибели подопытных. При введении же *CD4+*-*CD25+*-*T*-клеток даже в небольших количествах иммунитет восстанавливался и защищал организм от саморазрушения. Иммунологи стали называть *CD4+*-*CD25+*-*T*-клетки регуляторными (или просто *T-reg*), по-видимому, желая устранить путаницу, которую вызывало определение «супрессорные».

Как работают *T-reg*-клетки?

Механизм подавления аутоиммунной активности клетками *T-reg* остается загадкой. По-видимому, они способны воздействовать на самые разные клетки иммунной системы, блокируя их амплификацию и такие процессы, как секреция сигнальных молекул — цитокинов. Специалисты склонны думать также, что *T-reg*-клетки активируются прямым межклеточным взаимодействием. Во всем остальном картина остается неясной.

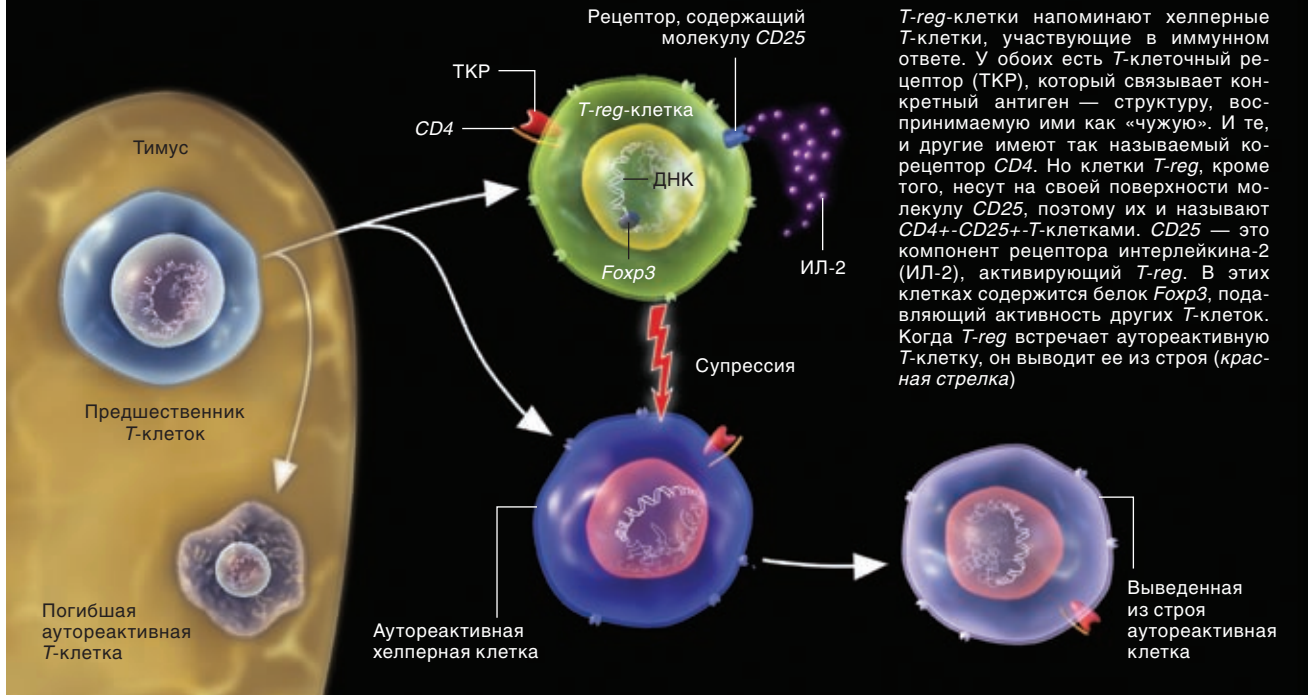
Однако недавно сотрудники нашей лаборатории в Киотском

ОБЗОР: ИММУННЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ

- Долгое время иммунологи не верили в существование клеток, специализирующихся на подавлении излишней активности иммунной системы. Однако таковые действительно имеются — они получили название регуляторных *T*-клеток (*T-reg*).
- *T-reg*-клетки не только подавляют аутоиммунную реакцию, но и помогают организму противостоять повторному заражению патогенными микробами, защищают от уничтожения полезные бактерии, населяющие кишечник, способствуют нормальному протеканию беременности. Однако у них есть и отрицательные свойства: они помогают раковым клеткам избежать атаки со стороны иммунной системы.
- Результаты последних исследований дают надежду на создание новых методов лечения аутоиммунных заболеваний и рака. Возможно также, что *T-reg*-клетки избавят пациентов, перенесших трансплантацию органов или тканей, от пожизненного приема иммуносупрессантов.

МЕХАНИЗМ САМОТОЛЕРАНТНОСТИ

T-reg-клетки обеспечивают безопасность компонентов иммунной системы (в том числе и *T*-клеток, противостоящих инфекциям) для самого организма. Все *T*-клетки созревают в тимусе, и многие из них высокоаутореактивны. К счастью, у большинства из них недолгая жизнь: *T-reg*, циркулирующие в крови и плазме, распознают и уничтожают их



T-reg-клетки напоминают хелперные *T*-клетки, участвующие в иммунном ответе. У обоих есть *T*-клеточный рецептор (ТКР), который связывает конкретный антиген — структуру, воспринимаемую ими как «чужую». И те, и другие имеют так называемый корецептор *CD4*. Но клетки *T-reg*, кроме того, несут на своей поверхности молекулу *CD25*, поэтому их и называют *CD4+CD25+T*-клетками. *CD25* — это компонент рецептора интерлейкина-2 (ИЛ-2), активирующий *T-reg*. В этих клетках содержится белок *Foxp3*, подавляющий активность других *T*-клеток. Когда *T-reg* встречает аутореактивную *T*-клетку, он выводит ее из строя (красная стрелка)

университете, а также Александр Руденски (Alexander Rudensky) с коллегами из Вашингтонского университета и группа Фреда Рамсделла (Fred Ramsdell) из компании CellTech R&D в шт. Вашингтон независимо друг от друга получили результаты, приподнимающие завесу тайны над образованием и механизмом действия *T-reg*. Обнаружилось, что они содержат в необычайно большом количестве специфические молекулы под названием *Foxp3*, которые служат одним из факторов транскрипции, регулирующих работу определенных генов и тем самым — синтез кодируемых ими белков. Изменение экспрессии любого клеточного гена может повлиять на функционирование всей клетки. Что касается действия фактора *Foxp3*, то он, по-видимому, перенастраивает клеточные гены таким образом, что *T*-клетки превращаются в *T-reg*. В действительности, введение *Foxp3* в обычные *T*-клетки приводит к тому, что

они приобретают такую же способность к иммуносупрессии, как и исходно полноценные *T-reg*-клетки, образовавшиеся в тимусе. Недавно выяснилось, что мыши, относящиеся к широко используемой лабораторной линии *Scurfy*, синтезируют только неактивную, мутантную форму белка *Foxp3*, но в их организме нет и следа *T-reg*. Иммунная система у таких животных расшатана до предела, они страдают от множественных воспалений различных органов и рано погибают.

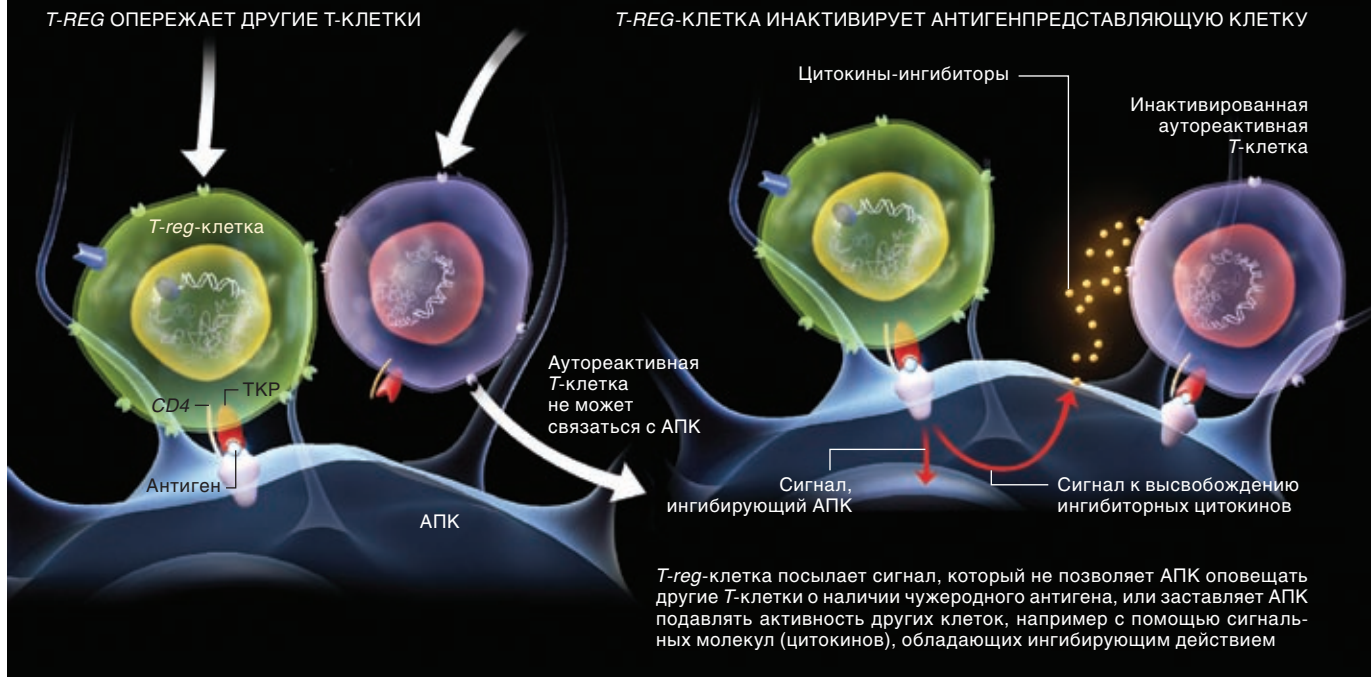
Имеются ли какие-либо данные о том, что человеку также необходимы *T-reg*-клетки? И есть ли они в нашем организме? Исследователи выяснили, что молекулярные особенности, характерные для *T-reg* грызунов, присущи также некой субпопуляции *T*-клеток человека. На поверхности данных клеток присутствуют молекулы *CD25*, а внутри содержится необычайно много белка *Foxp3*. Они обладают иммуносупрессивными свойства-

ми — по крайней мере, таковы результаты опытов *in vitro*.

Лучшим свидетельством того, что данные клетки жизненно важны и для нас, служит следующее наблюдение. Существует редкое генетическое заболевание под названием *IPEX* (Immune dysregulation, Polyendocrinopathy, Enteropathy, X-linked syndrome), которое связано с мутацией в одном из генов X-хромосомы и поражает младенцев мужского пола (в отличие от девочек, они наследуют только одну X-хромосому и потому не могут синтезировать вторую, нормальную копию соответствующего белка). Его следствием становится аутоиммунная реакция, влекущая за собой поражение многих органов и смерть в младенчестве. Как выяснилось недавно, данная мутация локализована в том самом гене, который кодирует белок *Foxp3*. Таким образом, *IPEX* — это аутоиммунное заболевание человека, аналогичное таковому у мышей линии *Scurfy*. ▶

КАК T-REG-КЛЕТКИ ПОДАВЛЯЮТ АУТОИММУННУЮ РЕАКЦИЮ?

Как именно *T-reg*-клетки предотвращают нападение иммунной системы на ткани и органы собственного организма — доподлинно неизвестно. Рассмотрим три возможных варианта. Любой из них предполагает воздействие на ключевой этап инициации иммунного ответа — обмен сигналами между *T*-клетками и антигенпредставляющими клетками (АПК). Прежде чем хелперные *T*-клетки «протрубают сбор», а цитотоксические *T*-клетки атакуют инфицированные ткани, АПК должны предъявить соответствующие антигены. Если *T*-клеточный



Не только самотолерантность

Итак, есть указания на то, что *T-reg*-клетки действительно предотвращают развитие аутоиммунных заболеваний у человека, однако их роль оказалась еще значительнее. Так, они принимают участие

ОБ АВТОРАХ

Шимон Сакагучи (Shimon Sakaguchi) и **Золтан Фегервари** (Zoltan Fehervari) начали совместную деятельность в 2000 г., когда Фегервари после защиты докторской диссертации получил место в лаборатории Сакагучи в Институте перспективных медицинских исследований в Киотском университете Японии. Сейчас Фегервари трудится в отделе патологии в Кембриджском университете, где готовится к защите диссертации в области иммунологии. Профессор Сакагучи в настоящее время заведует отделом экспериментальной патологии в Киото.

в реакции организма на проникновение микробов.

В 1990-х гг. Фиона Паури (Fiona Powrie) из DNAX, исследовательского института в Пало-Альто, шт. Калифорния, проводила эксперименты по введению популяции *T*-клеток, обедненной *T-reg*, мышам с нефункционирующей иммунной системой. В одной из серий экспериментов у животных развилось острое воспаление кишечника. Но аберрантная иммунная реакция была направлена не только на клетки самого органа.

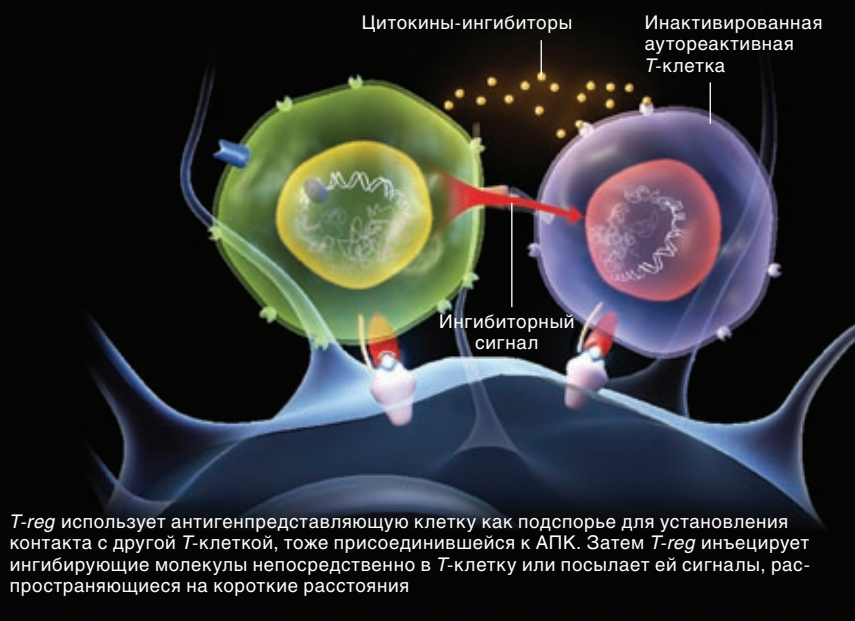
В кишечнике как грызунов, так и человека присутствует множество микроорганизмов. Нередко их число превышает триллион на каждый грамм ткани. Большинство из них не только безвредны, но даже необходимы: они улучшают пищеварение и вытесняют патогенные бактерии (например, сальмонеллы), которые в противном случае заселили бы кишечник. В норме иммунная

система никак не реагирует на присутствие полезных, хотя и чужеродных тел. Но у мышей, которых использовала в своих опытах Паури, все было не так. Введенные иммунные клетки атаковали не только микроорганизмы, но и стенки кишечника реципиента. Однако при инъекции клеток *T-reg* подобных проблем не возникало. И если бы последние вводились вместе с другими *T*-клетками с самого начала, то никакого воспалительного процесса в кишечнике не возникло бы. Подводя итогу, можно сказать, что иммунная система представляет собой спусковой механизм, готовый в любую минуту атаковать микрофлору кишечника, и сдерживают ее только *T-reg*-клетки.

Ответ иммунной системы на безвредные чужеродные агенты может контролироваться аналогичным образом. С одной стороны, *T-reg*-клетки способны блокировать слишком сильную реакцию, с другой —

рецептор (ТКР) хелперной или цитотоксической клетки сочтет представленный антиген чужеродным и получит соответствующие сигналы от АПК, то *T*-клетки направят оружие против носителя антигена — даже если последний принадлежит самому организму, а не патогену. ТКР клеток *T-reg* тоже распознают определенные антигены и подавляют активность тех *T*-клеток, которые нацелены именно на данные антигены

T-REG САМА ПОДАВЛЯЕТ АКТИВНОСТЬ ДРУГИХ *T*-КЛЕТОК



T-reg использует антигенпредставляющую клетку как подспорье для установления контакта с другой *T*-клеткой, тоже присоединившейся к АПК. Затем *T-reg* инъецирует ингибирующие молекулы непосредственно в *T*-клетку или посылает ей сигналы, распространяющиеся на короткие расстояния

предотвращать уничтожение какого-нибудь инородного тела, позволяя ему существовать в организме хозяина. Есть свидетельство того, например, что невозможность полностью уничтожить обитающую в желудке бактерию *Helicobacter pylori*, вызывающую язвенную болезнь, связана с «умиротворяющим» действием *T-reg*-клеток на иммунную систему.

Работы Дэвида Сакса (David Sacks) и его коллег из Национальных институтов здоровья проиллюстрировали всю сложность данной ситуации. Дело в том, что, по мнению авторов, неполное уничтожение в организме патогенов имеет положительную сторону. Был поставлен следующий опыт: мышей инфицировали безопасными для них паразитами. Даже если иммунная система животных была здорова, в их организме оставалось небольшое число микроорганизмов, и тогда повторная инфекция получала

достойный отпор. Если же популяция *T*-клеток была бедна клетками *T-reg*, то паразиты уничтожались все до одного, однако при повторном заражении иммунная реакция была столь слабой, будто организм грызунов никогда прежде с этими паразитами не встречался. *T-reg*-клетки, по-видимому, улучшают иммунологическую память, которая обеспечивает невосприимчивость организма к повторным заражениям и лежит в основе действия вакцин.

Есть указания и на то, что клетки *T-reg* способствуют нормальному (с иммунологической точки зрения) протеканию беременности, которая всегда оказывается вызовом иммунной системе. Поскольку плод наследует от матери только половину генов, а вторую получает от отца, он генетически не идентичен матери и по существу может считаться имплантированным органом. От отторжения плод защищает целый ряд механизмов, функционирующих

в трофобласте (плацентарной ткани, соединяющей зародыш со стенкой матки). Трофобласт — не просто физиологический барьер для содержащихся в материнской крови веществ, вредных для плода: в нем продуцируются молекулы-иммуносупрессанты.

При беременности иммунная система будущей матери претерпевает изменения. Есть данные, что у женщин с таким аутоиммунным заболеванием, как рассеянный склероз, в период беременности *T-reg*-клетки проявляют большую активность. Недавно получены дополнительные данные: Александр Бетц (Alexander Betz) из Кембриджского университета обнаружил, что у беременных мышей повышено число материнских клеток *T-reg*. Причем у генетически модифицированных особей, не имеющих *T-reg*, при вынашивании потомства наблюдается массовое проникновение иммунных клеток через плацентарный барьер. Есть основания полагать, что причиной спонтанных абортотворов у некоторых женщин оказывается низкая активность *T-reg*-клеток.

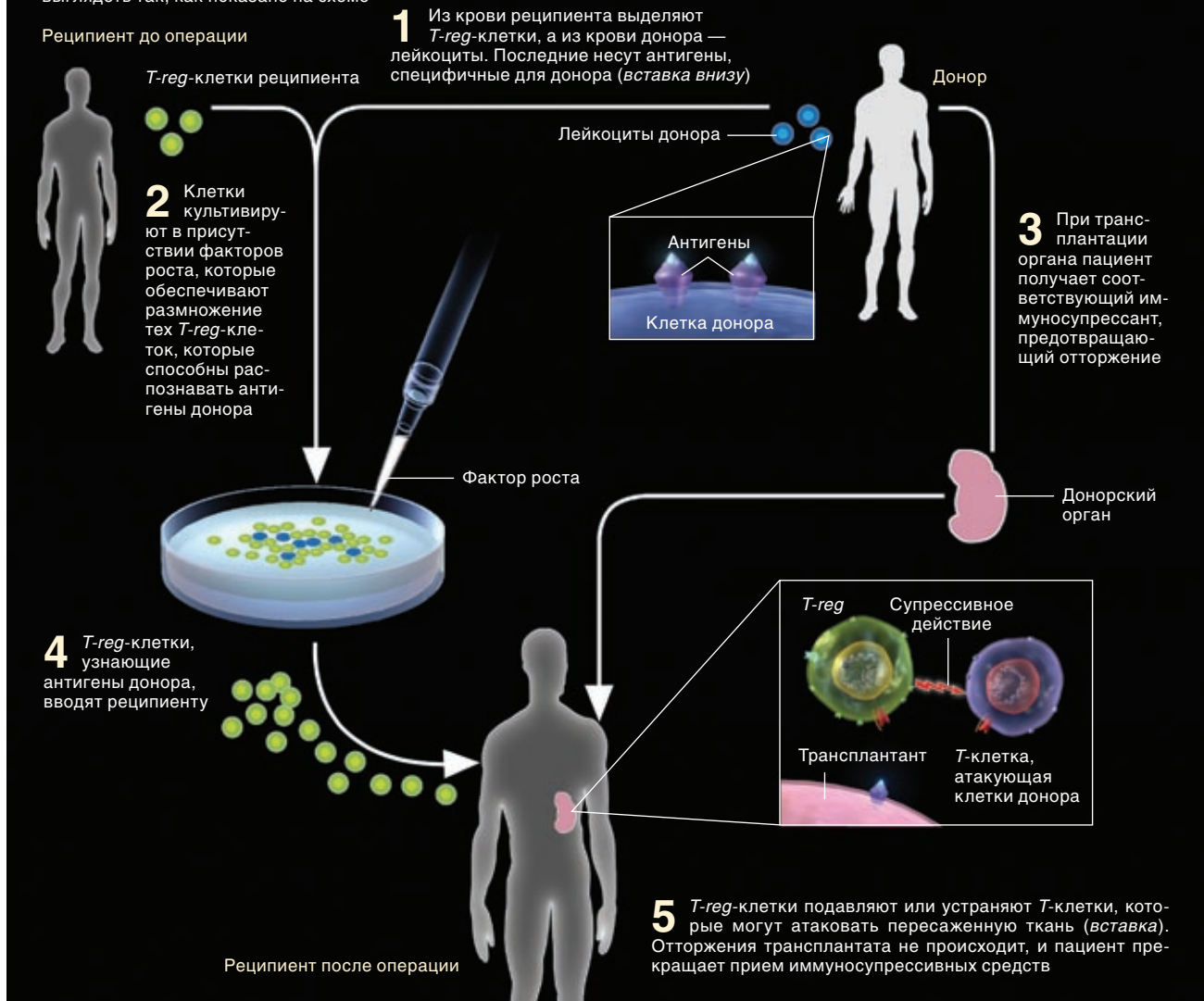
Использование *T-reg*-клеток в медицине

Итак, *T-reg*-клетки являются мощным природным регулятором иммунной системы. Научившись влиять на его работу, мы сможем лечить различные заболевания. Ожидать немедленного практического внедрения подобного способа борьбы с недугами, конечно, не приходится, но имеющиеся данные позволяют надеяться, что введение в организм самих *T-reg*-клеток или препаратов, воздействующих на их активность, уже в скором времени сможет облегчить состояние некоторых больных.

Речь идет, прежде всего, об аутоиммунных заболеваниях. Возможно, с помощью *T-reg*-клеток удастся справиться также с разными видами аллергии. А легкость, с которой клетки *T-reg* «усмиряют» иммунную систему, предполагает, что они могут стать незаменимыми при операциях по пересадке органов. ▶

БУДУЩЕЕ ТРАНСПЛАНТОЛОГИИ?

Наступит время, когда *T-reg*-терапия сможет обеспечивать полное «приживание» пересаженных органов и избавит пациентов от пожизненного приема иммуносупрессантов, оказывающих нежелательное побочное действие. Возможно, вся процедура будет выглядеть так, как показано на схеме



Альтернативный метод мог бы состоять в избирательном устранении определенных компонентов из популяции *T-reg*-клеток для подавления нежелательной иммуносупрессии и, следовательно, для усиления реакции, направленной на нужную мишень. Оптимальным было бы удаление только тех *T-reg*-клеток, которые блокируют специфическую иммунную реакцию. Такая стратегия может быть незаменима в борьбе с инфекционными заболеваниями, при которых иммунная система, предоставленная самой себе, часто

действует не совсем адекватно, например, при туберкулезе и СПИДе.

Уменьшение активности *T-reg*-клеток можно было бы использовать и при лечении онкологии. Компоненты иммунной системы, циркулируя в крови и лимфе, бдительно следят за появлением в организме клеток, превратившихся в раковые. Они распознают их по определенным морфологическим признакам и причисляют к чужеродным агентам. Мешая «патрульным» клеткам иммунной системы выполнять работу, *T-reg* поневоле способствуют образованию

и росту опухоли. При некоторых онкологических заболеваниях пораженные клетки даже помогают в этом клеткам *T-reg*: они секретируют сигнальные молекулы, способные привлечь *T-reg* и инициировать превращение не-*T-reg* в *T-reg*. По наблюдениям некоторых врачей, у больных раком аномально высоко содержание активных *T-reg*-клеток как в крови, так и в самой опухоли.

Технические трудности

До сих пор не было никаких попыток создать препараты, увеличивающие

ВАРИАНТЫ *T-REG*-ТЕРАПИИ

Перечисленные здесь методы уже проходят клинические испытания или находятся на стадии подготовки. Большинство тестируемых веществ, действующих на *T-reg*-клетки, направлены на их уничтожение или подавление активности. Введение таких веществ в организм требует особой осторожности — при передозировке возможно развитие аутоиммунного заболевания

Манипуляции с <i>T-reg</i> -клетками	Заболевание	Принцип действия
Подавление активности или уничтожение (для усиления иммунной реакции)	Рак кожи (меланома), яичников, почек	Токсин присоединяют к интерлейкину-2, который обеспечивает его проникновение в <i>T-reg</i> -клетку. Вводят моноклональные антитела, способные уничтожать <i>T-reg</i> -клетки или блокировать их проникновение в опухоль
Пролиферация в организме пациента (для подавления иммунной реакции)	Рассеянный склероз, псориаз, болезнь Крона, инсулинозависимый сахарный диабет	Готовят вакцину, содержащую компоненты <i>T</i> -клеточного рецептора, с тем, чтобы стимулировать пролиферацию <i>T-reg</i> -клеток
Пролиферация <i>in vitro</i> и введение в организм пациента	Реакция «трансплантат против хозяина» (иммунные клетки пересаженного костного мозга атакуют ткани реципиента)	Культивируют <i>T-reg</i> -клетки донора со специфическими антителами и факторами роста. Вводят образовавшуюся популяцию <i>T-reg</i> -клеток до пересадки костного мозга или во время нее (чтобы предотвратить отторжение) или при угрозе возникновения реакции «трансплантат против хозяина»

или уменьшающие численность популяции *T-reg*-клеток непосредственно в организме человека. Любые средства, которые можно было бы использовать, должны обладать способностью влиять только на те субпопуляции *T-reg*-клеток, которые играют роль в развитии конкретного заболевания. Но как распознать такие клетки, специалисты пока не знают.

Разработка методов, основанных на воздействии на *T-reg in vitro*, тоже представляет серьезную проблему. Самое трудное — получить достаточное число клеток. Несмотря на то, что некоторые *T-reg*-клетки могут полноценно работать, даже находясь в значительном меньшинстве относительно тех, на которые они оказывают супрессорное действие, для эффективного лечения аутоиммунного заболевания могут понадобиться десятки миллионов *T-reg*-клеток. Выделение такого числа этих редких элементов из крови пациента представляется невозможным. И, похоже, без разработки метода амплификации *T-reg in vitro* здесь не обойтись.

К счастью, проблему «больших чисел» можно решить другим способом. Различными исследовательскими группами установлено, что клетки с иммуносупрессивным действием можно создать в относительно больших количествах, обработав

обычные *T*-клетки смесью определенных химических веществ. Идентичны ли такие клетки, названные *Tr1*, искомым *T-reg*-клеткам — пока неясно, но они несомненно обладают ярко выраженными иммуносупрессивными свойствами.

Теперь, когда специалистам известно, что *Foxp3* служит ключевой молекулой, контролирующей развитие и функционирование *T-reg*, можно попробовать получить нужное число регуляторных клеток, используя стандартный лабораторный метод переноса гена *Foxp3* в более многочисленные, а потому добываемые с меньшими трудностями *T*-клетки другого типа. Сейчас над данным методом работают многие исследователи, в том числе и авторы этой статьи. В первую очередь нас интересует, какие молекулярные процессы инициируют синтез белка *Foxp3* во время развития *T-reg*. Может быть, разобравшись в данном вопросе, удастся создать лекарственные вещества, прием которых сделает ненужным выделение соответствующих клеток, их модификацию и введение в организм.

Что касается трансплантации органов, то здесь разрабатывается другой способ получения *T-reg*-клеток с нужными свойствами. Он предусматривает удаление *T-reg* из организма больного, которому предстоит трансплантация, и культивирование их вместе с клетками

соответствующего органа донора. Цель подобной процедуры — получение *T-reg*-клеток с уникальными способностями подавлять отторжение. Один из нас (Сакагучи) доказал, что однократного введения таких клеток во время пересадки кожи достаточно для того, чтобы трансплантированный лоскут полностью прижился. Следует также отметить, что описанная процедура оставляет в неприкосновенности иммунную систему реципиента, несколько не снижая ее способности противостоять инфекционным и другим заболеваниям.

За последние десять лет представления о том, как работает защитная система организма, претерпели существенные изменения. В частности, стало ясно, что хотя она допускает циркуляцию в крови и лимфе потенциально аутодеструктивных *T*-клеток, ею же предусмотрено образование *T*-клеток, контролирующих последние. Выяснив, как появляются такие клетки-регуляторы и почему они обладают столь высокой иммуносупрессивной активностью, мы сможем использовать их для лечения многих смертельно опасных недугов. Позволяя разрушать «чужое» и строго охраняя «свое», *T-reg*-клетки служат настоящими стражами порядка иммунной системы. ■



Зеленые и пурпурные серные бактерии прекрасно чувствуют себя в воде горячего источника, насыщенной сероводородом. Вероятно, в древние времена в периоды массовой гибели живых существ, океанские воды были именно такими

Питер Уорд

ОКЕАН — убийца

Не падения астероидов, а удушливая жара и ядовитые газы стали, скорее всего, причиной массовой гибели организмов, существовавших на Земле в древности

Как считает американский историк и философ науки Томас Кун (Thomas S. Kuhn), научные дисциплины во многом схожи с живыми организмами. Вместо медленного, но неуклонного эволюционного развития они проходят длительные периоды стабильности, прерывающиеся революциями, за каждой из которых следует либо появление нового биологического вида, либо, если говорить о науке, возникновение новой теории. Данное описание прекрасно подходит к моей области исследований, связанной с причинами и последствиями массовых периодически повторявшихся биологических переворотов, когда погибала значительная часть всех живых существ на нашей планете.

После того как более 200 лет назад палеонтологи признали, что подобные события могли происходить на Земле, ученые стали считать, что

их причинами были определенные климатические изменения и такие биологические факторы, как видовая конкуренция и болезни. Однако в 1980 г. группа исследователей из Калифорнийского университета в Беркли, возглавляемая геологом Уолтером Альваресом (Walter Alvarez), выдвинула предположение, что падение на Землю астероида и последовавшие за этим катастрофические нарушения экосистемы, произошедшие 65 млн. лет назад, стали причиной гибели динозавров. В последующие 20 лет эта идея получила широкую поддержку, а многие специалисты заключили, что именно космические странники виноваты, по меньшей мере, в трех из пяти волн массового вымирания биологических видов на нашей планете.

Сегодня назревает очередная трансформация наших представлений о прерванном когда-то существовании организмов на Земле. Новые геохимические данные, источником которых стали слоистратифицированной горной породы, где в геологической летописи отчетливо прослеживаются следы катастроф, а также органические биомаркеры (химические остатки, принадлежавшие крошечным формам жизни, после которых обычно не остается окаменелостей) позволили предположить, что падение астероидов как причина массового вымирания биологических видов было скорее исключением, нежели правилом. В большинстве случаев наша планета сама выступала в качестве злейшего врага различных

форм жизни на своей поверхности. Однако, возможно, что сегодня существованию биосферы Земли угрожает деятельность человека.

Исследования после Альвареса

Энтузиазм, с которым была принята версия удара небесного тела о Землю, будет понятнее, если обратиться к ее обоснованию. Сценарий, предложенный Уолтером Альваресом, его отцом, физиком Луисом Альваресом (Luis W. Alvarez), и химиками-ядерщиками Хелен Мичел (Helen V. Michel) и Фрэнком Асаро (Frank Asaro), основывался на двух различных гипотезах. Согласно первой из них, 65 млн. лет назад астероид размером около 10 км в диаметре врезался в Землю. В соответствии со второй, в результате экологических последствий этого столкновения погибло более половины всех биологических видов, обитавших на планете. О той катастрофе свидетельствует редко встречающийся на Земле, но часто присутствующий в космических телах металл иридий.

Через 10 лет был найден след того астероида — кратер Чиксулуб, расположенный на полуострове Юкатан в Мексике. Это обстоятельство сняло большую часть еще остававшихся сомнений, действительно ли удар небесного тела положил конец эпохе динозавров. Но одновременно возник ряд новых вопросов: если рассмотренный случай гибели земных организмов был вызван падением астероида, то что послужило причиной ▶

других катаклизмов? Большинство форм жизни на планете прекращало свое существование как минимум 5 раз за последние 500 млн. лет. Впервые это случилось в конце ордовикского периода, примерно 443 млн. лет назад. Во второй раз — 374 млн. лет назад, в конце девонского периода. Наиболее масштабным стало так называемое «Великое вымирание» в конце пермского периода, 251 млн. лет назад, когда исчезло 90% всех морских обитателей, а также 70% сухопутных растений, животных и даже насекомых. Следующая массовая гибель земных организмов произошла 201 млн. лет назад, в конце триасового периода, и, наконец, 65 млн. лет назад в меловой период.

Как предрекал в начале 90-х гг. XX в. в книге «Вымирание: плохие гены или невезение?» (*Extinctions: Bad Genes or Bad Luck?*) американский палеонтолог Дэвид Рауп (David Raup), когда-нибудь будет доказано, что именно падения небесных тел стали причиной всех случаев массовой гибели растительности и животных. Свидетельства тому в геологическом слое границы мелового (критского) и третичного периодов (граница К/Т), вполне убедительны. К их числу, помимо кратера Чиксулуб, относятся иридий, присутствующий в грунте, а также деформированные ударной волной и рассеянные по всему земному шару обломки пород. Все новые данные химического исследования древних осадочных отложений подтвердили изменения состава атмосферы и климата планеты, последовавшие вскоре после столкновения с астероидом.

В начале 70-х гг. XX в. геологи решили, что тонкий слой иридия связан с мором в конце девонского периода. К 2002 г. отдельные открытия позволяли предположить падения астероидов в конце триасового и пермского периодов. Так, в слое породы первого были найдены слабые следы иридия, а во втором в обломках метеоритов были обнаружены сложные молекулы углерода — бакиболы (фуллерены), которые, как считалось, содержали образцы внеземных газов. Таким образом, многие ученые допускают, что в четырех случаях из пяти причиной биологической катастрофы стали астероиды или кометы. Однако события ордовикского периода связали с мощным гамма-всплеском, происшедшим в непосредственной близости от Солнечной системы.

Между тем исследователи обнаружили некоторые противоречия. Как показал новый анализ окаменелостей, вымирание биологических видов в пермский и триасовый периоды происходило постепенно, на протяжении сотен тысяч лет. Полученные новые данные изменений содержания углерода в атмосфере (углеродный цикл) также говорили о том, что биосфера Земли не испытала один разрушительный удар, а длительное время подвергалась целой серии различных видов неблагоприятного воздействия.

Не столь уж внезапный удар

При изучении границы мелового (критского) и третичного периодов было установлено, что падение на Землю крупного небесного тела напоминает сильное землетрясение,

превращающее в руины большое поселение. Оно бывает неожиданным, но непродолжительным, и после его окончания город быстро восстанавливается. Эта скорость разрушения и последующего «возрождения из пела» отражена в данных углеродно-изотопного анализа границы К/Т, а также в палеонтологической летописи. На границе периодов оказались хорошо видны признаки внезапной гибели наиболее мелких и самых многочисленных ископаемых организмов — известкового и кремнистого планктона, а также спор растений. Чем крупнее они были, тем медленнее происходило их вымирание.

Палеонтологи поняли, что столь очевидная закономерность объясняется немногочисленностью образцов крупных ископаемых животных в большей части исследуемых слоев почвы и горных пород. Чтобы получить более ясное представление о скорости вымирания организмов, палеонтолог Гарвардского университета Чарлз Маршалл (Charles Marshall) разработал новый статистический протокол для анализа разных категорий ископаемых. В 1996 г. мы с Маршаллом проверили его метод на стратиграфическом (геологическом) разрезе границы мелового и третичного периодов. Как выяснилось, в европейских водах крупные морские животные (моллюски аммонитов, ископаемые родственники современных наутилусов), вымирали очень быстро, о чем свидетельствует их внезапное исчезновение на границе К/Т. Впрочем, проведенное моей группой исследование слоев, представлявших морскую и сухопутную среду в конце пермского и триасового периодов, показало, что тогда вымирание биологических видов происходило, наоборот, постепенно.

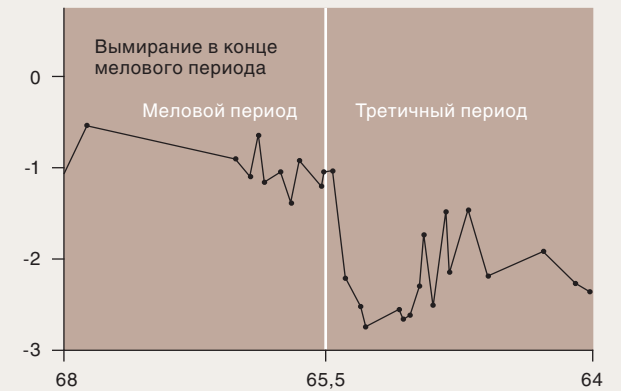
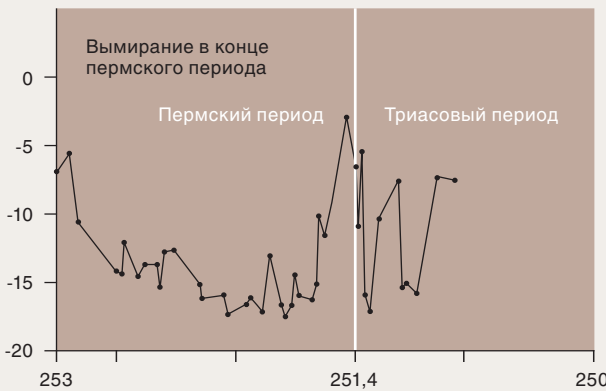
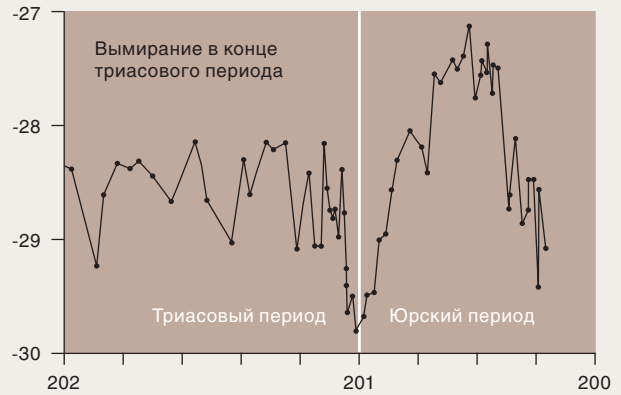
Данные углеродно-изотопного анализа подтверждают эти результаты. Атомы углерода существуют в природе в трех разновидностях изотопов, отличающихся друг от друга тем, что их ядра содержат различное число электрически нейтральных частиц, или нейтронов.

ОБЗОР: ЗАКОНОМЕРНЫЙ МЕХАНИЗМ

- За последние 500 млн. лет более половины всех организмов, существовавших на Земле, были уничтожены.
- Исчезновение динозавров принято считать следствием падения астероида, другие причины этой биологической катастрофы не получили убедительного объяснения.
- Новые геохимические данные говорят о существовании беспощадного природного механизма, виновника самых массовых случаев гибели земных организмов. Суть его заключается в следующем: в результате глобального потепления океан испытывает нехватку кислорода и выделяет в атмосферу ядовитый газ.

ИЗМЕНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

Как показывает обнаруженный в геологическом разрезе изотоп углерод-13 (^{13}C), к двум из трех случаев вымирания причастен механизм продолжительного действия. При благополучии наземных и морских растений в атмосфере преобладает изотоп ^{13}C . В случае массовой гибели растительности пропорциональная доля ^{13}C в атмосферном углероде резко сокращается. При сопоставлении древних образцов с обычным углеродом наблюдаем прерывистое падение кривой количества изотопа ^{13}C в конце пермского (левый график) и к концу триасового (правый верхний график) периодов. Прерывистость линии отражает множественные биологические кризисы на протяжении сотен тысяч и более лет, тогда как ровное и непрерывное падение кривой количества того же изотопа на границе мелового и третичного периодов (правый нижний график) говорит об одной внезапной экологической катастрофе



По вертикали: отклонение по изотопу углерод-13 от нормального органического углерода; по горизонтали: время (млн. лет назад)

Многим знаком изотоп — углерод-14 (^{14}C) — его разрушение часто используется для датировки найденных окаменелостей или образцов древних осадочных отложений.

Однако для оценки масштабов массовой гибели живших на Земле организмов, из геологического разреза целесообразнее получать информацию об изотопах ^{12}C и ^{13}C , изменение соотношения которых происходит, главным образом, в процессе фотосинтеза. Растения используют энергию Солнца для разложения двуокиси углерода (CO_2) и превращения ее в органический углерод, который необходим им для формирования собственных клеток и получения энергии химических связей. К счастью для животного мира, в который входит и человек, побочным продуктом этого процесса оказывается свободный кислород. Однако растения весьма разборчивы и неизменно

отдают предпочтение двуокиси углерода, содержащей изотоп ^{12}C . Таким образом, при обильной растительности — во всех ее формах, включая фотосинтезирующие микробы, плавающие водоросли, высокие деревья и т.д., — большая часть двуокиси углерода в атмосфере содержит изотоп ^{12}C , тогда как количество изотопа ^{13}C заметно сокращается.

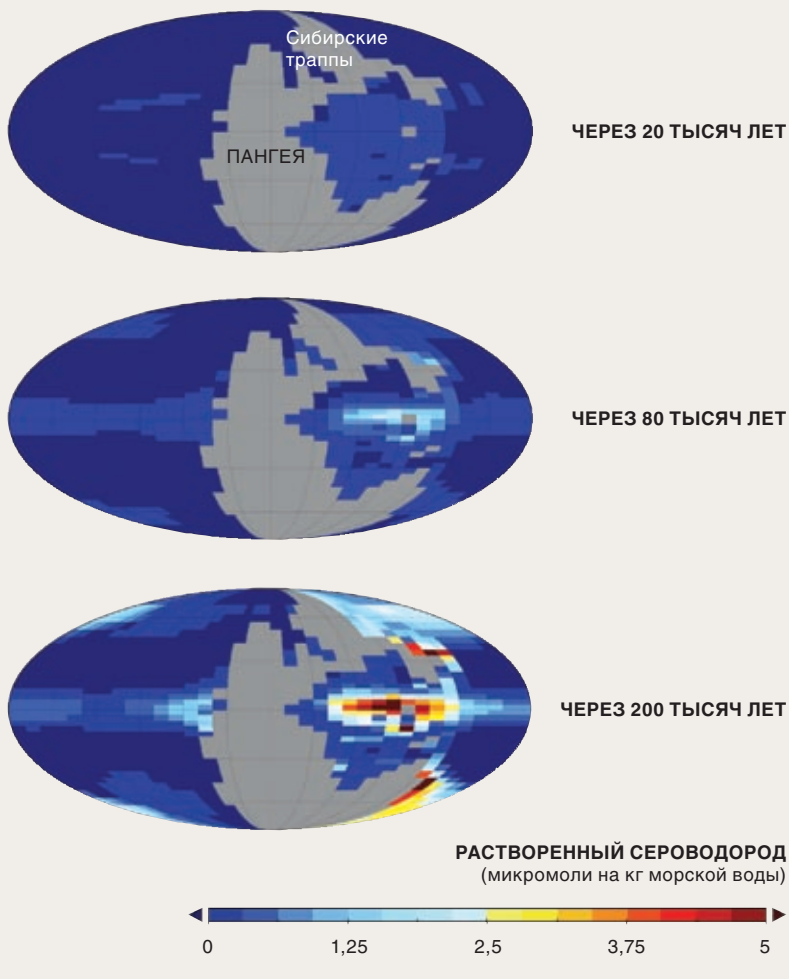
Изучая соотношение изотопов в образцах, относящихся к моментам до, во время и после массового вымирания, исследователи получают надежный индикатор состояния растительности на суше и в океане. Использование полученных данных, относящихся к границе мелового и третичного периодов, позволило получить довольно любопытную картину. Практически одновременно с появлением так называемого «ударного слоя», содержащего следы обломков горных пород,

изменилось соотношение изотопов углерода и резко упало содержание в атмосфере изотопа ^{13}C , что означало внезапную гибель как крупных наземных растений, так и микроскопического морского планктона. Однако уже через короткое время начался этап быстрого восстановления, о чем свидетельствует палеонтологическая летопись.

Совершенно иную ситуацию выявила в начале 2005 г. моя группа, изучавшая данные по изотопам углерода в пермский, а позднее и в триасовый период, когда растениям и планктону пришлось пережить две волны массовой гибели. В обоих случаях, как следует из многочисленных колебаний показателей количества изотопов с интервалами от 50 до 100 тыс. лет, растительные сообщества подвергались жестоким воздействиям, восстанавливались, а затем сталкивались с целой ▶

МЕДЛЕННОЕ ОТРАВЛЕНИЕ

Компьютерное моделирование событий, происходивших в конце пермского периода, демонстрирует процесс роста концентрации в атмосфере Земли ядовитого сероводорода и постепенного уменьшения запасов кислорода в поверхностных водах мировых океанов. Модель, построенная Катей Мейер (Katja M. Meyer) и Ли Кампом (Lee R. Kump) из Университета штата Пенсильвания, наглядно показывает, как мощная вулканическая деятельность, начавшаяся около 251 млн. лет назад в регионе Сибирские траппы древнего суперконтинента Пангея, вызвала глобальное потепление климата, которое, в свою очередь, стало началом катастрофы в экосистеме



серией новых, неблагоприятных для их выживания явлений. Для подобных изменений потребовался бы ряд последовательных ударов астероидов с промежутками в тысячи лет. Однако минералогических признаков цепочки таких ударов в эти два периода не было выявлено.

На самом деле, более тщательное исследование заставило задуматься о вероятности вообще каких бы то ни было падений астероидов в указанные периоды. Ни одна другая исследовательская группа так и не

смогла обнаружить бакиболы конца пермского периода, которые бы содержали образцы внеземных газов. Не подтвердились и заявления о находке образцов кварца, относящегося к этому периоду и измененного в результате удара. К тому же геологи не пришли к согласию в вопросе о том, что представляют собой ударные кратеры, расположенные в глубоководной части океана возле Австралии и подо льдом в Антарктике. Может быть, это просто природные образования? Количество

иридия, найденного в слое конца триасового периода, оказалось столь незначительным, что речь могла идти о падении какого-то небольшого космического тела, но уж никак не о катастрофе планетарного масштаба, произошедшей на границе К/Т.

Этот страшный парник

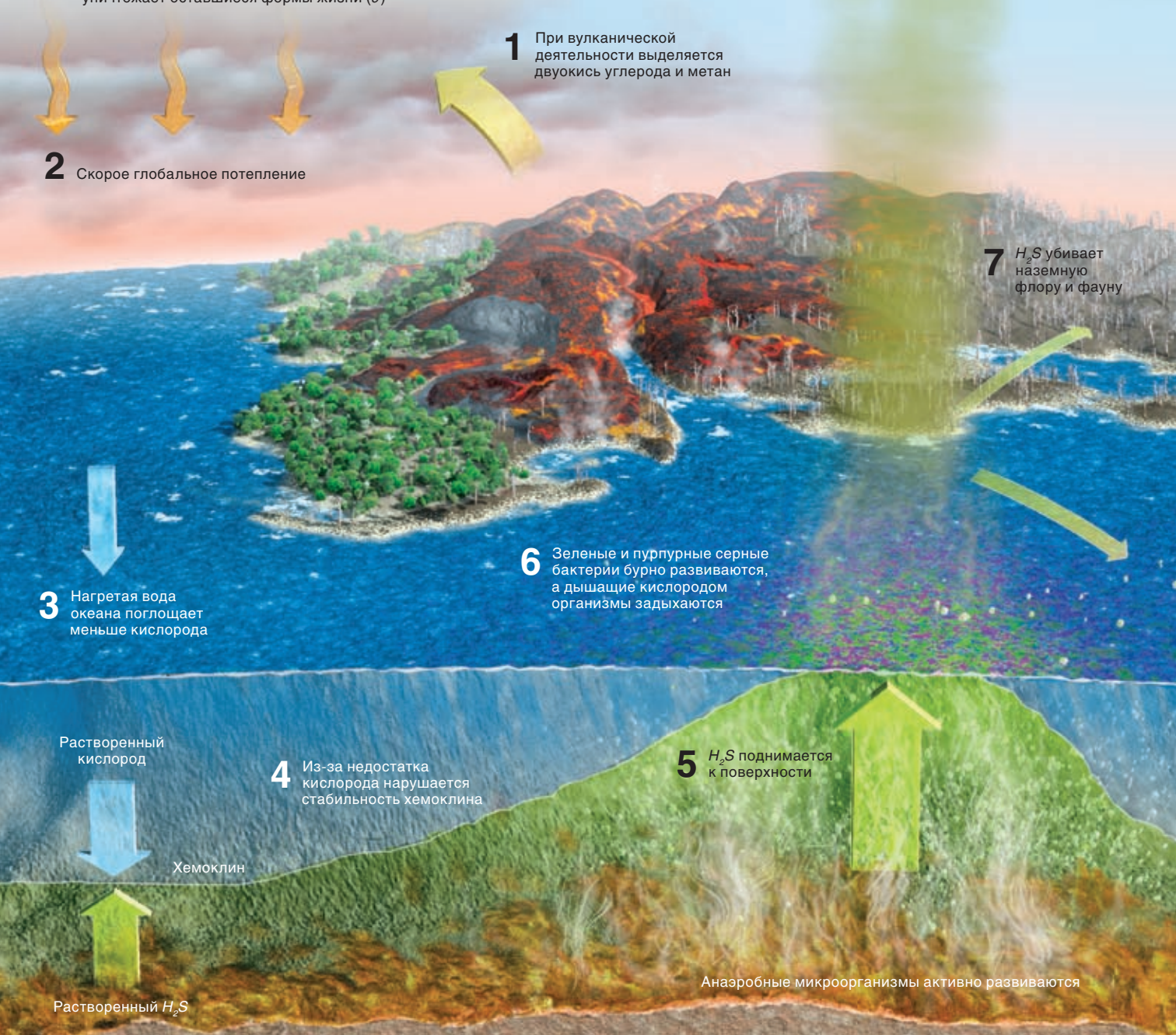
Пять лет назад геологи и химики-органики приступили к совместной работе по изучению условий окружающей среды в критические моменты истории Земли. Исследования предполагали извлечение из древних слоев всевозможных органических остатков, в которых они искали биомаркеры. Дело в том, что после гибели некоторых организмов остаются прочные органические молекулы, пережившие разложение тела и оказавшиеся погребенными в осадочных породах. Такие биомаркеры могут рассказать о давно исчезнувших жизненных формах, которые обычно не образуют никаких скелетных окаменелостей. Например, всевозможные виды микробов оставляют следы особых липидов, присутствовавших в их клеточных оболочках, и сегодня они могут быть выявлены с помощью новых видов масс-спектрометрии — метода классификации молекул по их массе.

Первым объектом исследования на основе биомаркеров стали образцы породы, относящиеся к периоду до появления животных и растений. В последние годы исследователи приступили к отбору образцов в слоях, относящихся к началу массовой гибели организмов. Полученные данные свидетельствовали о том, что во все эти периоды, за исключением границы К/Т, в водах Мирового океана неоднократно создавались условия, при которых содержание кислорода было чрезвычайно низким (аноксия).

Среди обнаруженных биомаркеров присутствовали остатки множества крошечных фотосинтезирующих зеленых серных бактерий. Сегодня эти микроорганизмы вместе со своими родственниками, пурпурными серными бактериями, обитают в бескислородной глубине ▶

ПАРНИКОВЫЙ ЭФФЕКТ

Новая модель массового вымирания в конце пермского периода 251 млн. лет назад и в конце триасового периода через 50 млн. лет показывает, каким образом значительное потепление климата может вызывать гибель организмов в океане и на суше. Все начинается с бурной вулканической деятельности, при которой в атмосферу выбрасывается огромное количество двуокиси углерода и метана (1). Присутствие этих газов вызывает резкое глобальное потепление (2). Нагретая вода мирового океана поглощает меньше кислорода из атмосферы (3). Пониженное содержание кислорода (аноксия) в морской воде нарушает стабильность хемоклина — слоя, отделяющего насыщенную кислородом воду от той, где растворен сероводород (H_2S), который вырабатывают живущие на дне анаэробные микроорганизмы (4). После увеличения концентрации H_2S и падения уровня содержания в воде кислорода, хемоклин внезапно всплывает на поверхность океана (5). Фотосинтезирующие зеленые и пурпурные серные бактерии, заселяют теперь богатые H_2S поверхностные воды, а дышащие кислородом морские животные и растения погибают (6). Сероводород распространяется в воздушной среде, убивая наземную флору и фауну (7), а затем достигает тропосферы и разрушает озоновый слой планеты (8). После чего, не встречая преграды, УФ-радиация солнца уничтожает оставшиеся формы жизни (9).





На снимке, сделанном со спутника, видны места выделения сероводорода у побережья Намибии, которые выглядят как бледно-зеленые завихрения на поверхности океана. Подобные явления наблюдаются здесь регулярно — как результат накопления данного газа в местных донных отложениях. Сегодня они дают некоторое представление о том, в каких условиях происходили когда-то мощные глобальные выбросы сероводорода, ставшие, как предполагается, причиной нескольких случаев массовой гибели организмов в древности

Черного моря или загнивающих пресноводных водоемов. Следует добавить, что речь идет о веществах, которые получают энергию за счет окисления сероводорода (H_2S), ядовитого для большинства других форм жизни газа, и переработки его в серу. Таким образом, обилие подобных бактерий на границах периодов вымирания давало возможность

ОБ АВТОРЕ

Питер Уорд (Peter D. Ward), профессор Вашингтонского университета, где на факультете биологии и на факультете земных и космических наук он проводит исследования по изучению Земли и космоса. Собранные сведения по наиболее ранним биологическим формам Земли Уорд использует в исследованиях для Института астробиологии NASA по поиску приемлемых для существования жизни планет. Автор множества популярных статей (в том числе для *Scientific American*) и книг («Исключительность Земли: почему сложные формы жизни так редки во Вселенной» (*Rare Earth: Why Complex Life Is So Uncommon in the Universe*)).

по-новому объяснить причины массовой гибели земных организмов.

Ученые установили, что в районе периодов массового вымирания содержание кислорода в земной атмосфере было ниже, чем сегодня. Мощная вулканическая деятельность, которую также связывали с большей частью биологических катастроф, могла повысить уровень двуокиси углерода (CO_2) в атмосфере, что должно было сопровождаться сокращением количества кислорода и вело к резкому потеплению климата. Именно эта версия долгое время оставалась альтернативной той, где предполагалось падение на Землю астероидов. Впрочем, гипотеза, согласно которой изменения были вызваны извержениями вулканов, никак не могла объяснить ни массовое вымирание морских видов живых организмов в конце пермского периода, ни гибель растений на суше, поскольку при повышенном уровне CO_2 растительность должна была бы бурно развиваться

Впрочем, с помощью маркеров, обнаруженных в океанских отложениях конца пермского и в образцах породы конца триасового периодов, исследователям удалось получить доказательства того, что в те времена все пространство океана было освоено бактериями, поглощающими сероводород (H_2S). Такие микроорганизмы могут жить лишь в бескислородной среде и нуждаются в солнечном свете для фотосинтеза, поэтому уже одно их присутствие в мелких морских водах является показателем того, что в конце пермского периода даже поверхность океанов была лишена кислорода и насыщена сероводородом.

В наше время кислород присутствует в океанской воде примерно в равных концентрациях от самой поверхности до дна, куда он доставляется морскими течениями. Лишь благодаря особым условиям, которые сложились сегодня в Черном море, в полном отсутствии кислорода в воде донной части прекрасно чувствуют себя самые разнообразные анаэробные микроорганизмы, которые вырабатывают большое

количество сероводорода, растворяющегося в морской воде. С увеличением его концентрации H_2S поднимается вверх и встречается в пути с распространяющимся вниз кислородом. Пока их баланс не нарушен, две массы воды, из которых одна насыщена кислородом, а другая — сероводородом, не смешиваются и остаются отделенными друг от друга стабильным слоем, называемым хемоклин. Обычно именно здесь живут зеленые и пурпурные серные бактерии, получающие снизу сероводород, а сверху — солнечный свет.

Однако согласно расчетам, подготовленным Ли Кампом (Lee R. Kump) и Майклом Артуром (Michael A. Arthur) из Университета штата Пенсильвания, в случае резкого сокращения уровня кислорода в океанских водах создадутся благоприятные условия для глубоководных анаэробных бактерий, которые начинают быстро размножаться и производить большее количество сероводорода. Согласно их моделям, если в такой период глубоководная концентрация H_2S превысит некий критический предел, хемоклин, разделяющий насыщенные сероводородом глубинные и богатые кислородом поверхностные воды, может резко всплыть. В итоге в атмосферу в огромных объемах попадает ядовитый газ сероводород.

По данным исследований, в конце пермского периода в океанских водах вырабатывалось достаточное количество H_2S , провоцирующее внезапные выбросы сероводорода в атмосферу и массовую гибель наземных и морских организмов (рис. на стр. 40). Как показывают модели Александра Павлова из Аризонского университета, выделившийся сероводород должен был разрушительно воздействовать на озоновый слой Земли — особый атмосферный слой, защищающий все живое от чрезмерных доз ультрафиолетового излучения Солнца. Доказательством того, что в конце пермского периода действительно произошло разрушение озонового слоя, являются найденные на острове Гренландия ископаемые споры

с аномалиями развития, которые, как известно, возникают в результате длительного воздействия больших доз УФ-излучения. Сегодня мы можем также наблюдать, как под «дырами» в озоновом слое, в особенности над Антарктикой, в океане происходит быстрое уменьшение биомассы растительного планктона.

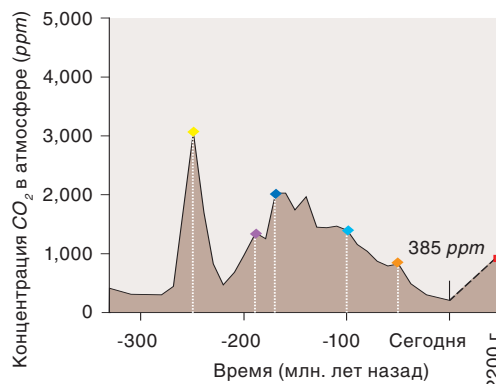
По оценкам Кампа и Артура количество сероводорода, поступавшее в атмосферу из океанов в конце пермского периода, более чем в 2 тыс. раз превышает объем сегодняшних вулканических выбросов. Тогда ядовитый газ должен был погубить и растения, и животных. Кроме того, смертоносное действие H_2S усиливалось из-за повышения температуры воздуха.

Известно, что одновременно с массовым вымиранием организмов происходили мощные извержения вулканов, и огромное количество двуокиси углерода и метана поступало в атмосферу, вызывая резкое потепление климата планеты. Данные углеродно-изотопного анализа подтверждают, что в конце пермского и триасового, в начале юрского, в середине мелового периодов и в конце палеоцена, т.е. непосредственно перед началом массовых вымираний, происходило стремительное повышение концентрации CO_2 в земной атмосфере. Впоследствии повышенная концентрация углекислого газа сохранялась еще от сотен тысяч до нескольких миллионов лет.

Кроме того, нагревание затрудняет поглощение водой кислорода из атмосферы. Таким образом, если древняя вулканическая деятельность повышала уровень CO_2 и сокращала количество кислорода в атмосфере, а глобальное потепление мешало усвоению океанами оставшегося кислорода, то это должно было создавать благоприятные условия для глубоководных анаэробных бактерий, помогая им в выработке огромного количества сероводорода. Первыми пострадали потребляющие кислород морская флора и фауна, в то время как фотосинтезирующие зеленые и пурпурные

ДВИЖЕМСЯ К ОЧЕРЕДНОМУ ВЫМИРАНИЮ?

В периоды массового вымирания в древности наблюдалась высокая концентрация двуокиси углерода (CO_2) в атмосфере — подтвержденные роли глобального потепления климата в тех событиях. Сегодня этот показатель составляет 385 ppm (частей на миллион частей воздуха) и, как прогнозируется, будет возрастать на 2–3 ppm ежегодно. При сохранении этой тенденции к концу следующего столетия содержание CO_2 в земной атмосфере приблизится к 900 ppm — чуть ниже соответствующих уровней палеоцена 54 млн. лет назад, когда резкое потепление климата сопровождалось вымиранием земных организмов



бактерии, питающиеся H_2S , могли бурно развиваться на поверхности бедного кислородом океана. Когда от сероводорода стали задыхаться сухопутные растения и животные, и началось разрушение защитного озонового слоя планеты, угроза нависла практически над каждой из форм земной жизни.

Гипотеза Кампа о планете, убивающей жизнь на своей поверхности, показывает связь между массовым вымиранием морских и сухопутных организмов в конце пермского периода и поясняет, каким образом активность вулканов и повышенное содержание CO_2 в атмосфере могли запустить общий разрушительный процесс. Эта же теория объясняет наличие серы в слое конца пермского периода.

Наконец, предложенная Кампом последовательность развития событий относится не только к концу пермского периода. Ученые уже давно связывали ограниченное вымирание биологических видов в конце палеоцена 54 млн. лет назад с кратковременным глобальным потеплением и вызванным этим кислородным обеднением океана. Полученные сегодня биомаркеры и геологические свидетельства понижения уровня кислорода в океанской воде говорят о том, что то же самое могло происходить

в конце триасового, в середине мелового и в конце девонского периодов. Поэтому есть основания предположить: вымирание организмов, ставшее следствием парникового эффекта, — событие, неоднократно повторявшееся в истории Земли. Если подобное случилось раньше, может ли это повториться вновь? Хорошо бы, чтобы население Земли никогда этого не узнало. ■

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Rivers in Time: The Search for Clues to Earth's Mass Extinctions. Peter D. Ward. Columbia University Press, 2002.
- Abrupt and Gradual Extinction among Late Permian Land Vertebrates in the Karoo Basin, South Africa. Peter D. Ward et al. In Science, Vol. 307, pages 709-714; February 4, 2005.
- Photic Zone Euxinia during the Permian-Triassic Superanoxic Event. Kliti Grice et al. In Science. Vol. 307, pages 706-709; February 4, 2005.
- Massive Release of Hydrogen Sulfide to the Surface Ocean and Atmosphere during Intervals of Oceanic Anoxia. Lee R. Kump, Alexander Pavlov and Michael A. Arthur in Geology, Vol. 33, No. 5, pages 397-400; May 2005.



Нерка проплывает мимо медведя, занятого ловом лосося в небольшой речке на Аляске. Когда рыба готова к нересту в пресной воде, ее туловище приобретает ярко-красную, а голова — бледно-зеленую окраску.

Скотт Дженди и Томас Квинн

ЛОСОСЬ — ПИЦЦА ЛЕСА

Медведи, большие любители лосося, удобряют лес недоеденными остатками своего пиршества. Ценные питательные вещества, содержащиеся в рыбе, служат подкормкой целой армии животных и растений

В диких лесах Северной Америки можно стать свидетелем поразительного зрелища: медведи, расположившиеся вдоль речек и ручьев, ловят нерестящегося лосося. Мишки-рыболовы уже давно привлекали внимание людей, в особенности сотрудников рыболовецких хозяйств, которые в конце 1940-х гг. предложили радикально снизить численность четвероногих «конкурентов» на Аляске, чтобы уменьшить экономический ущерб, который они наносили популяции лосося. Появлялись даже апокалиптические сообщения, что Аляска придет к финансовому и социальному коллапсу, если численность медведей не будет ограничена.

К счастью, здравый смысл восторжествовал, и тотального отстрела медведей так и не случилось. Научный интерес к взаимоотношениям между сухопутными хищниками и рыбой тоже угас. Однако недавно исследователи обнаружили новые факты, радикально изменившие мнение об экологическом балансе между популяцией лосося, реками и окружающими их лесами, а также представление о том, как можно их использовать.

За последние 10 лет мы прошагали сотни километров вдоль лососевых рек, изучили сотни тысяч тушек лосося и встречались с разъяренными медведями значительно чаще, чем хотелось бы. Наши открытия удивили нас самих: оказалось, что

недоеденными остатками лосося медведи удобряют леса. Делают они это ненамеренно, но в результате привносят в приречные леса ценные питательные вещества морского происхождения: недоеденная рыба обеспечивает существование множества животных и растений. Наличие такого пути притока полезных элементов из океана в реки и далее в леса оказалось совершенно неожиданным для нас. Более внимательный взгляд на жизнь хищника и его любимое лакомство помог зоологам понять, как функционирует столь необычная «линия доставки».

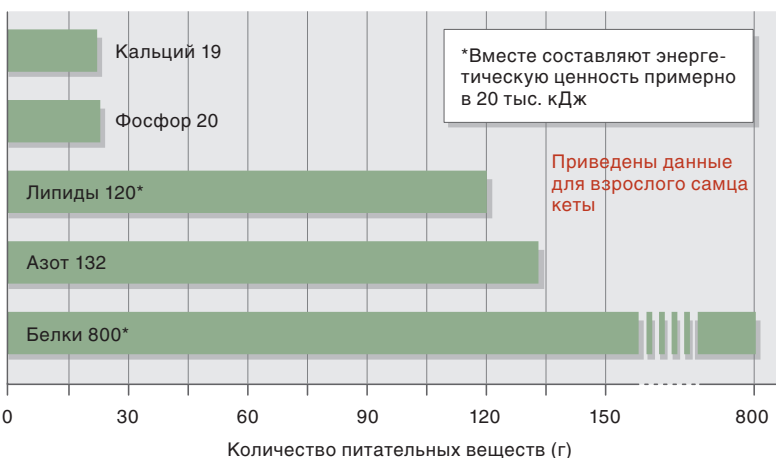
Срочная доставка продуктов питания

Тихоокеанские лососи (в том числе чавыча, кижуч, кета, горбуша и нерка) различаются по своей численности, размеру и поведению, однако все они принадлежат к одному биологическому роду (*Oncorhynchus*) и имеют сходный жизненный цикл. Весной на каменистом дне речек и озер вылупляются мальки, которые по прошествии некоторого времени, варьирующего для разных видов, мигрируют в океан. Прожив в море от одного до четырех лет, они отправляются обратно в свои родные реки, чтобы выметать там икру и умереть. Когда мальки покидают пресную воду, они еще очень малы и весят от 1 до 20 г; по возвращении же их вес составляет от 2 до 10 кг и более. Следовательно, несмотря ▶

на то, что большинство молодняка находит свою смерть в море, обратная миграция и гибель взрослого лосося обеспечивает большой приток полезных веществ и энергетических ресурсов из океанов в речные и озерные экосистемы, что чрезвычайно важно для них, поскольку рыба, тем более в таком количестве, необыкновенно богата питательными элементами. Например, в тушке взрослого нерестящегося самца кеты содержится в среднем 130 г азота, 20 г фосфора, а кроме того — белки и жиры, энергетическая ценность которых составляет более 20 кДж. Умножив среднее содержание питательных веществ в одной особи на общее количество рыбы, мы подсчитали, что за месяц с небольшим на 250 м речного берега юго-востока Аляски вследствие разложения тушек кеты было привнесено более 80 кг азота и 11 кг фосфора.

Другую часть такого экологического уравнения составляет поведение главных любителей лосося — обыкновенных бурых медведей (*Ursus arctos*), которых еще называют гризли, и черных американских медведей (*Ursus americanus*). Лосось — принципиально важный ресурс для косолапых, поскольку их выживание и репродуктивный успех зависят от количества жира, который они успеют нагулять в конце лета и осенью. Медведи залегают в берлоги в начале зимы и в течение последующих 6–7 месяцев не едят и не пьют. Однако их состояние нельзя назвать спячкой в полном смысле слова, температура их тела остается выше температуры окружающей среды, поэтому они должны вырабатывать тепло, чтобы поддерживать метаболизм

ПИТАТЕЛЬНЫЕ ВЕЩЕСТВА В ЛОСОСЕ



ВЫЛОВ РЫБЫ МЕДВЕДЯМИ

Река	Среднее количество лосося	В среднем выловлено медведями	Средний процент вылова медведями
Беар	3907	1183	32
Биг-Уайтфиш	786	342	48
Игл	818	399	53
Фенно	5228	666	12
Хансен	6229	2450	49
Хидден-Лейк	2010	671	43
Литл-Уайтфиш	173	93	58
Пик	5837	1949	35

Лосось содержит такие ценные питательные вещества и плотность его популяции столь велика, что эта морская рыба оказывает огромное влияние на пресноводную экосистему. Авторы подсчитали, что в результате медвежьей рыбалки вдоль нескольких рек на Аляске общее количество азота и фосфора, накапливающегося вследствие разложения тушек лосося, равняется или даже превышает концентрацию промышленно производимых удобрений, рекомендуемых для растений северных лесов

на протяжении холодных месяцев. Кроме того, именно в зимний период самки рожают детенышей и выкармливают их молоком.

Выживание медведей и их малышей напрямую зависит от физического состояния зверей осенью: естественный отбор благоволит к тем из них, кому удастся извлечь из съеденной рыбы максимальное количество питательных веществ, что и определяет два вида поведения. Первая особенность заключается в том, что многие животные вытаскивают пойманного лосося на берег и уносят в лес, чтобы избежать столкновений с сородичами. Дело в том, что взрослые особи ведут преимущественно одиночный образ жизни

ОБЗОР: ИЗ МОРЯ НА БЕРЕГ ЛЕСНОЙ РЕЧКИ

- Чтобы избежать столкновений с сородичами, медведи часто вытаскивают пойманного лосося на берег реки или уносят в лес.
- Оказавшись в одиночестве и в безопасности, они обычно съедают лишь самую питательную часть рыбы и бросают остальную тушку, в которой содержится множество полезных минеральных веществ и калорий.
- Останки рыбы обеспечивают питанием целую армию животных и растений.

ЭНЕРГИЯ МОРЯ

Традиционно считалось, что поток питательных веществ в речных экосистемах движется только в одном направлении (оранжевые стрелки) — из леса в ручьи и реки и затем в море. Теперь исследователи знают, что там, где есть медведи и лосось, органические соединения перемещаются и в противоположном направлении (серые стрелки)

ТРАДИЦИОННЫЙ ПОТОК ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ
Питательные вещества (например, листья и насекомые) падают в ручьи и реки и плывут по течению в море

ПОТОК ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИ УЧАСТИИ МЕДВЕДЕЙ И ЛОСОСЯ

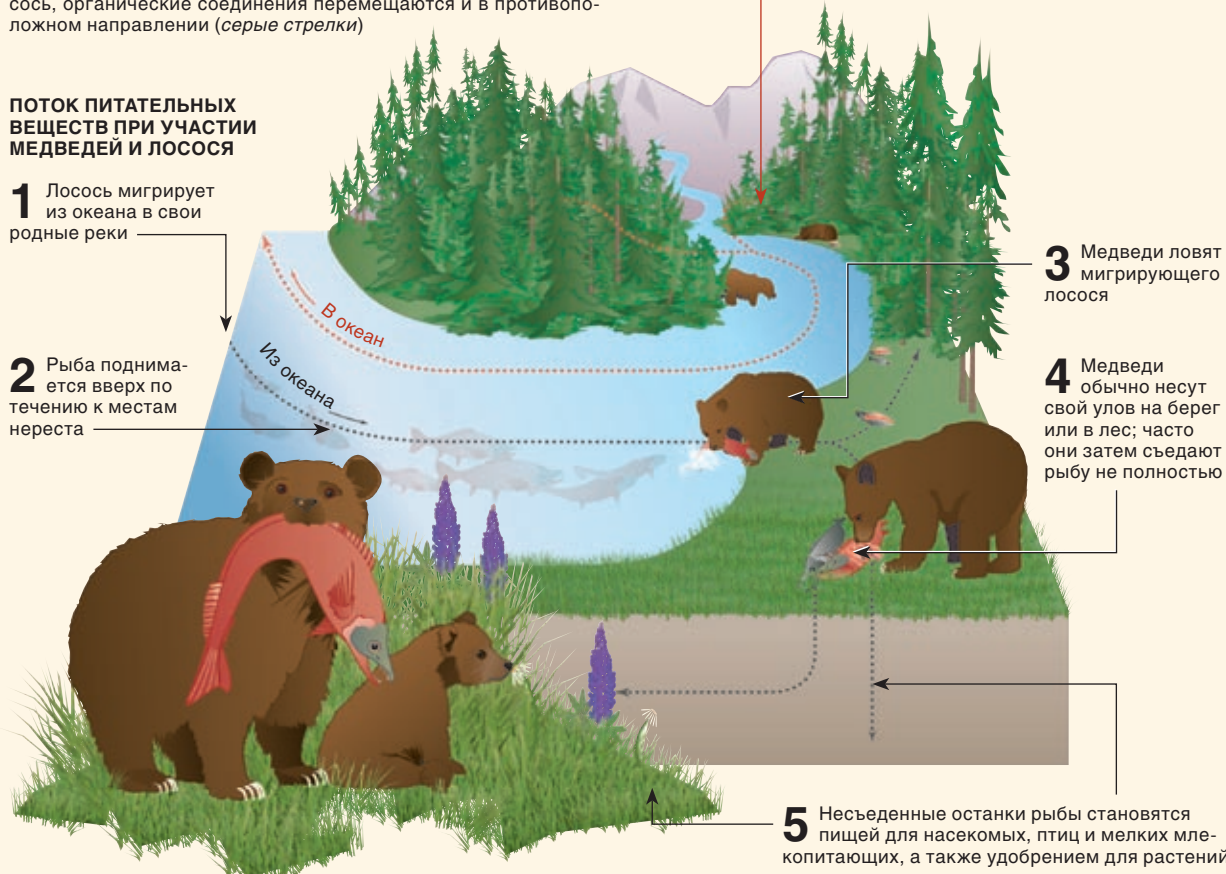
1 Лосось мигрирует из океана в свои родные реки

2 Рыба поднимается вверх по течению к местам нереста

3 Медведи ловят мигрирующего лосося

4 Медведи обычно несут свой улов на берег или в лес; часто они затем съедают рыбу не полностью

5 Несъеденные останки рыбы становятся пищей для насекомых, птиц и мелких млекопитающих, а также удобрением для растений



Животные, питающиеся брошенным лососем (слева направо): белоголовый орлан, рыжая лиса и жуки-могильщики



(за исключением нескольких недель ухода весной и летом), и оказавшись ради рыбалки на берегу реки в толпе себе подобных, они становятся агрессивными. Иногда стычки заканчиваются лишь кражей рыбы, но могут быть очень яростными, приводить к серьезным травмам или гибели как взрослых, так и их детенышей. Утаскивая улов в лес

подальше от глаз сотрапезников, животные избегают конфронтации.

Вторая характерная черта поведения состоит в том, что медведи часто съедают лишь наиболее питательную часть тушки лосося, пренебрегая остальным. Если рыбы много, то для того, чтобы поймать ее в небольшой речке, медведю требуется не более минуты. В условиях

такого изобилия избалованные мохнатые рыболовы редко съедают добычу целиком. Анализ более 20 тыс. тушек показал, что звери употребляют в пищу примерно 25% каждой рыбы, выбирая самые ценные части, например, икру. Нередко привереда, обнаружив, что поймал самца или самку, уже выметавшую икру, вовсе не притрагивается к рыбе (зайдя ▶

ПОЧЕМУ НЕКОТОРЫЕ МЕДВЕДИ ПРЕДПОЧИТАЮТ ЯГОДЫ

Мы провели более 100 часов на небольшой деревянной платформе на высоте 30 м. над землей, наблюдая, как медведи ловят рыбу. Вскоре мы заметили, что даже на самых маленьких ручьях в медвеьем сообществе складывается определенная социальная структура. В стычках, как

правило, выигрывают более крупные особи, поэтому те, что слабее, стараются избежать конфликта. Подростки и мелкие самки, особенно с медведями, обычно находятся на низшей ступени иерархической лестницы.

Доминантные медведи ловят рыбу чаще и дольше других, налавливают

больше и не относят добычу далеко от воды. Кроме того, от каждой пойманной рыбы они съедают лишь самые лакомые кусочки, оставляя большую часть нетронутой. Улов субдоминантных животных менее значителен, они торопятся отнести его подальше от воды и съедают большую часть.

Если крупная река способна прокормить существенное количество медведей, то для небольших водоемов существует некая критическая масса «клиентов», превышение которой чревато серьезными стычками. В условиях жесткой конкуренции субдоминантные особи предпочитают во избежание конфликтов отказаться от рыбы и довольствоваться менее калорийной пищей: ягодами и травой. Вероятно, именно поэтому даже в сезон нереста лосося многие медведи промышляют на возвышенностях или в горах, вдали от рек.



Стремясь избежать столкновений, субдоминантные медведи уходят от богатых лососем рек и кормятся на лугах в более спокойной обстановке

в пресную воду, лосось перестает питаться, поэтому изначально очень высокое содержание жира в его организме по мере продвижения вверх по реке и метания икры постепенно истощается, и концу своего жизненного цикла лосось может похудеть на 90%).

Полакомившись самыми вкусными кусочками, медведи бросают остатки и возвращаются к реке за следующей порцией. В результате

косолапые «браконьеры» убивают значительно больше лосося, чем могут съесть. На небольшой речке на юго-востоке Аляски мы, например, наблюдали, как двухсоткилограммовая медведица всего за восемь часов поймала около 40 рыб. Она вытащила из реки более 143 кг (70% ее собственного веса!), но съела лишь незначительную часть этой роскоши.

Рыбная диета для леса

Подобное поведение показалось бы варварством, если бы не имело принципиального значения для обеспечения жизнеспособности экосистемы. Конечно, не будь медведей, морское богатство не пропало бы: птицы, рыбы, насекомые кормились бы на остатках погибшего после нереста лосося, они разлагались бы микробами и уносились водами рек обратно в океан. Медведи же распорядились отходами иначе. Оставляя рыбу на берегах и унося ее в лес, они доставляют огромное количество пищи и питательных веществ

растениям и животным, которые иначе не смогли бы получить доступа к подобным ресурсам. Таким образом, поставляя продукты морского происхождения в приречную зону, косолапые стали настоящими инженерами экосистемы.

Дальнейшее распространение питательных веществ обеспечивается за счет рационального использования брошенной рыбы остальными участниками большого обеда. Мухи, жуки, слизни и другие беспозвоночные немедленно колонизируют тушки и откладывают на них свои яйца. Чайки, вороны, сойки, сороки, норки, куницы и другие птицы и млекопитающие охотно доедают остатки с «барского стола». Однажды мы наблюдали, как медведь отправился со своей добычей на луг, заросший высокой травой. Не успел он приступить к трапезе, как его отвлек другой сородич. И тут же из высокой травы метнулась норка, схватила лакомство и устремилась назад в лес. Для штата Вашингтон исследователи составили список более

ОБ АВТОРАХ

Скотта Дженди (Scott M. Gende) и **Томаса Квинна** (Thomas P. Quinn) объединяет общий интерес к изучению взаимодействия между медведями и лососем. Дженди работает береговым экологом в администрации Национального парка Джуно на Аляске. Он посвятил большую часть своих исследований экологическому значению лосося в водных и сухопутных экосистемах. Квинн — профессор Школы по изучению водных и рыбных ресурсов при Вашингтонском университете.

чем из 50 видов наземных позвоночных, питающихся тушками лосося.

Чтобы воспользоваться щедростью океана, живое существо совсем не обязательно должно само отдавать морской деликатес. Насекомых, облепивших остатки, в свою очередь пожирают осы, птицы и другие насекомоядные, мелкие млекопитающие, например, полевки и мыши, которые едят как насекомых, так и саму рыбу. Мы обнаружили, что плотность популяции насекомоядных певчих птиц вдоль лососевых рек выше по сравнению с теми, где лосося нет. Подобный факт свидетельствует, что численность популяции птиц зависит от количества насекомых, развивающихся на остатках лосося.

С течением времени дожди и микробы разлагают тушки, и тогда содержащиеся в них азот, фосфор и другие питательные вещества поступают в распоряжение приречных растений. Рост флоры в северных лесах часто сдерживается нехваткой азота или фосфора, поэтому пищевая активность медведей способствует процветанию многих видов растений в этих местах. Мы подсчитали, что для нескольких рек Аляски суммарное количество азота и фосфора из тушек лосося равняется или превосходит концентрацию производимых промышленным способом удобрений, рекомендуемых для аналогичных растений. В некоторых исследованиях специалисты выявили непосредственную взаимосвязь между количеством азота и углерода, полученного из тушек лосося, и перемещениями медведей. Подобные наблюдения подтверждают, что особенности их поведения служат механизмом, снабжающим приречные растения питательными веществами.

Как управлять доставкой питания

В настоящее время исследователи переосмысливают функционирование экосистемы и способы управления ею. Традиционно считалось, что в подобных природных условиях поток полезных элементов двигался

лишь в одном направлении, обусловленном гравитацией: опавшие листья, погибшие беспозвоночные и т.д. попадали из леса в реки и ручьи, вода влекла их вниз по течению и выносила в океан. Теперь мы знаем, что органические вещества перемещаются и в противоположном направлении благодаря миграции лосося и медвежьей рыбалке, способствующей попаданию полезных соединений на землю. Любые мероприятия, снижающие численность рыбы или медведей, повлияют на поток питательных веществ и, как следствие, на судьбу множества живых существ, зависящих от него.

Разрешенные объемы промышленного рыболовства обычно рассчитывались исходя из максимального количества лосося, которое может быть выловлено без ущерба для популяции, т.е. предполагалось, что рыбаки отлавливают излишки. Сегодня начался пересмотр допустимых масштабов лова с учетом потребностей других обитателей экосистемы. Кроме того, в США осуществляются природовосстановительные мероприятия, имитирующие естественные процессы: туда, где масштабы миграции лосося значительно снизились или вообще прекратились, доставляют тушки рыб и разбрасывают их с вертолетов или грузовиков вдоль рек. Подобные акции продолжаются до тех пор, пока численность проходящего на нерест лосося не восстановится в исконных местах его обитания. Новое знание даже породило коммерческую инициативу: одна компания на Аляске, осознавая ценность азотного и фосфорного удобрения, организовала экспорт поста, состоящего из древесной щепы и остатков лосося.

За последние десятилетия мы проделали долгий путь к пониманию экологического значения добычи рыбы медведями и, несомненно, по мере продолжения исследований узнаем еще больше. Однако уже сейчас ясно, что популяции медведей и лосося, являющиеся ключевыми компонентами своей экосистемы, во многих местах серьезно пострадали или были полностью



Тушки лосося разбрасывают с вертолета в тех районах, где популяции медведей и лосося невелики или вовсе исчезли

уничтожены. Посмотрим, что окажется труднее: до конца понять степень важности подобной взаимосвязи или восстановить ее там, где она некогда процветала. ■

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Balancing Natural and Sexual Selection in Sockeye Salmon: Interactions between Body Size, Reproductive Opportunity and Vulnerability to Predation by Bears. T.P. Quinn, A.P. Hendry and G.B. Buck in *Evolutionary Ecology Research*, Vol. 3, pages 917–937; 2001.
- Pacific Salmon in Aquatic and Terrestrial Ecosystems. S.M. Gende, R.T. Edwards, M.F. Willson and M.S. Wipfli in *BioScience*, Vol. 52, No. 10, pages 917–928; October 2002.
- Nutrients in Salmonid Ecosystems: Sustaining Production and Biodiversity. Edited by John G. Stockner. American Fisheries Society, 2003.
- Magnitude and Fate of Salmon-Derived Nutrients and Energy in a Coastal Stream Ecosystem. S.M. Gende, T.P. Quinn, M.F. Willson, R. Heintz and T.M. Scott in *Journal of Freshwater Ecology*, Vol. 19, No. 1, pages 149–160; March 2004.



Елена Демыгина и Елена Родина

МОДА НА **Минералку**

Минеральные воды в лечебных целях применялись с древних времен. Еще Петр Первый своим специальным указом приказал «искать в нашем Отечестве ключевые воды, которые можно использовать от разных болезней»

Всплеск моды на минеральную воду в наши дни можно объяснить растущей тягой людей к здоровому образу жизни и качественным продуктам. Диетологи считают, что вода способна стать для человека настоящим лекарством. Однако нельзя согласиться с тем, что она полезна всем и всегда. Например, воду с высокой степенью минерализации пить без нужды не стоит, т.к. она предназначена только для лечения и может причинить вред здоровому организму. Чтобы правильно применять минеральные воды (МВ), надо прежде всего научиться их различать: на каждой бутылке кроме названия источника указывается и ее вид. Современные бальнеологи (специалисты, изучающие свойства МВ) подразделяют минералку на столовую, лечебно-столовую и лечебную. Так как же отличить лечебную от той, которой можно просто утолить жажду?

Столовая вода

Минерализация природной столовой воды не превышает 1 г/л. Эта МВ не содержит микрокомпонентов, оказывающих существенное терапевтическое воздействие, поэтому ее можно использовать без ограничений для утоления жажды и стимулирования пищеварения.

Такая вода добывается из природных подземных источников, свойства которых хорошо изучены. При правильной технологии приготовления она не должна подвергаться ни дополнительной обработке, ни длительной перекачке. Чтобы сохранить чистоту и качество воды, ее нужно разливать в бутылки недалеко от источника — вода должна доходить до потребителя по возможности необработанной. Поэтому гарантией качества является способ, которым производится разлив.

Своя минеральная вода есть во многих регионах нашей страны. Полезнее всего минералка из ближайших источников. Столовую воду, прошедшую природную фильтрацию в экологически чистом месте, рекомендуется использовать и для приготовления пищи: блюда будут значительно вкуснее и полезнее. Такая МВ выводит шлаки, помогает снизить вес и замечательно тонизирует. На российском рынке представлено достаточно и отечественных («Сенежская», «Селивановская», «Святой источник», «Сарова» и пр.), и зарубежных столовых минеральных вод.

Экологически чистых природных источников очень немного. Поэтому не секрет, что в продаже все чаще появляются искусственно минерализованные воды — *Vonaqua*, *Aqua minerale*, многочисленные отечественные марки. Производство такой воды проходит две стадии. Сначала ее выкачивают из артезианской скважины, а чаще — из водопровода, а затем подвергают глубокой очистке. Тщательная фильтрация убивает не только вредные примеси, но, к сожалению, и все полезные соли и минералы. Чтобы такую воду все же можно было называть минеральной, ее подвергают дальнейшей обработке: искусственно «прививают» полезные свойства, насыщают солями. На выходе получается не активная живая среда, а элементарный раствор солей. Такая вода никакого отношения к минеральным водам не имеет. Главное требование, предъявляемой ей, — приятный вкус и безвредность.

Лечебно-столовая вода

Лечебно-столовая вода с общей минерализацией от 1 до 10 г/л содержит биологически активные компоненты: железо — 10 мг/л; мышьяк — 0,7–1,5 мг/л; бор — 35 мг/л (в пересчете на ортоборную кислоту); кремний — 50 мг/л (в пересчете на метакремниевую кислоту); бром — 25 мг/л; йод — 5 мг/л; органические вещества — 8,0–30,0 мг/л (в пересчете на углерод).

Лечебно-столовые воды, как правило, не пригодны для приготовления пищи и их лучше пить в ограниченных количествах (доза зависит от состояния вашего организма). Этот тип воды наиболее распространен в России, к нему относится большинство широко известных еще с советских времен марок: «Боржоми», «Нарзан», «Славяновская», «Новотерская целебная» и т.д. Они обладают лечебным и физиологическим действием, но не стоит ориентироваться на рекомендации, приведенные на этикетке, т.к. совет может дать только врач-бальнеолог. Самолечение же может привести к серьезному нарушению солевого баланса в организме и к обострению хронических заболеваний. Воздействие даже одной и той же воды может быть абсолютно противоположным. Взять хотя бы всем известный «Нарзан»: если пить его прохладным (16–18 °С), маленькими глотками, то желудок с ослабленной секреторной функцией станет работать лучше. И напротив, если данные функции избыточны, «Нарзан» следует употреблять теплым (30–36 °С), быстро и большими глотками. Только надо помнить, что лечебно-столовые воды, как и лечебные, не следует пить при обострении заболеваний желудка и кишечника.

Гидрокарбонатные воды («Боржоми», «Горячий ключ») хороши для застолий, т.к. улучшают пищеварение, стабилизируют обмен веществ, восстанавливают кислотно-щелочное равновесие, повышают иммунитет. К тому же «Боржоми», по своему составу схожий со знаменитой французской минералкой *Vichy*, прекрасно снимает похмельный синдром. ▶



Лечебная вода

Отличительная особенность лечебной воды («Кармадон», «Ессентуки» № 4, № 17 и пр.) — повышенное содержание солей и биологически активных элементов, придающих ей целебные свойства. Если на этикетке написано, что общее количество солей превышает 10 г/л, то это как раз минеральная вода из разряда лечебных. Причем если есть указание: «Возможен естественный осадок минеральных солей», это означает, что вода ими перенасыщена. При систематическом употреблении такой воды соли могут накапливаться в тканях и суставах, вызывая всевозможные осложнения.

Пить лечебную воду можно строго по рекомендации врача. Не случайно во многих странах лечебная МВ отпускается только в аптеках и по рецептам. Более осторожного

отношения требует минеральная вода с повышенной концентрацией мышьяка, бора, железа, которую применяют строго по рекомендации специалиста.

Основное предназначение высокоминерализованной воды (10–14 г/л) — лечение желудочно-кишечных расстройств, а также почек и печени. В такой воде стабильно присутствуют необходимые организму микро- и макроэлементы, сбалансированные самой природой. Так, кальций, находящийся в гидрокарбонатных водах, обладает противовоспалительным, а магний — спазмолитическим действием. Кальций активизирует деятельность ряда важнейших ферментов, участвует в поддержании ионного равновесия в организме, воздействует на процессы, происходящие в нервно-мышечной

и сердечно-сосудистой системах, влияет на свертываемость крови. Магний участвует в формировании костей, регуляции работы нервной ткани, обмене углеводов и энергетическом обмене, улучшает кровоснабжение сердечной мышцы. Многие лечебные воды содержат также природный йод 0,2 мкг/дм³, что помогает предотвратить возникновение болезней, связанных со щитовидной железой.

Рекомендации специалиста

Результатами многочисленных исследований доказано, что лечебная минеральная вода вызывает комплекс реакций не только в желудочно-кишечном тракте, но и в других органах системы пищеварения и тканях организма. В формировании таких реакций ведущую роль играет нервная система. Основным местом формирования реакций считают рецепторы, расположенные на слизистых оболочках желудка и кишечника. Особую роль играют рецепторы полости рта, пищевода, желудка и кишечника.

МВ влияет и на полостное пищеварение. Это связано с изменением *pH* содержимого желудочно-кишечного тракта и осмотического давления, а также с химическим взаимодействием содержимого и компонентов поступившей воды. Изменение *pH* прежде всего воздействует на активность ферментных процессов, что имеет большое значение для процессов пищеварения. Оптимум активности большинства пищеварительных ферментов находится в пределах *pH* 5–7. Минеральные воды, *pH* которых находится в этих пределах, оказывают влияние на изменение *pH*-среды содержимого желудочно-кишечного тракта, что дает терапевтический эффект.

Специалистами-бальнеологами разработаны оптимальные схемы и режимы приема минеральной воды. О том, как правильно пить такую воду, рассказывает зав. отделением физиотерапии и бальнеологии медицинского центра Гута-Клиник, кандидат медицинских наук, врач высшей категории Елена Родина.

■ **ГИДРОКАРБОНАТНАЯ** вода содержит более 600 мг гидрокарбонатов на литр и рекомендуется людям, активно занимающимся спортом, грудным детям (особенно при частой рвоте) и больным циститом. Противопоказана она тем, кто страдает гастритом, поскольку в ней содержатся ангидриды углекислоты

■ **СУЛЬФАТНАЯ** вода содержит более 200 мг сульфатов на литр, оказывает мягкий слабительный эффект и рекомендуется тем, у кого проблемы с печенью. Поскольку сульфаты могут препятствовать усвоению кальция (а значит, и формированию костей), эту воду не стоит пить детям и подросткам

■ **ХЛОРИДНАЯ** вода содержит более 200 мг хлоридов на литр. Соединенные с натрием, они регулируют работу кишечника, желчных путей и печени. Эта вода противопоказана людям, страдающим повышенным давлением

■ **МАГНИЕВАЯ** вода содержит более 50 мг магния на литр и помогает при запорах, а также в стрессовых ситуациях, поскольку магний участвует в механизме, регулирующем реакцию организма на стресс. Однако людям, склонным к расстройствам желудка, пить ее не следует

— Установлено, что минеральная вода, действуя на рецепторы желудка, стимулирует желудочную секрецию, а переходя вместе с выделяющимся желудочным соком дальше, в двенадцатиперстную кишку, оказывает раздражающее действие на ее слизистую и тормозит секрецию желудка. Пациентам с повышенной секреторной функцией (антральные гастриты, язвенная болезнь) рекомендуется употреблять теплую воду (38–40 °С) за 1–1,5 часа до еды по 150–250 мл. Такая температура оказывает более выраженное спазмолитическое действие и менее выраженное сокогонное влияние. В случаях нарушения моторной функции желудка прием воды назначается в небольших количествах, а при стенозах выходного отдела желудка она и вовсе противопоказана.

При атрофических гастритах и других заболеваниях желудка, протекающих с секреторной недостаточностью, вода назначается незадолго до приема пищи (за 15–30 минут), по 200–250 мл, 3 раза в день. При ускоренной эвакуации воды из желудка для получения стимулирующего действия необходимо пить воду непосредственно перед едой, медленно, небольшими глотками, длительно задерживая ее в полости рта. При отсутствии болевых ощущений и моторных расстройств следует назначать воду более низкой температуры — 30–35 °С. Тем, кто страдает гастритом, подойдут бикарбонатно-щелочные, а также бикарбонатно-щелочноземельные воды. Их лучше пить натощак, т.к. они помогают восстановить желудочные выделения. Если гастрит был спровоцирован *Helicobacter pylori* (бактерией слизистой оболочки желудка), желательно употреблять воду с повышенным содержанием сульфатов.

При заболеваниях печени и желчных путей воду обычно назначают по 200–250 мл за 30–90 минут до еды в зависимости от состояния секреторной функции желудка. Температура воды должна быть 40–45 °С. Сульфатные воды усиливают

БАЛЬНЕОЛОГИЯ (от лат. *balneum* — баня, купание) — раздел медицины, изучающий происхождение и физико-химические свойства минеральных вод, методы их использования с лечебно-профилактической целью при наружном и внутреннем применении.

Можно считать, что бальнеология ведет свое начало из V в. до н. э., когда древнегреческий ученый Геродот предложил способ употребления и сформулировал показания к назначению минеральных вод. В сочинениях Гиппократ (V–IV в. до н.э.) упоминается о лечебных свойствах речной, соленой и морской воды. Римскому врачу Архигену (I в. н. э.) принадлежит первая классификация минеральных вод. В XV в. итальянский монах Дж. Савонарола выпустил «Трактат об итальянских минеральных водах», содержащий указания, как пользоваться минеральными ваннами. В XVI в. были опубликованы лекции итальянского врача Фаллопия — «Семь книг о теплых водах», в которых, среди прочего, автор пытается выяснить химический состав минеральных вод. Начало научной бальнеологии в XVII–XVIII вв. положил немецкий ученый Ф. Гофман, впервые установивший химический состав минеральных вод и присутствие в них солей угольной кислоты, поваренной соли, сернокислой магнезии и др. Шведский химик И.Я. Берцелиус в 1822 г. произвел точные химические анализы минеральных источников в Карловых Варах (Карлсбаде) и выработал научные приемы определения состава минеральных вод.

Первые сведения о развитии бальнеологии в России связаны с именами Г. Шобера, И.А. Гольденшtedта, П.С. Палласа и др. (XVIII в.). В 1825 г. была опубликована работа русского химика Г.И. Гесса, изучавшего химический состав и действие целебных вод в России. На развитие отечественной бальнеологии оказали влияние С.П. Боткин и особенно Г.А. Захарьин. Важную роль в изучении лечебных минеральных вод сыграло основание по инициативе доктора С.А. Смирнова в 1863 г. на Кавказе Русского бальнеологического общества. После Октябрьской революции в связи с масштабным санаторным строительством и ростом потребностей санаторно-курортного дела бальнеология получила значительное развитие. Были установлены единые принципы комплексной оценки минеральных вод по химическому составу и физическим свойствам. В последующее время в связи с развитием естественных наук и медицины бальнеология начала быстро развиваться и превратилась в обширную область теоретической и практической медицины

желчеобразование и желчеотделение, способствуют выведению холестерина и билирубина с желчью, а также улучшают опорожнение кишечника. МВ, имеющие в своем составе ионы магния, обладают желчегонным действием, способствуют уменьшению спазмов желчного пузыря, что облегчает отток желчи в кишечник. Последнее обстоятельство играет большую роль в лечении запоров, обусловленных дефицитом желчи в кишечнике.

Людям, страдающим ожирением, питьевые МВ назначаются с целью коррекции нарушений обменных процессов. Поскольку ожирение чаще всего приводит к гипертонии, рекомендуются олиго- или мало-минерализованные воды. Большим ожирением следует избегать сильногазированной воды: она стимулирует выделение желудочного сока, а значит, провоцирует чувство голода.

Наличие камней в почках подчас сопровождается интенсивной болью (коликами). Врачи рекомендуют принимать бикарбонатно-щелочные воды, которые оказывают противовоспалительное действие, а также воду с пониженным содержанием солей (с эффектом мочегонного),

прочищающую почки, мочевые пути и облегчающую выход камней.

Для понижения содержания холестерина лучше всего подходят воды с высоким содержанием сульфатов и кальция, бикарбонатно-кальциевые. Люди, страдающие диабетом, выделяют большое количество мочи и испытывают постоянное чувство жажды. Поэтому им нужно восстанавливать потерянную жидкость с помощью бикарбонатно-кальциевых, сульфатных и натриевых минеральных вод. Раздражение прямой кишки может быть вызвано многими причинами, среди которых — чрезмерное употребление антибиотиков, слабительных средств, вредные привычки, а также стресс. Рекомендуется пить воды, богатые натрием, хлоридами, кальцием, калием и магнием.

Лечебные напитки с высоким содержанием солей и других биологически активных составляющих нельзя употреблять постоянно, их необходимо пить курсами, в ограниченной дозировке и по определенной методике. Лишь тогда удастся вылечить болезни, от которых, согласно этикетке, обещает избавить та или иная минеральная вода. ■

Примерно 2,5 тыс. лет назад в долине Оахака были построены террасы и каналы на гребнях стен для полива плодородных земель из местных природногазированных источников



Кристофер Кэран и Джеймс Нили

гидротехники древней Мексики

Три тысячи лет назад предшественники ацтеков построили первые крупные ирригационные сооружения Нового Света

Должно быть, в далекие времена земледельцы юга Мексики страстно жаждали чуда. Регион находится на высоте около 2 тыс. м над уровнем моря, однако тропический климат помог превратить здешние места в плодородные долины, почти идеальные для земледелия, а обильные муссонные дожди, длящиеся по полгода, обеспечивали богатый урожай. Столь благоприятные условия превратили край в колыбель сельского хозяйства Нового Света. Именно здесь кукуруза стала культурным растением. И все же древние агрономы сталкивались с одним существенным ограничением: на протяжении полугодия слишком сухая погода препятствовала обработке земли. Поля могли бы приносить по два или три урожая ежегодно, если бы удалось и в засушливый период снабжать их водой. Но где ее взять?

Найденное решение стало подлинным чудом человеческой изобретательности: земледельцы начали реализовывать крупномасштабные инженерные проекты по сбору, хранению и доставке воды. Первые сооружения, практически полностью разрушенные временем, были весьма скромных размеров, однако

постепенно строительство приобретало все больший размах. Например, плотина культуры Пуррон в долине Теуакан, возведение которой началось в 740 г. до н.э., имела длину 400 м, ширину 100 м и поднималась почти на 25 м в высоту. Рабочие вручную переместили около 2,64 млн. кубометров земли и создали конструкцию, остававшуюся самым крупным сооружением такого рода на всем американском континенте вплоть до XVIII в. За две тысячи лет до появления в Мексике европейцев местные инженеры построили вокруг плотины тысячи километров каналов и акведуков. Они отводили воду от источников и ручьев и передавали ее через водоразделы, вокруг каньонов и вниз по крутым склонам. Жители юга Мексики использовали практически все возможные способы получения живой влаги и организовали сбор дождевой воды.

Многие из основных накопительных и оросительных систем находились в отличном состоянии на протяжении даже не веков, а тысячелетий (самые старые исправно служили почти 3 тыс. лет), что свидетельствует о высочайшей квалификации их проектировщиков ▶



В древности гидротехнические конструкции возводились по всей территории юга Мексики. Самому раннему известному нам сооружению (колодцу в Сан-Маркос-Некокстла) уже 10 тыс. лет. Строительство ирригационных систем продолжалось вплоть до прибытия европейцев

и строителей. Достижения древних мастеров особенно поражают, если учесть, что у них не было ни металлических инструментов, ни колесного транспорта, ни рабочего скота. Даже самые ранние из дошедших до нас следов ирригационных комплексов говорят о высоком технологическом уровне и указывают на наличие сложного механизма управления столь разветвленной инфраструктурой. Гидротехнические сооружения тысячелетней давности были обнаружены в различных областях Мексики, но мы остановимся на двух из них: каналах в долине Теуакан и фантастической террасной системе орошения в долине Оахака.

Современные исследования начались здесь в конце 1960-х гг. под

руководством двух легендарных археологов: в долине Теуакан работал Ричард Макнейш (Richard S. («Scotty») MacNeish), а в долине Оахака — Кент Фленнери (Kent V. Flannery). Один из нас (Нили) был в то время аспирантом и имел честь участвовать в обеих экспедициях. Изучение гидротехнических сооружений не входило в нашу основную задачу, и, несмотря на очевидную значимость данных систем, с момента их первого скромного описания прошло много времени. Однако Нили не утратил интереса к древнемексиканской гидротехнике и в конце 1980-х гг. пригласил соавтора настоящей статьи геолога Кэрана присоединиться к нему для более детального исследования комплексов. Ученых ждали поразительные открытия.

Каменные змеи

Сеть каналов в долине Теуакан на юге Мексики оказалась самой большой известной нам древней гидротехнической системой в Новом Свете. Ее общая протяженность составляла более 1,2 тыс. км, она обеспечивала водой 330 км² сельскохозяйственных угодий, что по размерам сопоставимо с сектором Газы. Напомним, что дело происходило 2,5 тыс. лет назад. Ирригаторы прокладывали траншеи с небольшими земляными бортиками. Каналы несли воду от источников на поля, лежащие ниже по склону, и шли по весьма извилистому пути, чтобы сохранить небольшой уклон до 2°.

В крупных источниках, откуда поступала большая часть воды, она была насыщена растворенными минералами, в особенности кальцитом (одной из форм карбоната кальция). Они откладывались на дне, образуя водоупорный слой, что улучшало функционирование канала, однако в долговременной перспективе угрожало его существованию. Испарение, колебания давления и температуры вели к значительному повышению концентрации минеральных веществ. Слой за слоем нарастала каменная броня из известкового травертина (из него же образуются сталактиты и сталагмиты в пещерах). Напластование отложений происходило в среднем со скоростью одного сантиметра в год, или одного метра в столетие.

Постепенно каналы заполнялись известковыми наслоениями, однако ток воды продолжался. Травертин откладывался не только на дне, но и там, где вода выплескивалась наружу, в результате стенки канала росли и образовывали бортики, удерживающие воду выше уровня грунта. Иногда поток переливался через край, относя минеральные отложения далеко за пределы основного русла. Со временем маленький акведук, прорытый в почве, превратился в вал высотой в пять метров и шириной в 30 м у основания, вдоль гребня которого проходило ложе водотока. Вероятно, канал периодически чистили, за счет чего он сохранял свою

ОБЗОР: ДРЕВНИЕ СИСТЕМЫ ИРРИГАЦИИ

- Древние земледельцы юга Мексики испытывали нехватку воды шесть месяцев в году.
- Чтобы получить возможность выращивать урожай круглый год, они придумали остроумные способы доставки воды на свои поля. В числе их гидротехнических достижений плотины, колодцы, каналы, акведуки и террасные поля.
- Изобретательность древних инженеров демонстрируют две крупные системы – сеть каналов в долине Теуакан и террасные поля в долине Оахака, которые орошались с помощью водотоков, идущих по гребням стен.

U-образную форму в сечении и продолжал функционировать.

Ацтеки называли извилистые ирригационные протоки с известняковыми наростами текоатль, что означает «каменная змея». Текоатли тянулись на многие километры и преобразовывали ландшафт, создавая преграды для прокладки дорог и обуславливая топографию городов с древнейших времен и испанского колониального периода вплоть до сегодняшних дней.

В тех местах, где каналы нельзя было прорыть (например, на крутых склонах), ирригаторы поднимали их над землей, сооружая водопроводы из утрамбованной земли и тщательно уложенных без известкового раствора камней. По сравнению с крупнейшими римскими акведуками, построенными примерно в тот же период, конструкции были относительно простыми, но, тем не менее, весьма эффективными.

Большой интерес представляет каньон реки Ксикила, где на различной высоте построены сразу

два акведука. Оба были шириной в метр и имели почти постоянный уровень уклона, несмотря на неровности стенок каньона. По найденным керамическим черепкам можно определить возраст сооружений. Нижний акведук длиной в 1 километр был построен около 400 г. до н.э. и располагался лишь в 4–12 м над поверхностью реки. Из-за подъемов уровня воды и оползней он подвергался частым разрушениям и в 700 г. был заброшен. Вероятно, именно тогда и был возведен верхний акведук. Он возвышался над речным ложем на 20–22 м и тянулся более чем на 6 км. Им продолжали пользоваться как минимум до 1540 г. По водоводам текла относительно пресная вода, и минеральные осадки в них не откладывались.

В слоях травертина оказались включены многочисленные остатки водорослей, диатомей, мхов и более крупных растений, некогда украшавших берега каналов. Поскольку флора чувствительна к колебаниям природных условий, мы можем

определить с ее помощью химический состав воды, количество питательных веществ, скорость ее течения и прозрачность. Травертин также сохранил пыльцу растений, культивировавшихся на соседних полях. Его изучение позволило исследователям сделать вывод, что с помощью ирригационной системы орошались плантации кукурузы, перца и томатов. По краям полей рос амарант: в старину (как, впрочем, и сейчас) люди занимались его заготовкой, поэтому, возможно, он был высажен искусственно. Сегодня, как и тысячелетия назад, берега каналов густо заросли рогозом; вряд ли он культивировался специально, однако земледельцы могли использовать его в пищу, а также для получения волокна и изготовления древков стрел.

Поскольку каналы создавали искусственную водную среду обитания, резко отличавшуюся от окружающего полупустынного ландшафта, можно утверждать, что водные растения, составляющие большую



В Йерве-эль-Агуа и сегодня хорошо видны следы древних террасных полей, которые располагаются вблизи одного из источников с природногазированной водой

ФОРМИРОВАНИЕ ТЕКОАТЛЯ



«Каменная змея», или текоатль, представленный на фотографии, — один из тысяч, тянущихся во всех направлениях по долине Теуакан. Изначально каждый текоатль был вырытым в почве каналом (см. схему), по которому текла вода, неся с собой минеральные вещества, откладывавшиеся в русле и в конце концов образовывавшие настолько толстую корку, что вода начинала выплескиваться. Однако канал продолжал функционировать, постепенно достигая высоты в 5 м и ширины до 30 м в основании и образуя извилистые гребни длиной до 15 км

Выемка, сделанная при ремонте канала и снова заполнившаяся травертином

Вода для орошения течет выше уровня грунта

Бортик под наслоениями травертина, отложенного перелившейся водой

Вал, образованный отложениями травертина

Быстро растущие слои травертина

Бортик из вынутого грунта

Вода для орошения

Вырытый канал

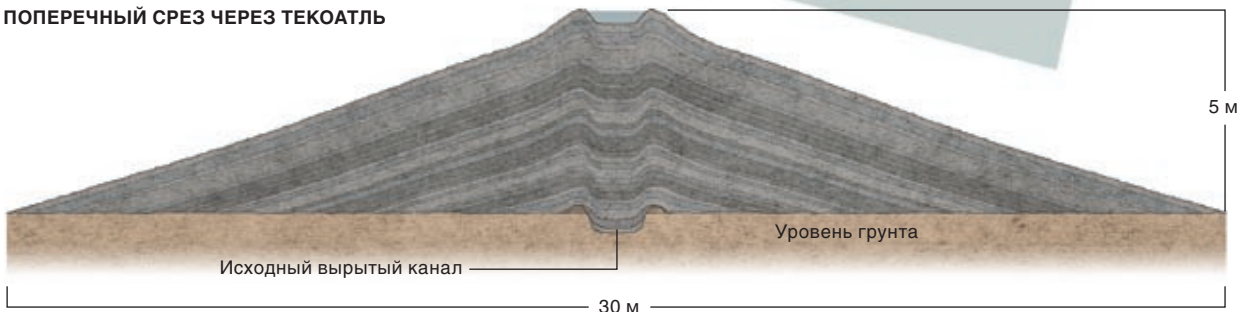
В конце концов, канал становится текоатлем

В какой-то момент вода начинает переливаться через бортики

Через 10 лет в канале накопилось примерно 10 см травертина

Вначале канал идет прямо в грунте

ПОПЕРЕЧНЫЙ СРЕЗ ЧЕРЕЗ ТЕКОАТЛЬ



часть органических остатков в травертине, росли именно в период функционирования ирригационной системы. Сохранившееся органическое вещество позволило определить возраст каналов с помощью радиоуглеродного метода. Обычно древние гидротехнические сооружения датируют по располагавшимся поблизости селениям и найденным неподалеку артефактам, однако такой подход чреват ошибками, поскольку не всегда ясно, относятся ли данные хронологические индикаторы к тому же времени. Радиоуглеродный анализ показал, что некоторые каналы были построены еще в 800 г. до н.э., но продолжали действовать вплоть до начала XVI в.

Террасное орошение

В 170 км к юго-востоку от долины Теуакан, в горах у южной оконечности долины Оахака находится поистине поразительная археологическая достопримечательность, которая демонстрирует изобретательность древних гидротехников Мексики и их способность адаптироваться к различным условиям. В Йерве-эль-Агуа система орошения непрерывно поддерживала земледелие на протяжении 18 веков, примерно с 500 г. до н.э. до 1350 г. Воду для полива обеспечивали несколько крупных непересыхающих источников с необычными свойствами. В переводе с испанского *hervir el agua* означает «вода кипит», однако она не горячая, а газированная от природы, похожая на ту, что встречается на юге Франции. В такой воде растворено большое количество углекислого газа, который попадает туда из магмы, выделяется при метаморфозе известняка или в ходе других сложных процессов. Глубоко под землей вода находится под большим давлением, удерживающим газ в растворе точно так же, как и в неоткупоренной бутылке минералки.

В Йерве-эль-Агуа вода прокладывает себе дорогу через трещины в горных породах. Когда же она оказывается на поверхности, то из-за резкого снижения давления она как будто вскипает, выделяя пузырьки



Три параллельных текоатля (справа): меньшие из них представляют собой боковые ветви, которые вели к соседним полям. Основное русло доходит до современного центра города Теуакан, где при прокладке современных улиц (вверху) каналы были частично разрушены

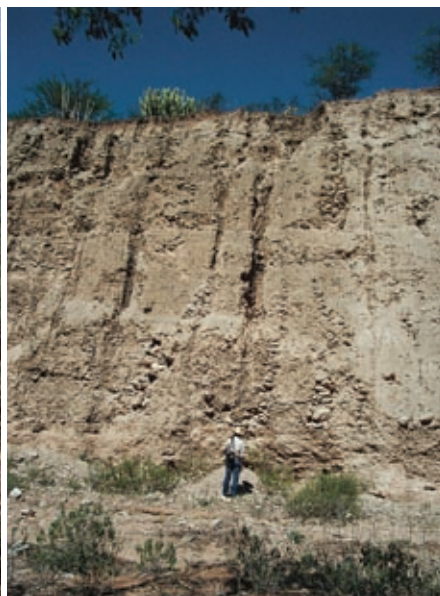
газа, рождающее небольшие гейзеры. Благодаря содержащемуся в ней углекислому газу, водная среда оказывается настолько кислой, что растворяет местные, преимущественно известковые, горные породы. Подобно травертину из долины Теуакан, известняк образован кальцитом, и вода из источников в Йерве-эль-Агуа содержит растворенный кальций и бикарбонат в чрезвычайно высокой концентрации. В результате отложения травертина сохранили археологическую летопись точно так же, как и в долине Теуакан.

Холодная бурлящая вода, должно быть, привлекла внимание древних мексиканцев, которые решили использовать ее для орошения в те месяцы, когда муссоны не приносят дождей. Однако ниже источников были лишь голые крутые склоны, мало напоминающие сельскохозяйственные угодья, поэтому люди перенесли сюда вручную 5 млн. кубометров земли и настелили почти два квадратных километра террасных полей. По всей видимости, они подошли к делу очень тщательно и даже просеивали почву, чтобы придать ей равномерную пористую структуру, улучшая ее проницаемость. Они начали осуществление своего проекта с возведения каменных стен, располагая их поперек склонов на тщательно выверенном расстоянии



друг от друга. Затем над каждой из них укладывали почву, создавая узкую террасу вровень с верхним краем укрепления, на гребне которого было проложено русло. В общей сложности они построили и обслуживали 6,5 км таких каналов.

Стенные каналы имели легкий уклон, позволявший отводить в них воду от более крупных водотоков, идущих по склону непосредственно от источников. Дополнительные маленькие артерии несли воду далее на террасы ниже по склону или же возвращали ее в питающие каналы. Проходящая по стенному руслу вода собиралась в мелких круглых резервуарах, или поситос (*pocitos*), устроенных через каждые несколько метров. Земледельцы зачерпывали из них воду небольшими ▶



Плотина культуры Пуррон (на фото слева) около города Пуэбла в Мексике считается крупнейшим на американском континенте гидротехническим объектом доколониального периода. Строительство началось в 750 г. до н.э. и продолжалось с перерывами приблизительно до 1150 г., когда плотина достигла высоты в 25 м и протянулась на 400 м в длину. Человек ростом в 180 см выглядит карликом на фоне южного склона сооружения (фото справа)

сосудами и вручную поливали растения. По-испански такой способ орошения называют «риего-а-брасо» (*riego a brazo*), его до сих пор используют местные крестьяне.

При внимательном осмотре террас и каналов можно увидеть, насколько мастерски они спроектированы. Строго соблюдаемое расстояние между стенами и устьем террас уменьшали количество почвы, необходимой для сооружения каждой площадки, а непосредственная

близость стенных каналов и поситос обеспечивали легкость полива. Даже на самых крутых склонах, где высота стен достигала 2,4 м, ширина террас оставалась неизменной от 2,4 до 3 м, что соответствует двойному размаху рук человека ростом от 1,4 до 1,7 м (согласно найденным останкам, именно таковы были древние земледельцы). Маленькие водоотводные отверстия в основании каждой террасы обеспечивали сток воды из почвы и ее повторное использование.

Воду постоянно перераспределяли по всей сети, подавая ее лишь туда, где она была нужна в данное время. В результате через каждый отдельный канал протекало не так много воды, чтобы он превратился в текоатль. Руслу покрыты лишь тонким слоем травертина, поэтому хорошо видны многие детали их конструкции. Особенно интересно отсутствие желобов, через которые можно было бы обильно наполнять террасы водой. Такой тип орошения, называемый напуском, привел бы к тому, что вскоре поля полностью покрылись бы коркой травертина. Применяя метод ручного полива, земледельцы сводили к минимуму количество воды, необходимое для выращивания

растений на каждой террасе, и таким образом увеличивали площадь орошения.

Ирригация производилась преимущественно в сухой сезон. В течение остальной части года дождевая вода вымывала из рыхлой почвы накопившиеся в ней минеральные осадки. Данный процесс ускорялся благодаря разрушению органического вещества в грунте террас. Помимо оставленных на поле стеблей, органическое вещество могло поступать так же с нечистотами и помоями, которые регулярно вносились в качестве удобрения.

Мы также обнаружили, что для улучшения земли в нее высыпали мусор, выметенный из домов: осколки керамики различных времен лежат в почве террас в хронологическом порядке. Керамические сосуды иногда удается датировать непосредственно с помощью радиоуглеродного метода или косвенно — по их стилю, форме, композиции и цвету. Керамика из Йерве-эль-Агуа неожиданно дала возможность определить, какая посуда разбивалась чаще всего и, соответственно, была распространена в быту. Исследователи пришли к выводу, что люди, трудившиеся на полях древней

ОБ АВТОРАХ

Кристофер Кэран (S. Christopher Cagan) и **Джеймс Нили** (James A. Neely) объединены общим неугасающим интересом к древним гидротехническим системам Мексики и юго-запада США. Кэран работал геологом-исследователем в Техасском университете в Остине и специализировался на изучении четвертичного периода. В настоящее время он является президентом Лаборатории анализа четвертичного периода в Остине. Нили — почетный профессор кафедры антропологии в Техасском университете в Остине. Его исследования посвящены проблеме развития сельского хозяйства.

Мексика, пользовались лишь самой простой кухонной утварью.

Технологическая сага

На первый взгляд может показаться, что развитая крупномасштабная ирригационная технология появилась в одночасье. Однако мнимое отсутствие более скромных предшественников мексиканских оросительных систем объясняется неполнотой археологической летописи. В 1993 г. нами был обнаружен предположительно самый древний колодец для добычи воды в Новом Свете. Находка позволяет считать, что строительство гидротехнических сооружений в зачаточном виде началось гораздо раньше, чем представлялось. Колодец, находящийся на территории современной деревни Сан-Маркос-Некоктла в долине Теуакан, был вырыт почти 10 тыс. лет назад, имел глубину 5 м, диаметр 10 м и, возможно, им пользовались на протяжении 2 тыс. лет. Скорее всего, для орошения колодец не использовался, однако его существование доказывает, что гидротехнические работы в этом регионе начались очень давно.

Остается нерешенным вопрос, как специалистам древней Мексики удавалось намечать маршруты многокилометровых каналов по чрезвычайно неровной местности, сохраняя постоянный уклон, не превышающий 2°. Древние египтяне использовали для разметки территории на расстоянии уровни и калиброванные стрелы. Подобные простые, но действенные методы должны были быть известны и мексиканским гидротехникам, однако прямыми доказательствами мы не располагаем.

Все же мы можем высказать гипотезу, как в то время планировали прокладку каналов. На удаленном участке долины Теуакан обнаружена цепочка небольших валунов, отходящая в сторону от крутого поворота теуаканского гребня. Ряд камней спускается через выемку в гребне холма и затем поднимается с другой стороны к чуть более высокой точке непосредственно над небольшой долиной,

лишенной каналов. Возможно, булыжники и служили разметкой для будущей прокладки водопровода. Чтобы вода могла достичь противоположной стороны выемки, существующий теуаканский канал должен был подняться не менее чем на метр, после чего можно было бы начинать сооружение новой ветви. Если инженеры учитывали среднюю скорость отложения травертина, то поставленная цель была бы достигнута лишь через столетие, и тогда потомки тех строителей смогли бы добавить к своей системе еще одно орошаемое поле.

Кто проектировал и контролировал подобные проекты — еще одна загадка, волнующая археологов. В 1950-х гг. историк Карл Витфогель (Karl A. Wittfogel) предположил, что крупномасштабная эксплуатация и распределение ресурсов воды были важнейшими шагами на пути к рождению цивилизаций во всем мире. В соответствии с его гипотезой, лишь «гидротехнические общества» достигали на пути усложнения культуры таких важных вех, как постоянное земледелие, экономическая диверсификация, ведение летописей и иерархически организованное администрирование. Сообщества, владеющие основами гидротехники, сумели достичь высот цивилизации, поскольку надежные источники воды давали и стимул, и возможности для развития. Однако противоположное утверждение также кажется само собой разумеющимся: строительство и эксплуатация обширной ирригационной системы требуют пристального внимания высокоорганизованного государства. Другие же исследователи подвергают сомнению оба утверждения, указывая на то, что небольшие социополитические объединения, не имеющие четкой организации, все же могли возводить и использовать оросительные системы, которые, возможно, были невелики и находились в общем пользовании с соседями, но в отсутствие центральной власти.

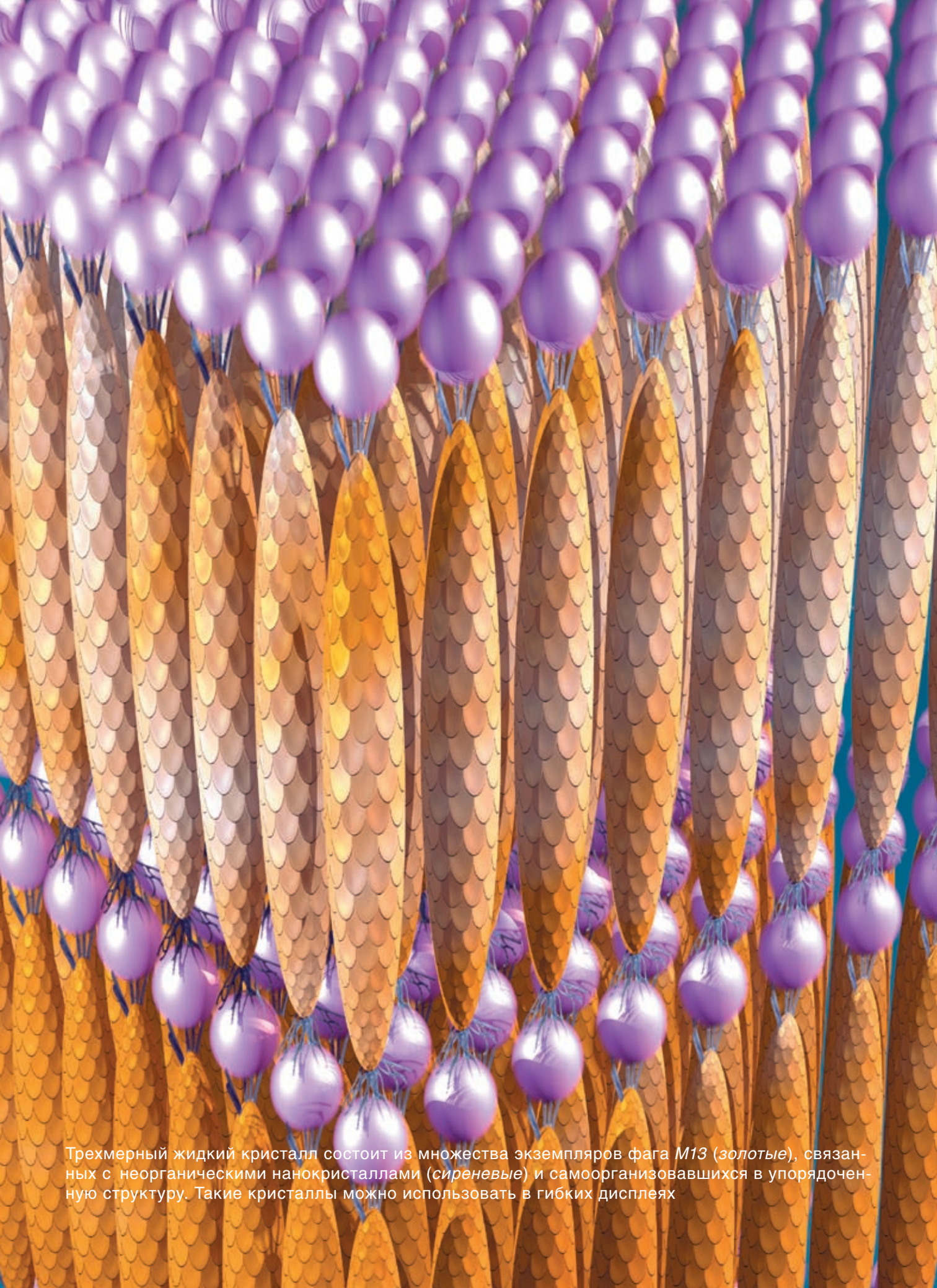
Обе гипотезы могут быть подтверждены фактами. Например, современная система орошения в долине

Теуакан управляется местными неправительственными «водяными сообществами» — «сосидадес де агуа» (*sociedades de agua*), в которых прослеживается наследие исконных местных традиций. Даже в наше время права на воду часто передаются по наследству, причем такая практика уходит в глубь веков, к старинным испанским документам, доколониальной эпохе и ацтекским законам. Каждая маленькая группа отвечает за должное использование и поддержание в рабочем состоянии своих участков крупной системы каналов, однако общее управление осуществляется по соглашению между различными равноправными сообществами. Таким образом, система контролируется как на местном уровне, так и кооперативно.

Споры о том, каким образом древние цивилизации создавали и использовали свою гидротехническую инфраструктуру, будут продолжаться еще долго. Однако бесспорно то, что системы орошения на юге Мексики остаются чудом инженерной мысли и стоят в одном ряду с крупнейшими достижениями древних строителей всего мира. ■

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- The Keepers of Water and Earth: Mexican Rural Social Organization and Irrigation. K.I. Enge and Scott Whiteford. University of Texas Press, 1989.
- Irrigated Agriculture at Hierve el Agua, Oaxaca, Mexico. J.A. Neely et al. in *Debating Oaxaca Archaeology*. Edited by J. Marcus. University of Michigan, Museum of Anthropology, Anthropological Papers No. 84, 1990.
- A Late Paleo-Indian/Early Archaic Water Well in Mexico: Possible Oldest Water-Management Feature in the New World. S.C. Caran et al. in *Geoarchaeology: An International Journal*, Vol. 11, No. 1, pages 1–36; January 1996.
- A Contextual Study of the «Fossilized» Prehispanic Canal Systems of the Tehuacan Valley, Puebla, Mexico. J.A. Neely in *Antiquity*, Vol. 75, No. 289, pages 505–506; 2002.



Трехмерный жидкий кристалл состоит из множества экземпляров фага *M13* (золотые), связанных с неорганическими нанокристаллами (сиреневые) и самоорганизовавшихся в упорядоченную структуру. Такие кристаллы можно использовать в гибких дисплеях

ВИРУСНАЯ НАНОЭЛЕКТРОНИКА

В Массачусетском технологическом институте выращивают вирусы, которые покрывают себя определенными веществами и затем самоорганизуются в жидкие кристаллы и наноскопические проводники

Специалисты по материаловедению давно хотели понять, как моллюск морское ушко строит из подручных средств свою поразительно прочную раковину, чтобы научиться изготавливать подобные материалы. Анджела Белчер (Angela M. Belcher) подошла к делу с другой стороны и решила заставить морское ушко работать на нас. Она поместила между моллюском и его домиком тонкую полоску стекла и через некоторое время получила плоский перламутр, с помощью которого удалось изучить процесс формирования раковины.

Выяснилось, что морское ушко вырабатывает белки, которые заставляют молекулы карбоната кальция выстраиваться в две совершенно различные, но легко сочетаемые кристаллические структуры: одну прочную, а другую быстрорастущую. По результатам исследования Белчер защитила кандидатскую диссертацию в Калифорнийском университете в Санта-Барбаре и вскоре стала профессором Массачусетского технологического института (МТИ). Она решила заняться созданием биологических агентов, способных перемещать молекулы и строить из них, как из кирпичиков, сложные структуры. В нанотехнологии такая стратегия называется самосборкой. Однако неповоротливое и медленно растущее морское ушко не способно на такие подвиги: здесь нужен был маленький, гибкий и подвижный организм, этакая по-месь максвелловского демона с рождественским эльфом.

Белчер пробовала использовать моноклональные антитела, которые способны прикрепляться ко многим веществам, но оказалось, что работать с ними чрезвычайно трудно. Еще в середине 1990-х гг. она узнала о бактериофаге *M13* — вирусе, паразитирующем на бактериях и безвредном для человека. Его нитевидное тело состоит из единственной

цепочки ДНК, окруженной 2 700 молекулами одного белка по бокам и несколькими молекулами других белков на концах. Фаг можно конструировать из различных видов белков и получать миллиарды сочтаний, каждое со своим химическим сродством. Удивительный вирус может прилипнуть боками к одному веществу, а концами — ко второму и третьему.

Биологи давно используют химическую избирательность фага *M13* и его способность связываться с определенными органическими соединениями для идентификации проб неизвестных веществ. Белчер показала, что вирус способен манипулировать и неорганическими молекулами, такими как металлы и полупроводники, из которых состоит несметное множество полезных устройств. Это был редкий случай, когда физические науки заимствовали достижения биологических: поскольку всю черную работу выполнили биологи, Белчер всего за \$300 купила обширную диагностическую библиотеку разновидностей *M13*.

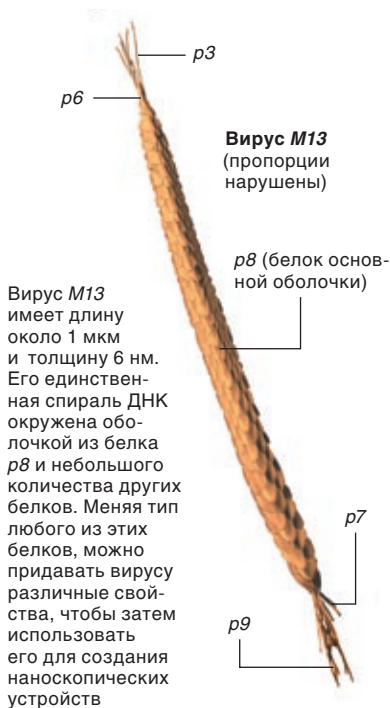
Чтобы заставить фаг связываться с нужными молекулами, применяют процесс так называемой направленной эволюции. Образец материала кладут в пробирку с миллиардами различных вирусов, потом ▶

промывают его и помещают в агрессивную среду (например, с повышенной pH), чтобы удалить плохо прилипшие фаги. Оставшиеся на образце экземпляры *M13* размывают, инфицируя ими бактерию-хозяина.

Триумф фага

В результате размножения появляются триллионы перспективных разновидностей фагов, которые используются на следующем этапе эволюции. Химический состав раствора изменяют, чтобы затруднить связывание фага с нужным веществом. Вирусы, прилепившиеся слабее, снова смываются, а оставшиеся — размножаются, и процесс повторяется в еще более жестких условиях. После трех недель из всех вариантов фага остается лишь тот, который наиболее избирательно сцепляется с данным материалом.

Если в раствор, содержащий ионы золота, поместить фаг с высокой избирательностью к этому металлу, то он покроет себя ионами и превратится в проволочку длиной 1 мкм, пригодную для соединения элементов микросхемы. Более того, такой вирус может соединиться с себе подобными, образуя золотые проводники



длиной несколько сантиметров, которые можно спрясть в нити и сплести из них ткань. А если связать полученную проволоку с химически чувствительными рецепторами, можно получить детектор токсичных веществ.

Несколько лет назад Белчер вывела дрожжевые клетки, способные связывать золото. Они были получены в ходе экспериментов, пока не нашедших практического применения (впрочем, поскольку такие клетки достигают размеров порядка 6 мкм, их можно использовать в качестве флуоресцентных маркеров). Сейчас студенты Белчер проводят эксперименты по связыванию золота во время лабораторных работ, посвященных использованию живых организмов для создания новых материалов.

Несмотря на то, что Белчер продолжает эксперименты по изучению возможностей других микроорганизмов, основное внимание все же уделяется вирусам *M13*. Уникальное отношение длины к толщине позволяет им самоорганизовываться в сложные структуры. Белчер смогла заставить отобранные фаги сформировать пленку площадью 10 см² и толщиной менее 1 мкм, которую удалось превратить в прочный лист с помощью дополнительных химических связей.

Сейчас Белчер и ее коллеги из МТИ Ет Мин Чيانг (Yet-Ming Chiang), Паула Хэммонд (Paula Hammond) и Ки Тэ Нам (Ki Tae Nam) изготавливают из таких пленок электроды для сверхлегких литий-ионных аккумуляторов. Проект финансируется министерством обороны США: поскольку современные самолеты буквально напичканы батареями электропитания, снижение их веса чрезвычайно важно для военных. Новые электроды весят не более 50 мг, т.е. в десять раз меньше обычных.

Катод можно сделать из листа специально выведенных фагов, покрывающих себя золотом для увеличения электропроводности и оксидом кобальта для обеспечения ионного обмена с электролитом батареи. Двухслойный электрод формируется

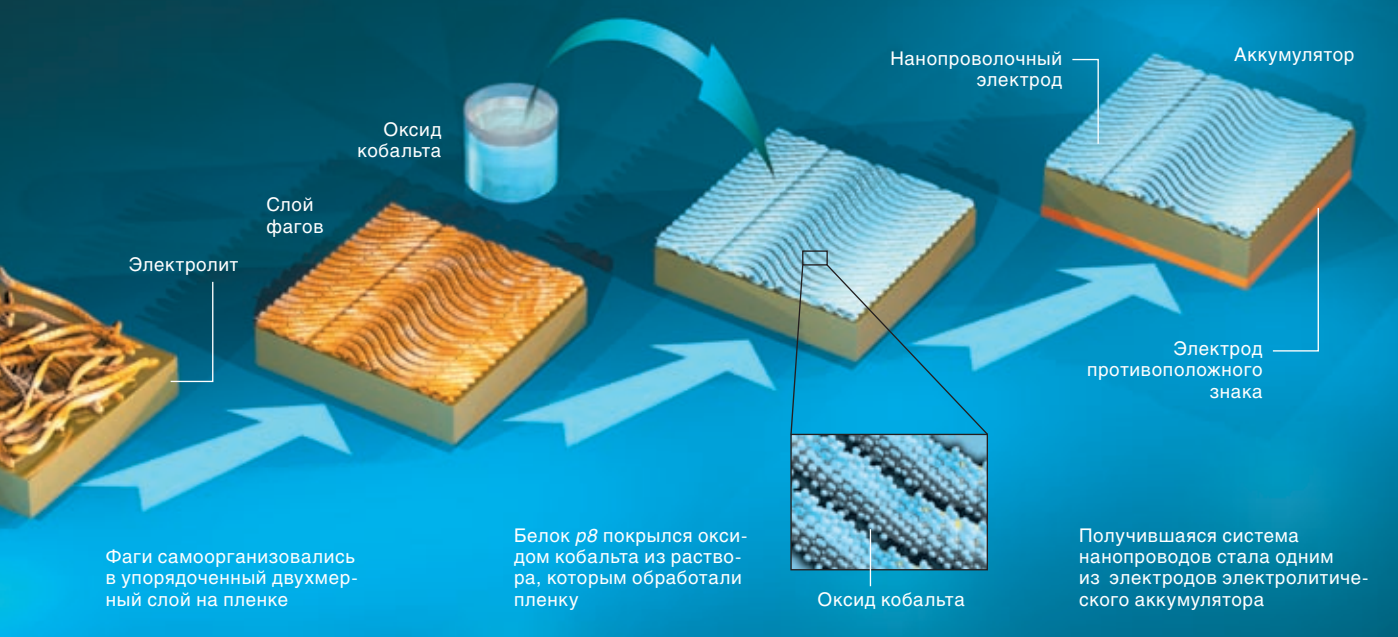


самостоятельно на предварительно подготовленном полимерном электролите. Сейчас группа Белчер работает над получением фагов для выращивания анода.

Разработчики пытаются создать пленки с чередующимися на их поверхности положительными и отрицательными электродами, чтобы можно было соединять их последовательно и получать более высокое напряжение. Малость расстояний между электродами обеспечивает быстроту зарядки и разрядки, а также оптимальное использование компонентов. Таким батареям можно будет придавать любую форму, что позволит экономить место в самых разных устройствах: от военной электроники до сверхтонких *mp3*-плееров.

Вирусы способны различать практически любые вещества. Например, одна из разновидностей *M13* обладает сильным сродством к арсениду галлия, но совершенно нечувствительна к его близкому родственнику — нитриду галлия. Такую склонность к дискриминации можно использовать для выявления дефектов в микросхемах. Когда кристаллы одного из этих веществ

НОВЫЙ ТИП АККУМУЛЯТОРА



выращивают на поверхности другого полупроводника, даже небольшой разброс параметров кристаллической решетки приводит к возникновению механических напряжений, влияющих на электронные характеристики. К атомам, стоящим в решетке не на своем месте, могут прикрепляться фаги, снабженные флуоресцентными метками, которые хорошо видны под микроскопом.

Большие планы

Белчер намерена и дальше развивать фаговую технологию. «Возможно, мы научимся выявлять производственные дефекты в крыльях самолетов», — говорит она. Кроме того, исследователи пытаются заставить вирусы M13 собирать транзисторы из полупроводниковых молекул. Скорее всего, сделанные фагами микроэлектронные приборы будут не меньше и не лучше изготавливаемых обычным путем, но поскольку при их производстве не будут нужны вредные химикаты, уменьшится количество токсичных отходов.

Белчер надеется отблагодарить биохимиков и вывести фаги M13, которые связывались бы с раковыми клетками и с так называемыми

квантовыми точками, хорошо заметными при медицинском сканировании тела. На человеке они пока не испытывались, поскольку в их состав входят токсичные тяжелые металлы, в частности, кадмий. Ученые пытаются заставить фаги прикрепляться к менее опасным меткам из нитрида галлия, нитрида индия и других полупроводников. Эти исследования финансирует Национальный раковый институт США.

Большинство проектов, над которыми работает Белчер, найдут коммерческое применение лишь через несколько лет. Однако основанная ею фирма Cambrios занимается нишевым продуктом, который появится на рынке в середине 2007 г. и, как ожидается, будет приносить большую прибыль при малом объеме производства. Речь идет о гибком прозрачном сенсорном экране, который можно будет устанавливать на ветровых стеклах автомобилей и использовать для изготовления компьютерных дисплеев, сворачивающихся в рулон. Современные технологии не позволяют создавать гибкие экраны, так как требуют применения температур, при которых гибкий пластик плавится.

«Мне нравится заниматься фундаментальными разработками и организовывать фирмы для коммерциализации полученных результатов», — говорит Белчер. Вскоре она планирует открыть новую компанию, которая, как и Cambrios, займется соединением на первый взгляд несовместимых вещей. ■

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Ordering of Quantum Dots Using Genetically Engineered Viruses. Seung-Wuk Lee, Chuanbin Mao, Christine E. Flynn and Angela M. Belcher in Science, Vol. 296, pages 892–895; May 3, 2002.
- Viruses as Vehicles for Growth, Organization and Assembly of Materials. Christine E. Flynn, Seung-Wuk Lee, Beau R. Peelle and Angela M. Belcher in Acta Materialia, Vol. 51, Issue 19, pages 5867–5880; November 25, 2003.
- Spontaneous Assembly of Viruses on Multilayered Polymer Surfaces. Pil J. Yoo et al. in Nature Materials, Vol. 5, pages 234–240; March 2006.
- Virus-Enabled Synthesis and Assembly of Nanowires for Lithium Ion Battery Electrodes. Ki Tae Nam et al. in Science, Vol. 312, pages 885–888; May 12, 2006.



Фотография, сделанная с помощью камеры сотового телефона, может использоваться для поиска веб-страниц

Гэри Стикс

ПРОЩАЙТЕ, КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА!

Одна картинка может стоить тысячи слов, но в ответ на запрос «роза» система поиска изображений Google Image Search выдает более 60 тыс. ссылок на графические файлы, размещенные во Всемирной паутине

Использование ключевых слов имеет как сильные, так и слабые стороны: компьютер может найти множество релевантных веб-страниц, но неспособен отличить, скажем, название цветка от женского имени. Было бы здорово, если бы поисковая система могла находить изображения, похожие на предоставленную пользователем фотографию.

Идея использовать картинки в качестве поисковых запросов не нова. Лет десять назад появилась программа, способная находить похожие

друг на друга фотографии и отыскивать в базе данных изображения по их словесному описанию. Несмотря на это, до последнего времени методы поиска изображений по визуальному содержанию разрабатывались лишь в рамках дипломных проектов и кандидатских диссертаций.

Популярным поисковым системам еще предстоит внедрить новую технологию обработки своих каталогов, содержащих гиперссылки на миллиарды фотографий и рисунков. Однако кое-какие успехи в этой области уже достигнуты, и в ближайшем будущем мы сможем отказаться от использования ключевых слов.

Камера вместо клавиатуры

Повсеместное распространение сотовых телефонов и КПК, способных подключаться к Интернету и оснащенных фотокамерами, а также удобство использования миниатюрных клавиатур для ввода ключевых слов, открывают широкие возможности для отправки поисковых запросов в виде фотографий.

Сотрудники *Microsoft Research* рассматривают фотокамеру сотового телефона как перспективное устройство для ввода информации. Например, в магазине вы могли бы сфотографировать заинтересовавший вас товар, отправить файл с изображением на поисковый сервер и получить веб-страницу с отзывами других покупателей. Фотография

картины «Мона Лиза» поможет найти страницу по истории искусства, а снимок городской достопримечательности — карту ее окрестностей. «Наконец-то Всемирная паутина увидит реальный мир глазами пользователей», — говорит Ларри Зитник (Larry Zitnick) из редмондской лаборатории *Microsoft Research*. Аналогичный проект разрабатывается и в пекинском подразделении компании.

Перед исследователями стоит не легкая задача: нужно разработать мощный алгоритм, позволяющий просмотреть все изображения во Всемирной паутине. Группа Зитника продемонстрировала систему, принимающую фотографии-запросы, сделанные с помощью сотовых телефонов, и сопоставляющую их с предварительно обработанными обучающими изображениями, которым соответствуют ссылки на релевантные веб-сайты. Зитник планирует создать базу из миллиардов картинок, собранных поисковой системой *MSN Search*. Пока на формирование выборки из десятков тысяч обучающих изображений уходит от 2 до 4 секунд — интервал, который предстоит уменьшить до долей секунды.

На подготовительном этапе компьютер извлекает из веб-страницы фотографию и выявляет ее характерные особенности — темные пятна, окруженные светлыми областями, и наоборот. Некоторые особенности ▶

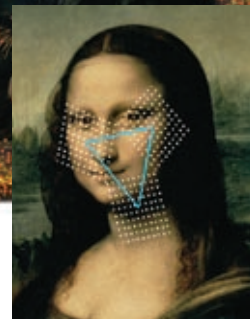
ПОИСК ПО ФОТОГРАФИИ ИЗ ТЕЛЕФОНА

В одном из проектов *Microsoft Research* фотографии, сделанные камерой сотового телефона, используются для поиска похожих изображений и информации о них во Всемирной паутине

1 Поиск начинается с отправки на поисковый сервер снимка объекта, сделанного с помощью сотового телефона. На сервере содержится каталог обучающих изображений, собранных из всех уголков Сети и подготовленных к сравнению с фотографией-запросом



2 Для ускорения поиска похожего изображения сервер выявляет характерные особенности снимка: темные пятна, окруженные светлыми областями, и наоборот (красные точки). Каждая особенность является центром квадрата 10×10 пикселей. Квадраты, расположенные на заданном расстоянии друг от друга, группируются в триплеты (обозначено голубым треугольником)



Фотография-запрос



группируются по три на основании вычисления расстояний между ними. Каждая особенность представляет собой центр квадрата 10×10 пикселей. Группа из трех таких квадратов называется триплетом. В каждом обучающем изображении выявляется примерно 5 тыс. триплетов. Информация об их расположении заносится в гигантскую таблицу, которая используется для того, чтобы сократить объем вычислений во время поиска. Фотография-запрос тоже разделяется на триплеты, которые затем сравниваются с триплетами из таблицы. В результате на сотовый телефон пользователя приходит список гиперссылок на веб-страницы, содержащие искомое изображение (см. рис. сверху). Сравнение основано именно на триплетах, потому что каждый из них охватывает большую часть изображения, за счет чего снижается вероятность ошибочного сопоставления.

К сожалению, производительность системы оставляет желать лучшего: средняя вероятность правильного распознавания не превышает 80%. Однако изображения объектов со специфическими плоскими поверхностями, столь характерными

для большинства товаров, распознаются с более высокой степенью точности. Кроме того, пользователи привыкли получать не одну, а несколько ссылок, поэтому вполне можно говорить о приемлемом уровне распознавания. Так или иначе, способность системы выявлять характерные черты объектов на обучающих изображениях и фотографиях-запросах позволяет получать гораздо меньшее количество релевантных ссылок, чем в случае обычного текстового поиска.

Чтобы увеличить диапазон объектов, поддающихся поиску, Зитник планирует усовершенствовать алгоритм, и тогда компьютер сможет находить зеркальные поверхности, а также предметы со сложной структурой, например, растения. Вместе с тем он отмечает, что новая система никогда не сможет охватить все разнообразие визуально различимых объектов.

Мальчик, девочка — какая разница?

Google тоже пристально следит за несметным множеством изображений на веб-страницах. Руководство этой поисковой системы не

спешит афишировать планы на будущее, однако ее разработчики начали сообщать о своих достижениях на различных технических конференциях. С точки зрения компании, полноценное сравнение двух фотографий и распознавание отдельных объектов должно отойти на второй план, уступив место более прагматичной задаче простого обобщения миллиардов изображений. Например, на запрос, что это за розоватое пятно на фотографии — участок тела обнаженной красавицы или котедж в стиле ар деко, — пользователь системы поиска изображений всегда рискует получить пару-тройку порнографических картинок.

«Мы хотим, чтобы порно-сайты отфильтровывались не только по адресам и ключевым словам, но и по содержанию изображений», — говорит один из разработчиков Google Шамит Балуйя (Shumeet Baluja). В одном из подразделений компании была разработана и внедрена система, которая со средней степенью точности определяет, является ли фото порнографическим. Отказавшись от распознавания форм, занимающего до нескольких минут, исследователи с помощью 2,5 тыс.

3 Триплеты фотографии-запроса сравниваются с триплетом обучающих изображений. На каждом снимке выделяют в среднем по 5 тыс. триплетов, которые сохраняются в базе данных. Сопоставление триплетов, а не отдельных кусочков картинки, позволяет находить изображения, наиболее точно соответствующие запросу



Триплет фотографии-запроса



Триплет обучающего изображения



Триплет обучающего изображения

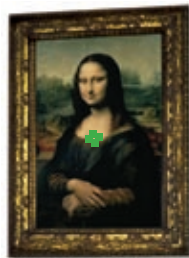
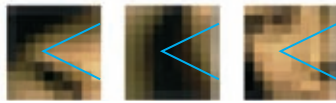


4 Все элементы триплета запоминаются в одном том же масштабе и в одном и том же положении. Обучающее изображение, найденное в результате сравнения триплетов, дополнительно сверяется с запросом путем сопоставления нескольких центральных пикселей (зеленые квадраты)

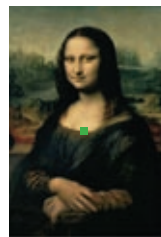
Триплет фотографии-запроса



Триплет обучающего изображения



Фотография-запрос



Обучающее изображение



5 Как только найдено подходящее обучающее изображение, на сотовый телефон пользователя передается ссылка на содержащую его веб-страницу

компьютеров, анализирующих по 20 изображений в секунду, выявили половину непристойных картинок в наборе из 1,5 млрд. изображений за 8 часов. Теперь во время поиска по Всемирной паутине вы можете дать указание поисковой системе, чтобы она не выдавала вам ссылки на страницы, чье содержание помечено как сомнительное.

Система состоит из нескольких модулей, распознающих 27 характерных черт порнографии: цвета и текстуры, характерные для изображения кожи человека; области одинакового цвета, соответствующие обнаженному телу; присутствие лиц и т.п. Однако у кожи бывают разные оттенки, и к тому же многие безобидные предметы окрашены в телесные цвета. Поэтому один из компонентов системы отвечает за распознавание объектов, например, зданий, которые легко отличить по длинным прямым граням. Картинки, помеченные как непристойные, служат одним из признаков, по которым система *Google Image Search* отфильтровывает ссылки на порнографические сайты. Кроме того, она анализирует адреса и текстовое содержание подозрительных веб-страниц.

Каждый алгоритм, используемый для анализа изображений из Всемирной паутины, прежде всего должен быть быстрым и эффективным. Исследователям из компании *Google* удалось существенно сократить объем информации, необходимой для визуального определения пола человека и ракурса его лица. Достигнутое ускорение процесса обработки имеет принципиальное значение, поскольку пользователи чаще всего ищут именно фотографии людей. Было бы здорово, если бы поисковая система могла определять, кто изображен на картинке: Бритни Спирс или Тони Блэр? В *Google* уже используются фильтры, определяющие ракурс, пол и возраст людей по их портретам.

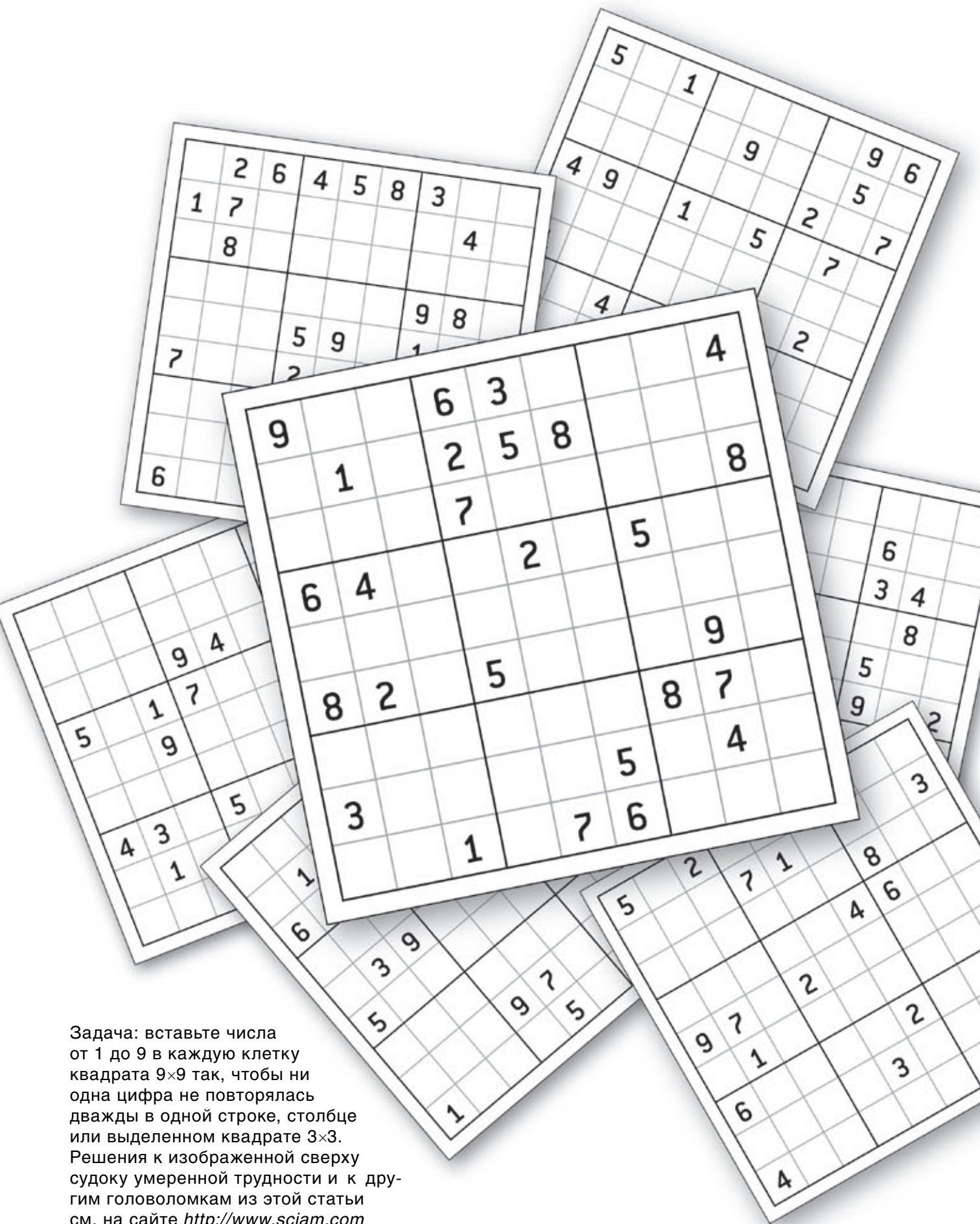
Модуль для определения пола и ракурса лица разработан Балуйей и Генри Роули (Henry Rowley) на основе результатов измерения световых интенсивностей пар пикселей внутри квадратов 20×20 точек, взятых с фотографий мужских и женских лиц в разных положениях. Сначала специальный алгоритм находит на фото лицо, а затем модуль, определяющий его положение, анализирует 150 пар пикселей и с точностью

99% распознает один из пяти ракурсов (анфас, слева, справа и т.д.). Описанные фильтры можно использовать в самых разных целях, а не только чтобы отфильтровать картинки «для взрослых».

Разработчики *Google* не считают нужным придумывать изощренные алгоритмы только ради демонстрации своей виртуозности. К исследованиям они относятся прагматически, и по возможности стараются упрощать сложные задачи. Нельзя же, в конце концов, анализировать каждый пиксель на каждой картинке из Всемирной паутины! ■

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Boosting Sex Identification Performance. Shumeet Baluja and Henry Rowley. *Innovative Applications of Artificial Intelligence*, 2005.
- Large Scale Image-Based Adult-Content Filtering. Henry A. Rowley, Yushi Jing and Shumeet Baluja. *International Conference on Computer Vision Theory and Applications*, 2006.
- Домашняя страница Ларри Зитника: <http://research.microsoft.com/~larryz/>



Задача: вставьте числа от 1 до 9 в каждую клетку квадрата 9×9 так, чтобы ни одна цифра не повторялась дважды в одной строке, столбце или выделенном квадрате 3×3. Решения к изображенной сверху sudoku умеренной трудности и к другим головоломкам из этой статьи см. на сайте <http://www.sciam.com>

Жан-Поль Делаё

НАУКА О СУДОКУ

Для решения
судoku не нужна
даже арифметика,
и все же популярная
головоломка
поставила перед
математиками целый
ряд интересных
задач

Может показаться, что логическими играми интересуются лишь математики и программисты. Однако не так давно головоломка судoku вдруг стала такой же популярной, как кубик Рубика в начале 1980-х гг. Она представляет собой квадратную сетку 9×9 клеток, которая разделена на девять малых квадратов 3×3 . В некоторых клетках проставлены цифры от 1 до 9, и задача состоит в том, чтобы заполнить пустые клетки так, чтобы в любом ряду, любой колонке и любом малом квадрате ни одна цифра не повторялась дважды.

Как ни странно, чтобы разгадать судoku, совершенно не нужно знать математику: для заполнения сетки числами вам не понадобится ни одна арифметическая операция. Вообще говоря, можно использовать любой набор из девяти различных символов (буквы, цвета, рисунки и т.д.). И все же математики и специалисты в области информатики всерьез заинтересовались новой головоломкой.

Из истории

Многие ошибочно полагают, что предком судoku был магический квадрат, в котором сумма чисел во всех рядах, столбцах и диагоналях одинакова. На самом деле, кроме чисел и сетки у магического квадрата и судoku нет ничего общего. Родственником последней скорее был латинский квадрат (врез на стр. 72),

который представляет собой матрицу $n \times n$, заполненную набором из n символов так, чтобы каждый из них был использован ровно n раз и не появлялся дважды в одном ряду или столбце. Эти квадраты дошли до нас из глубины Средневековья, а латинскими их назвал Леонард Эйлер (1707–1783), посвятивший им ряд работ.

Стандартная головоломка судoku очень похожа на латинский квадрат 9×9 и отличается от него лишь дополнительным требованием, чтобы каждый малый квадрат содержал все цифры от 1 до 9. Первая головоломка такого рода появилась в мае 1979 г. в журнале *Dell Pencil Puzzles and Word Games*. По данным исследования, проведенного редактором отдела кроссвордов *The New York Times* Вилли Шорцом (Will Shortz), она была придумана архитектором Говардом Гарнсом (Howard Garns). Издательство *Dell* опубликовало головоломку под названием *Number Place* («Вставь цифры»), а в 1984 г. она перекочевала в Японию, где ее назвали «судoku», что в вольном переводе означает «Одинокие числа». Английский журнал запатентовал название *Number Place*, так что в Стране восходящего солнца головоломка известна именно под этим псевдонимом. По иронии судьбы в Японии ее называют по-английски, а во всем остальном мире — по-японски.

Своим нынешним успехом судoku обязана Вейну Голду (Wayne ▶

ПРЕДШЕСТВЕННИК СУДОКУ

Судoku является частным случаем латинского квадрата, названного так Леонардом Эйлером в XVIII в. Латинский квадрат представляет собой матрицу $n \times n$, заполненную набором из n символов так, чтобы каждый символ появлялся в своем ряду и столбце лишь один раз. Ниже приведены два примера. Сетка, заполненная по правилам судoku, — это латинский квадрат 9×9 , в котором соблюдается дополнительное условие: каждый из девяти малых квадратов 3×3 содержит полный набор цифр от 1 до 9.

Клетка				5	8	6	4	2	1	3	7	9
1	2	3	4	3	2	7	9	6	5	4	8	1
2	3	4	1	9	1	4	3	7	8	6	2	5
3	4	1	2	1	6	3	5	8	4	7	9	2
4	1	2	3	2	4	5	1	9	7	8	6	3
Латинский квадрат ($n=4$)				8	7	9	6	3	2	5	1	4
Малый квадрат				7	5	8	2	1	3	9	4	6
				6	3	1	7	4	9	2	5	8
				4	9	2	8	5	6	1	3	7
				Латинский квадрат, заполненный по правилам судoku ($n=9$)								



Леонард Эйлер

Gould), отставному судье из Гонконга, который случайно столкнулся с ней, путешествуя по Японии в 1997 г. Вейн написал компьютерную программу, автоматически генерирующую сетки, заполненные по правилам судoku. В конце 2004 г. их стали публиковать в лондонской газете *The Times*, а с января следующего года они стали появляться и в *The Daily Telegraph*. Сейчас судoku публикуются в сотнях газет и журналов по всему миру, а некоторые издания даже помещают их на обложках для привлечения читателей.

Сколько людей, столько сеток

Разумеется, математики сразу бросились обчислять новую головоломку. Для начала они решили определить количество вариантов заполнения квадрата по правилам судoku. Очевидно, что из-за ограничения, накладываемого малыми квадратами, заполненных судoku должно

быть меньше, чем латинских квадратов 9×9 .

Существует всего 12 латинских квадратов 3×3 , 576 квадратов 4×4 , и целых 5 524 751 496 156 892 842 531 225 600 квадратов 9×9 . Но, согласно теории групп, две сетки эквивалентны, если одну из них можно получить из другой путем замены. Например, если в заполненном квадрате везде заменить одно число другим (вместо 1 поставить 2, вместо 2 написать 7 и т.д.) или поменять местами ряды или колонки, то он по существу не изменится. Если учитывать только приведенные формы (т.е. все эквивалентные сетки считать за одну), то количество латинских квадратов 9×9 уменьшается до 377 597 570 964 258 816. Этот результат был опубликован в 1975 г. в журнале *Discrete Mathematics* Стэнли Баммелем (Stanley Bammel) и Джеромом Ротштейном (Jerome Rothstein) из Университета штата Огайо.

С помощью логики (для упрощения задачи) и мощных современных компьютеров (для систематического перебора возможных решений) Бертрам Фелгенхауэр (Bertram Felgenhauer) из Дрезденского технического университета и Фрейзер Джарвис (Frazer Jarvis) из Шеффилдского университета вычислили, что существует всего 6 670 903 752 021 072 936 960 различных способов заполнения судoku. Если каждый набор эквивалентных сеток считать за один вариант, то их количество снижается до 5 472 730 538, что чуть меньше, чем численность населения Земли. В любом случае приверженцы судoku могут не бояться, что головоломок не хватит на всех.

Обратите внимание, что каждый вариант заполнения судoku является решением для целого множества начальных состояний головоломки. Никому еще не удалось определить общее количество неполных стартовых сеток, имеющих однозначное решение. Более того, математиков интересуют только те из них, в которых количество цифр минимально (т.е. если убрать хотя бы одну цифру, решение уже не будет однозначным). До сих пор никто не смог сосчитать общее количество минимальных сеток, соответствующих максимальному числу различных вариантов заполнения квадрата по правилам судoku.

ОБЗОР: НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ СУДОКУ

- Судoku — это не только занимательная головоломка, но и источник интересных математических задач.
- Исследователи пытаются ответить на целый ряд вопросов: сколько существует вариантов заполнения судoku, сколько нужно заполненных клеток для получения однозначного решения, относится ли судoku к классу NP-полных задач?
- Искушенные любители головоломок придумали множество разновидностей судoku и несколько изящных способов решения.

Нерешенным остается вопрос о наименьшем количестве цифр, которое гарантировало бы существование однозначного решения. На текущий момент считается, что их должно быть не меньше 17. Гордон Ройл (Gordon Royle) из Университета Западной Австралии собрал коллекцию более чем из 38 тыс. стартовых сеток, которые соответствуют условию минимальности и не могут быть переведены друг в друга заменой символов.

Гэри Макгвайр (Gary McGuire) из Национального ирландского университета решил найти сетку с 16 заполненными клетками, у которой было бы однозначное решение. Однако пока поиск не увенчался успехом. С другой стороны, Ройл и другие исследователи уже получили сетку с 16 заполненными клетками, у которой есть всего два решения. Никаких других примеров ими не обнаружено.

Сможет ли кто-нибудь в ближайшее время доказать невозможность существования неполных сеток sudoku с 16 заполненными клетками и однозначным решением? Макгвайр в этом сомневается: «Если в поисках головоломки с однозначным решением рассматривать один вариант в секунду, потребуется 173 года. Кроме того, на анализ одной стартовой сетки даже самый мощный компьютер затрачивает порядка минуты, поэтому для получения окончательного ответа ему нужно 10 380 лет. Впрочем, если задачу распределить на 10 тыс. компьютеров, то на решение уйдет приблизительно год. Одним словом, чтобы проверить все сетки, нужно придумать более эффективный алгоритм поиска».

Математики уже знают ответ на противоположный вопрос: каково максимальное количество известных клеток, допускающее существование как минимум двух решений? Ответ — 77. Легко показать, что с 80, 79 или 78 известными клетками решение (если оно существует) уникально. Для сетки с 77 заполненными клетками это не так (врез на стр. 76).

Компьютер спешит на помощь

Математиков и специалистов в области информатики интересует не только проблема оценки количества вариантов. Время от времени они сочиняют алгоритмы для разгадывания sudoku и генерации стартовых сеток. Составить компьютерную программу, которая решала бы любую стартовую сетку 9×9, не так сложно.

Существует несколько алгоритмических подходов. Чаще всего используется перебор с возвратами — один

из вариантов метода проб и ошибок, когда предполагается частное решение, корректируемое по мере нахождения логических противоречий. В первую свободную клетку программа записывает цифру 1. Если такой выбор совместим с уже известными клетками, во вторую свободную клетку также записывается цифр в клетках вступает в конфликт с правилами sudoku, что происходит довольно быстро, программа стирает последнюю поставленную единицу и заменяет ее на двойку. Если ▶

В ПОИСКАХ МИНИМАЛЬНОЙ СЕТКИ

Сейчас считается, что для обеспечения единственности решения в квадрате 9×9 необходимо расставить не менее 17 цифр. Один из вариантов заполнения известен поклонникам sudoku как «Удивительно знакомый»: он скрывает в себе 29 неэквивалентных стартовых сеток с 17 цифрами. Когда-то считалось, что в нем спрятана стартовая сетка из 16 цифр с однозначным решением, но после тщательного анализа выяснилось, что это не так. Существует лишь одна стартовая сетка с 16 цифрами, имеющая всего два решения, в которых восьмерку и девятку можно поменять местами (см. ниже)

Головоломка с 17 известными клетками

	1							9
			3			8		
						6		
				1	2	4		
7		3						
5								
8			6					
				4				2
				7				5

«Удивительно знакомое» решение

6	3	9	2	4	1	7	8	5
2	8	4	7	6	5	1	9	3
5	1	7	9	8	3	6	2	4
1	2	3	8	5	7	9	4	6
7	9	6	4	3	2	8	5	1
4	5	8	6	1	9	2	3	7
3	4	2	1	7	8	5	6	9
8	6	1	5	9	4	3	7	2
9	7	5	3	2	6	4	1	8

Головоломка с 16 известными клетками

5		2				4		
			7	1				3
					4	6		
	7		2					
	1							
6				2				
			3			1		
4								

... и двумя решениями

5	6	2	3	8 ₉	9 ₈	4	7	1
8 ₉	4	9 ₈	7	1	6	2	5	3
1	3	7	4	2	5	8 ₉	9 ₈	6
3	5	8 ₉	1	9 ₈	4	6	2	7
9 ₈	7	4	2	6	3	1	8 ₉	5
2	1	6	8 ₉	5	7	3	4	9 ₈
6	9 ₈	1	5	4	2	7	3	8 ₉
7	2	5	6	3	8 ₉	9 ₈	1	4
4	8 ₉	3	9 ₈	7	1	5	6	2

МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ

Вот несколько подходов к решению sudoku. Первый и второй методы — самые простые и чаще всего используются в тандеме. К сожалению, они не всегда позволяют проводить глубокий анализ, так что может потребоваться третий метод, а если и его окажется недостаточно, то и четвертый. Последний абсолютно надежен, но требует железного терпения и особой внимательности

a

5		1					9	6
				9			5	
				5	2		7	
4	9		1				7	
				7				
1	3						2	
3		4		5	9			
	2	8		7	1		4	
7	6	5	8	2				

Клетки, заполненные по принципу исключения (синие)

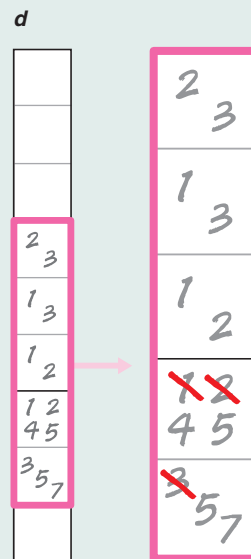
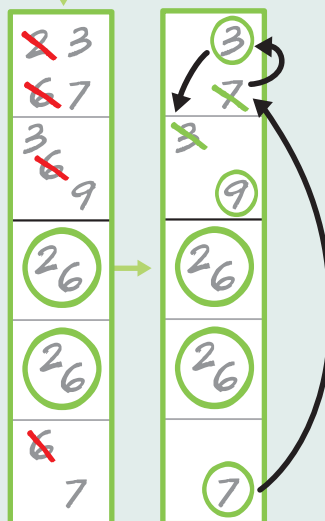
b

5		1					9	6
				9			5	
				1	5	2		7
4	9		1				7	
	5			7				
1	3	7					2	
3	1	4	6	5	9	7		2
9	2	8		7	1		4	
7	6	5	8	2				

Единственный возможный вариант заполнения клеток (оранжевые)

c

5	4 ₇₈	1	2 ₃	3 ₄₈	2 ₃	3 ₄₈	9	6
2 ₆₈	4 ₇₈	6 ₇	2 ₃	2 ₃	9	2 ₃₄	1 ₃	1 ₃
6 ₈₉	4 ₈	3 ₆₉	3 ₄₆	1 ₄₃	6 ₈	5	2	1 ₃₈
4	9	2 ₆	1	3 ₆₈	2 ₃	3 ₅₈	7	3 ₅₈
2 ₆₈	5 ₈	2 ₆	2 ₃₄	3 ₄	7	1 ₃₄₅	1 ₃	1 ₃₄
1	3	6 ₇	4 ₅	4 ₆₈	4 ₆₈	4 ₅₆	2	4 ₅
3	1	4	6	5	9	1 ₆₈	1 ₂₈	
9	2	8	3 ₆	7	1	3 ₅	4	3 ₅₉
7	6	5	8	2	3 ₄	1 ₃₉	1 ₃	1 ₃₉



она противоречит правилам, то ее заменяют тройкой и т.д. Пройдя цикл с одной клеткой и установив ее содержимое, программа переходит к следующей и снова начинает с единицы.

ОБ АВТОРЕ

Жан-Поль Делайе (Jean-Paul Delahaye) — профессор информатики в Научно-технологическом университете Лилля, сотрудник Лаборатории информатики Лилля при Французском национальном научно-исследовательском центре. Труды Делайе в основном посвящены теории игр и теории сложности вычислений, а также их применению в генетическом анализе и экономике.

Если на очередном шаге программа доходит до девятки, и она не подходит, то делается шаг назад и на единицу увеличивается цифра в предыдущей клетке. Затем опять начинается движение вперед, пока не возникает новое логическое противоречие. Грамотно составленная программа перебирает абсолютно все гипотезы и находит решение (если оно есть). Если головоломка составлена неправильно, и у нее есть несколько решений, программа находит их все. Можно усовершенствовать алгоритм и ускорить поиск однозначного решения. Например, когда новая цифра встает на свое место, программа может генерировать для каждой пустой клетки список

возможных значений и затем подставлять только их.

Алгоритм перебора с возвратами реализуется в довольно компактном коде. Самые короткие программы для решения sudoku написаны на Прологе — языке программирования, изобретенном Аленом Колмеро (Alain Colmerauer) и Филиппом Русселем (Philippe Roussel) из Марсельского университета в конце 1970-х гг.

Человеку алгоритм перебора с возвратами не подходит, поскольку для его использования требуется недюжинное терпение. Поэтому простые смертные прибегают к более интеллектуальным способам решения, оставляя метод проб и ошибок

МЕТОД 1

ЕДИНСТВЕННАЯ ВОЗМОЖНАЯ ЦИФРА

Выбираем какую-нибудь клетку, а затем просматриваем все цифры в ее колонке, столбце и малом квадрате. Исключив имеющиеся в них числа, получаем единственную возможную цифру (в сетке *b* показано оранжевым)

МЕТОД 3

СУЖЕНИЕ ДИАПАЗОНА ВОЗМОЖНОСТЕЙ

На этот раз нам потребуются карандаш и ластик. В каждой клетке выпишем мелкими цифрами все возможные решения, а затем с помощью логики пробуем исключить те или иные варианты.

Например, сетка с показывает, как выглядела бы сетка *a* без применения методов 1 и 2. Так, в третьей колонке для второй, третьей, четвертой, пятой и шестой клеток имеются следующие возможности: {2, 3, 6, 7}, {3, 6, 9}, {2, 6}, {2, 6} и {6, 7}, соответственно. Столбец должен содержать цифры 2 и 6, единственные возможности для которых — это четвертая и пятая клетки (они обведены кружком). Следовательно, 2 и 6 не могут стоять где-либо еще в этой колонке, и их можно удалить из других клеток (они зачеркнуты красным). Диапазон возможностей в колонке упрощается до {3, 7}, {3, 9}, {2, 6}, {2, 6}, {7}. Но это еще не все. Определив положение числа 7, узнаем положение цифр 3 и 9. Окончательный анализ дает следующие возможности: {3}, {9}, {2, 6}, {2, 6}, {7}. Остается единственная неопределенность относительно цифр 2 и 6.

Можно сформулировать общее правило: если среди набора возможностей для ряда (колонки или малого квадрата) обнаруживаются *m* клеток, содержащих подгруппу только из *m* чисел (не обязательно, чтобы все они были в каждой клетке), то цифры этой подгруппы можно исключить из других клеток рассматриваемого ряда (колонки или малого квадрата). Например, в случае *d* ограничения {2, 3}, {1, 3}, {1, 2}, {1, 2, 4, 5}, {3, 5, 7} могут быть упрощены до {2, 3}, {1, 3}, {1, 2}, {4, 5}, {5, 7}, потому что клетки {2, 3}, {1, 3}, {1, 2} содержат цифры только из подгруппы {1, 2, 3}

на крайний случай. Программы, которые моделируют логику, используемую людьми, значительно больше по размеру, а работают с такой же скоростью. Тем не менее, они полезны для оценки сложности головоломок по пятибалльной системе от легких до сверхсложных. Для разгадывания первых достаточно простейшей логики, а для решения последних приходится изощряться.

Разгадывание sudoku можно свести к задаче на построение цветного графа, в котором две соединенные вершины не могут быть одного цвета, причем в палитре 9 цветов. Граф содержит 81 вершину, некоторые из них вначале окрашены. Проблема окрашивания графа весьма

МЕТОД 2

ПРИНЦИП ИСКЛЮЧЕНИЯ

Выбираем одно из чисел, например, 5. Первая и третья колонки уже содержат его, а вторая колонка — нет. Где в ней может стоять пятерка? Явно не в первых трех и не в последних трех клетках: соответствующие малые квадраты уже содержат эту цифру. Таким образом, число 5 из второй колонки может быть только в среднем квадрате, где свободна только пятая клетка. В нее и ставим нашу пятерку. Полученные таким образом цифры отмечены в сетке *b* синим цветом

МЕТОД 4

ПРОБЫ И ОШИБКИ

Многие стартовые сетки разгадываются с помощью приведенных выше методов. Но сверхсложные sudoku часто требуют применения метода проб и ошибок. Если сохраняется неоднозначность, нужно выбрать цифру наугад, а затем применять первые три стратегии. Если решение зайдет в тупик, значит, был сделан неправильный выбор. Например, в четвертой клетке третьей колонки можно поставить двойку. Если в ходе решения будет получено логическое противоречие, значит, там должна стоять шестерка. Как правило, угадать с первого раза не получается, и нужно быть готовым к тому, что сделанное предположение окажется неверным. Именно метод проб и ошибок реализуется в компьютерных алгоритмах перебора с возвратами. Однако то, что легко для машины, может оказаться слишком утомительным для человека

сложна, потому что сетка 9×9 эквивалентна графу с сотнями граней. Каждая клетка является частью ряда из 8 клеток, колонки из 8 клеток и малого квадрата из 8 клеток (4 из них уже учтены в строке и колонке). Таким образом, каждая клетка связана с $20 \cdot (8+8+4)$ другими, и мы получаем всего 1620 клеток, соединенных гранями. Поскольку каждая грань соединяет по 2 клетки, у нас получается всего $1620/2=810$ граней.

Возможность сведения sudoku к задаче окрашивания графа связывает головоломку с важным классом математических проблем. В частности, Такаюки Ято (Takayuki Yato) и Такаhiro Сета (Takahiro Seta)

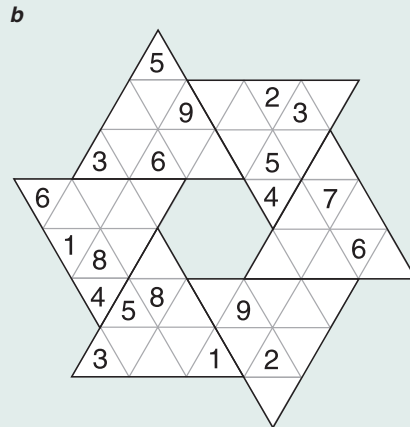
из Токийского университета показали, что sudoku принадлежит к числу *NP*-полных задач, которые считаются нерешаемыми за обозримый период времени. К таким задачам относится проблема построения графа, в котором каждый узел должен быть окрашен одним из трех цветов так, чтобы не было смежных пар, окрашенных в один и тот же цвет. В случае с sudoku практически невозможно разработать эффективную программу, которая решала бы частично заполненные сетки $n^2 \times n^2$ для любого *n*, а не только стандартный вариант для $n=3$ (сетка 9×9). Дело в том, что время, требуемое для решения, стремительно увеличивается с ростом *n*. ▶

ВАРИАЦИИ НА ТЕМУ СУДОКУ

Вас уже не устраивают стандартные судоку? В приведенных здесь головоломках правила те же, но есть отличия. Так, в варианте *a* цифры заменены на буквы фразы *GRAND TIME*, а в качестве малых квадратов выступают геометрические фигуры. Автор этой головоломки назвал ее дусумо (*Du-Sum-Oh*). В другом случае (*b*) имеется 6 треугольников, а также ряды и наклонные колонки, которые посередине могут прерываться. Там, где строка или колонка содержит только 8 клеток, девятой служат уголки «звезды». В варианте *c* трехзначные числа, сформированные решением по правилам судоку, подчиняются указанным на поле математическим действиям. В головоломке *d* знаки «больше» и «меньше» указывают на соотношения цифр в клетках. В варианте *e* на поле судоку необходимо разместить расположенные ниже костяшки домино. В задаче *f* три стандартные судоку наложены друг на друга

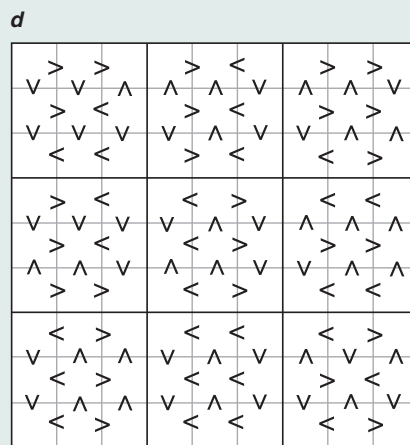
a

				N				
				I				
			T					R
		R						E
	A						N	
M					D			
				R				
			A					
		G						



c

			+		9 = 6			
6		5		8				2
			+	4	=			9
	6	1	8	5				7
	5		+		=			8
	8			1	4	5	6	
	5		+	9	=			
	8			7		1	6	
			7 + 3		=			



Обладая алгоритмом решения классического судоку, нетрудно написать программу для создания головоломок. Когда-то они составлялись вручную, но сегодня их генерируют компьютеры. Сначала машина

размещает в сетке наугад несколько чисел, а затем решающая программа определяет, есть ли у новоиспеченной неполной сетки решение. Если головоломка решается однозначно, компьютер выдает стартовую

сетку и завершает работу. Если решения не существует, программа убирает из начальной сетки одно число и снова приступает к разгадыванию. Если решений несколько, то выбирается одно из них, а в начальную сетку добавляется столько чисел, сколько необходимо, чтобы обеспечить единственность решения.

СЛИШКОМ МАЛО ПОДСКАЗОК

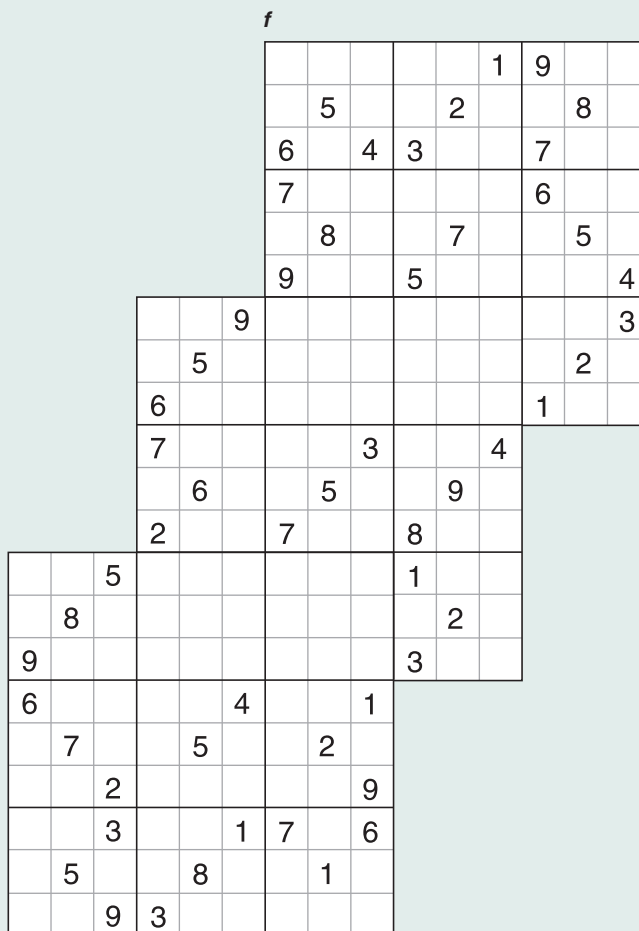
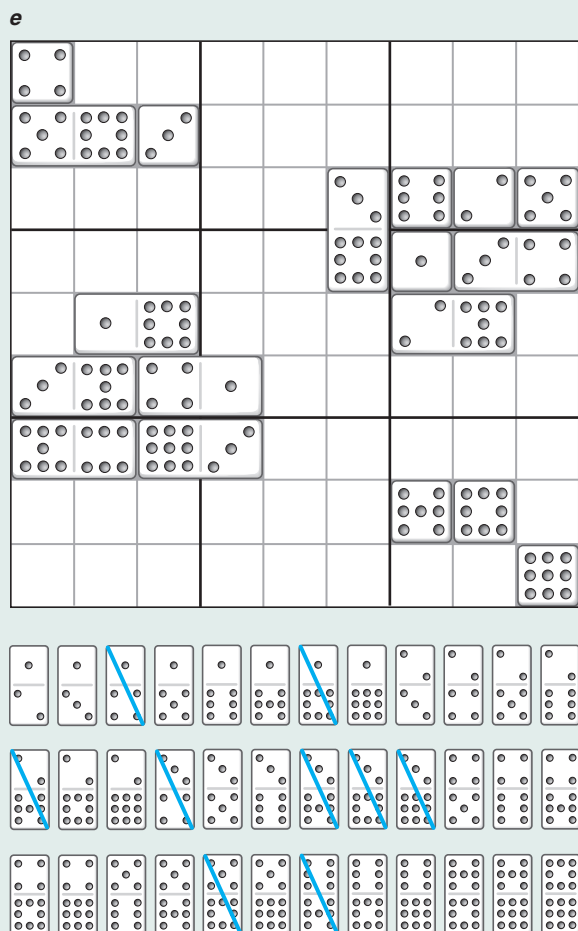
77 известных клеток — это максимальное количество, не гарантирующее однозначности решения. Несмотря на наличие лишь четырех пустых клеток, приведенная сетка имеет два решения: цифры 1 и 2 взаимозаменяемы

1	2	2	1	3				
4	5	6						
7	8	9						
2	1	2	4					

Человечные стратегии

Люди, предпочитающие решать судоку вручную, могут придерживаться самых разных тактик. Однако в качестве отправной точки используются два основных подхода. Сначала следует найти пустые клетки с наиболее жесткими ограничениями. Как правило, они принадлежат ряду, колонке или малому квадрату, которые уже почти заполнены. Иногда исключение цифр, которые уже

JEN CHRISTENSEN: SOURCES: BOB HARRIS IN THE GRAND TIME SUDOKU AND THE LAW OF LETTERS; K. PETERS (L); ON PRESS; (R); © NONZERO/OLGA LEONTEVA (B); ED PEGG, J.R. (C); © NONZERO/CHIAN ALTAI (C)



встречаются в данном ряду, колонке или малом квадрате, уже приводит к единственно возможной цифре. В любом случае такой подход помогает существенно сократить число возможных вариантов.

На следующем шаге нужно найти, где в конкретной колонке, ряду или малом квадрате встречается та или иная цифра (например, где могла бы располагаться цифра 3 в четвертом ряду). Иногда ответ на этот вопрос будет единственным. В любом случае знание того, что цифра 3 может быть только в одной-двух клетках, уже полезно (стр. 74, 75). О других возможных стратегиях см.: *Дополнительная литература*.

В Интернете есть множество программ, которые генерируют головоломки с заданной степенью сложности и помогают находить их

решения. Некоторые программы позволяют помещать в клетках временные пометки и стирать их, делая ненужным и карандаш и ластик. Другие отображают логические связи между клетками, освобождая пользователя от утомительного стирания цифр и помогая достичь большего мастерства в разгадывании.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Первый чемпионат мира по sudoku: www.wsc2006.com/eng/index.php
- Математические игры. Эд Пегг младший: www.maa.org/editorial/mathgames/mathgames-09-05-05.html
- Математика sudoku. Соренду Гапта: <http://theory.tifr.res.in/~sgupta/sudoku>
- Математика sudoku. Том Дэвис: www.geometer.org/mathcircles
- Алгоритмы решения sudoku: www.simes.clara.co.uk/programs/sudokutechniques.htm
- Sudoku, обзор: www.sudoku.com/howtosolve.htm
- Sudoku, статья из Википедии: <http://ru.wikipedia.org/wiki/sudoku>
- Различные варианты sudoku: www.sudoku.com/forums/viewtopic.php?t=995

Для тех, кому наскучило стандартное sudoku, существуют множество его разновидностей. В одних сетки многократно наложены друг на друга, в других малые квадраты заменены другими фигурами. Есть и такие, где введены дополнительные ограничения. Наверное, слов уже хватит: приступайте к игре! ■

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

Григорий Васильев

В последнее десятилетие все большее распространение в мире получают новые энергоэффективные технологии жизнеобеспечения зданий, базирующиеся на широком использовании низкопотенциальных геотермальных ресурсов в теплонасосных системах теплоснабжения (ТСТ). В англоязычной технической литературе такие системы обозначаются как GHP (geothermal heat pumps) — геотермальные тепловые насосы

Преимущества ТСТ в сравнении с их традиционными аналогами связаны не только со значительными сокращениями затрат энергии в системах жизнеобеспечения зданий и сооружений, но и с их экологической чистотой, а также с новыми возможностями для повышения степени автономности систем жизнеобеспечения зданий. Возможно, в недалеком будущем именно эти качества будут иметь определяющее значение в формировании конкурентной ситуации на рынке тепло-хладогенерирующего оборудования, как в нашей стране, так и за рубежом. Наибольшее распространение ТСТ, использующие тепло грунта, получили в США, Швеции и особенно в Швейцарии (одна ГТСТ на каждые 2 км² территории). Общий прирост объемов использования геотермальных ТСТ в мире составляет 10% в год.

В России построены и эксплуатируются лишь единичные объекты, оснащенные ТСТ, использующими низкопотенциальное тепло поверхностных слоев земли. Наиболее значимые из них построены по технологии и при участии ОАО «ИНСОЛАР-ИНВЕСТ». Достаточно

медленное внедрение в практику отечественного строительства геотермальных теплонасосных систем теплоснабжения (ГТСТ) связано с рядом объективных факторов: переход национальной экономики к рыночным отношениям, искаженная тарифная политика и структура цен на энергетические ресурсы, а также повсеместная централизация теплоснабжения. Но основным препятствием, сдерживающим внедрение ГТСТ, является отсутствие математического, программного и нормативного обеспечения проектирования и строительства этих систем в почвенно-климатических условиях России.

Технология применения ГТСТ представляет собой одно из наиболее эффективных и динамично развивающихся направлений интеграции в мировой энергетический баланс нетрадиционных возобновляемых источников энергии. Большие перспективы открывает использование разрабатываемых в рамках проекта технологий в России — как в строительстве, так и в ЖКХ. Так, созданная в рамках проекта технология использования ГТСТ в районах распространения вечномерзлых грунтов имеет принципиальное значение для России, существенная часть территории которой покрыта вечной мерзлотой.

Новые технологии

Технологии и новое оборудование, создаваемые в рамках проекта, базируются на научной экспериментальной базе ОАО «ИНСОЛАР-ИНВЕСТ» и участников проекта «Создание научно-технологических основ и оборудования для комплексного использования низкопотенциальных геотермальных ресурсов», а также на более чем 15-летнем опыте задействованных в проекте специалистов в области создания, проектирования, монтажа и эксплуатации на отечественном рынке теплонасосных систем теплоснабжения, использующих низкопотенциальное тепло грунта поверхностных слоев земли. Именно этот практический опыт и научный задел, а также лидирующие позиции ОАО «ИНСОЛАР-ИНВЕСТ» в данной области на российском рынке позволяют рассчитывать на успешную реализацию проекта и создание в его рамках коммерчески эффективных новых технологий и оборудования. Создаваемые в проекте технологии предусматривают рациональное использование



Макетный образец термоскважины и узел ее сопряжения с магистральными трубопроводами системы теплосбора

не только геотермального тепла, но и теплоаккумуляционных свойств поверхностных слоев грунта, обеспечивающих двукратное увеличение пикового удельного съема геотермального тепла в сравнении с существующими зарубежными аналогами.

Первый этап работ

В рамках первого этапа работ по проекту созданы математические модели теплового режима систем сбора низкопотенциального тепла грунта, учитывающие фазовые переходы поровой влаги в грунте при многолетней эксплуатации ГТСТ. Моделирование процессов теплопереноса, формирующих тепловой режим многокомпонентной системы, каковой является грунтовый массив системы теплосбора, — сложная задача, требующая учета и математического описания разнообразных механизмов их осуществления. Математические модели базируются на оригинальном методе и описывают нестационарный пространственный тепловой режим грунтового массива систем теплосбора со стоками тепла (грунтовыми теплообменниками). Преимущество метода по сравнению с традиционным подходом к моделированию тепловых процессов, протекающих в подобных системах, — использование информации о естественном тепловом режиме грунта. Это позволяет учитывать комплекс факторов, влияющих на формирование теплового режима системы теплосбора, совместный учет которых сегодня представляется сложным.

С помощью разработанных моделей впервые получены новые научные данные об эквивалентной теплопроводности грунтов, учитывающей скрытую теплоту фазовых переходов поровой влаги, как для грунтов по классификации ASHRAE, так и для грунтов, имеющих распространение в России. Новые технологии и методы использования низкопотенциального геотермального тепла, в том числе и в системах энергоснабжения, когенирующих тепловую и электрическую энергию, базируются на научном походе к комплексу «система электроснабжения + здание + ГТСТ» как к единой эконергетической системе, которая позволяет определить основные технологические параметры комплекса (рациональные технологические параметры аккумуляционной геотермальной теплонасосной системы теплоснабжения, а также рациональный уровень теплозащиты ограждающих конструкций зданий, оснащаемых ГТСТ). Кроме того, были разработаны новые методы извлечения низкопотенциальных геотермальных ресурсов для различных геоклиматических условий, а также проведены численные эксперименты по оценке эффективности использования технологий в различных регионах РФ. Так, в рамках проекта были разработаны новые технологические решения по использованию низкопотенциального геотермального тепла в районах распространения вечномерзлых грунтов для теплоснабжения зданий и сооружений с одновременной защитой вечномерзлого грунтового основания от деградации (растепления). Существующие сегодня в этих районах технологии



Макетный образец термоскважины

теплоснабжения зданий и защиты вечномерзлых грунтовых оснований от деградации требуют значительных энергоресурсов для охлаждения грунта. Проведенные исследования показали принципиальную возможность и технологическую осуществимость использования извлекаемого при охлаждении вечномерзлого грунта тепла в испарителях парокомпрессионных тепловых насосов в качестве источника тепла низкого потенциала. Эта технология позволит получить на 1 кВт энергии, расходуемой на привод ГТСТ, около 2–2,5 кВт полезного тепла и 1–1,5 кВт холода для стабилизации температурного режима вечномерзлого грунтового основания. Существенным преимуществом данной технологии является возможность строительства зданий без тепловых сетей, аварии на которых сегодня, как правило, приводят к потере несущей способности фундаментов. Созданная технология и проведенные в рамках данного проекта поисковые исследования возможностей использования ГТСТ в условиях вечномерзлых грунтов, а также разрабатываемые технологические и технические решения не только обеспечат теплоснабжение зданий, но одновременно позволят решить проблему стабилизации температурного режима вечномерзлых грунтовых оснований.

В 2005–2006 гг. авторами получены документы на оформление четырех патентов РФ на разработанные технологические и технические решения. Подготовлена конструкторская документация и сделаны три макетных образца термоскважин и три образца узлов их сопряжения с магистральными трубопроводами системы теплосбора, а также макетные образцы ГТСТ типа «вода-воздух» (воздушное отопление) и емкостного аккумулятора для сезонного аккумулирования энергии в грунте.

Второй этап работ

В рамках второго этапа выполнены натурные экспериментальные исследования и испытания макетных образцов термоскважин систем сбора низкопотенциального тепла грунта, макетных образцов узлов сопряжений оголовков термоскважин с магистральными трубопроводами системы теплосбора, а также макетного образца геотермальной теплонасосной системы теплоснабжения (ГТСТ) типа «вода-воздух» с последним в качестве теплоносителя системы отопления. Разработаны ▶

методики проведения натуральных исследований и испытаний, подобрано метрологическое обеспечение исследований. В натуральных условиях апробированы технологические приемы суточного и сезонного аккумулирования тепловой энергии в грунте и использования в гибридных ГТСТ низкопотенциального вентиляционных выбросов зданий, выполнена натурная оценка возможностей использования тепла канализационных стоков.

Третий этап работ

На следующем этапе были проведены теоретические и экспериментальные исследования, выполнены опытно-конструкторские работы, сформирована документация, изготовлен и испытан опытный образец модуля геотермальной системы теплоснабжения расчетной теплопроизводительностью 120 кВт — МГТСТ-120.

Опытный образец МГТСТ-120 был изготовлен и смонтирован для испытаний в Москве на территории ПКИО «Фили» на объекте «Гостевой дом Города мастеров». Для проведения испытаний были разработаны «Программа и методика испытаний МГТСТ-120-00.00.000.ПМ», в соответствии с которыми объект был оснащен контрольно-измерительной аппаратурой. Испытания подтвердили соответствие изготовленного и смонтированного МГТСТ-120 требованиям технического задания и условиям государственного контракта. В результате натуральных испытаний была достигнута обеспечиваемая опытным образцом экономия энергии 71% (по ТЭ — не менее 50%). Проведена сертификация технологии и создан-

ного теплонасосного оборудования опытного образца МГТСТ-120 (получен сертификат соответствия).

Четвертый этап работ

В рамках четвертого этапа создана методика и проведены численные эксперименты по количественной оценке возможных объемов устойчивого потребления и эффективности использования низкотемпературных геотермальных ресурсов в геоклиматических условиях различных регионов России в зависимости от длительности и плотности потребления геотермальной энергии на единицу площади территории. Кроме того, было выполнено конструкторское, научное и авторское сопровождение создания трех экспериментальных демонстрационных опытно-промышленных ГТСТ.

Для проведения районирования по эффективности использования геотермального тепла низкого потенциала проводились численные эксперименты по моделированию эксплуатационных режимов ГТСТ в различных климатических условиях территории РФ. Моделирование проводилось на примере гипотетического двухэтажного коттеджа с отапливаемой площадью 200 м², оборудованного геотермальной теплонасосной системой теплоснабжения с вертикальной системой теплосбора. Наружные ограждающие конструкции рассматриваемого дома имеют следующие приведенные сопротивления теплопередаче:

- наружные стены — 3,2 м²·ч·°C/Вт;
- окна и двери — 0,6 м²·ч·°C/Вт;



Районирование территории России по эффективности использования низкотенциальной тепловой энергии поверхностных слоев земли

■ покрытия и перекрытия — $4,2 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C} / \text{Вт}$.

При проведении численных экспериментов рассматривались:

— система с низкой плотностью потребления геотермальной энергии — горизонтальная система теплосбора из полиэтиленовых труб диаметром 0,05 м и длиной 600 м;

— система с высокой плотностью потребления геотермальной энергии — вертикальная система теплосбора из одной термоскважины диаметром 0,16 м и длиной 40 м.

Как показывает мировой опыт, зачастую для снижения периода окупаемости ГТСТ энергетические ресурсы эксплуатируются очень интенсивно, что может привести к их быстрому истощению. Поэтому необходимо поддерживать такой уровень использования геотермальной энергии, который позволил бы эксплуатировать источник энергетических ресурсов длительное время. Эта способность ГТСТ поддерживать требуемый уровень производства тепловой энергии длительное время называется устойчивостью. Для каждой ГТСТ и для каждого режима работы этой системы существует некоторый максимальный уровень производства энергии, производство энергии ниже которого можно поддерживать длительное время (100–300 лет).

Проведенные участниками проекта исследования показали, что потребление тепловой энергии из грунтового массива к концу отопительного сезона вызывает вблизи регистра труб системы теплосбора понижение температуры грунта, которое не успевает компенсироваться в летний период года в почвенно-климатических условиях большей части территории РФ, так что к началу следующего отопительного сезона грунт выходит с пониженным температурным потенциалом. Однако огибающие теплового влияния многолетней эксплуатации системы теплосбора на естественный температурный режим грунта имеют ярко выраженный экспоненциальный характер, и к пятому году эксплуатации грунт выходит на новый режим, близкий к периодическому, т.е. потребление тепловой энергии из грунтового массива системы теплосбора сопровождается периодически изменениями его температуры. Таким образом, при проведении районирования территории РФ необходим учет падения температур грунтового массива, вызванного многолетней эксплуатацией системы теплосбора, и использование в качестве расчетных параметров температуры грунтового массива, ожидаемых на пятый год эксплуатации ГТСТ. С учетом этого обстоятельства в качестве критерия эффективности геотермальной теплонасосной системы теплоснабжения, представленного на карте виде изолиний, был выбран средний за пятый год эксплуатации коэффициент трансформации теплоты, представляющий собой отношение вырабатываемой ГТСТ полезной тепловой энергии к энергии, затрачиваемой на ее привод и определяемый для идеального термодинамического цикла Карно следующим образом:

$$K_{\text{тр}} = T_o / (T_o - T_u) (1),$$



Колодцы термоскважин

где T_o — температурный потенциал тепла, отводимого в систему отопления или теплоснабжения, K ; T_u — температурный потенциал источника тепла, K .

Коэффициент трансформации теплонасосной системы теплоснабжения $K_{\text{тр}}$ представляет собой отношение полезного тепла, отводимого в систему теплоснабжения потребителю, к энергии, затрачиваемой на работу ГТСТ, и численно равен количеству полезного тепла, получаемого при температурах T_o и T_u , на единицу энергии, затраченной на привод ГТСТ. Реальный коэффициент трансформации отличается от идеального, описанного формулой (1), на величину коэффициента h , учитывающего степень термодинамического совершенства ГТСТ и необратимые потери энергии при реализации цикла.

Рынком для коммерциализации результатов проекта фактически является жилищный фонд РФ, составляющий 2818,1 млн. м^2 , со следующей структурой: муниципальный жилищный фонд — 24,1%, государственный — 6,8%, частный — 67,7%, общественный — 0,1%, смешанная форма собственности — 1,3%.

Стратегическая задача программы коммерциализации научно-технических результатов проекта — обеспечение энергией по создаваемым технологиям к 2010 г. 1% рынка вводимого в эксплуатацию жилья, а к 2015 г. доведение доли присутствия технологии на этом рынке до 5%. ■

РУКОВОДИТЕЛЬ ПРОЕКТА

Григорий Петрович Васильев — научный руководитель ОАО «ИНСОЛАР-ИНВЕСТ», кандидат технических наук

ВЫСОКОСПЕЦИФИЧНЫЕ СОРБЕНТЫ

МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Сергей Покровский

Возникновение и развитие многих заболеваний обусловлено появлением и накоплением в организме человека патогенных компонентов. Это могут быть аутоантитела, циркулирующие иммунные комплексы, атерогенные липопротеиды, эндогенные и экзогенные токсины, прионы, вирусы и микроорганизмы. Их полное удаление или снижение концентрации, как правило, дает положительный клинический эффект

В настоящее время существует метод, позволяющий корректировать состав крови, селективно удаляя патогенные вещества, вызывающие различные заболевания. Это терапевтический аферез (от греческого *apheresis* — удаление) с использованием иммуносорбционных колонок (иммуносорбция).

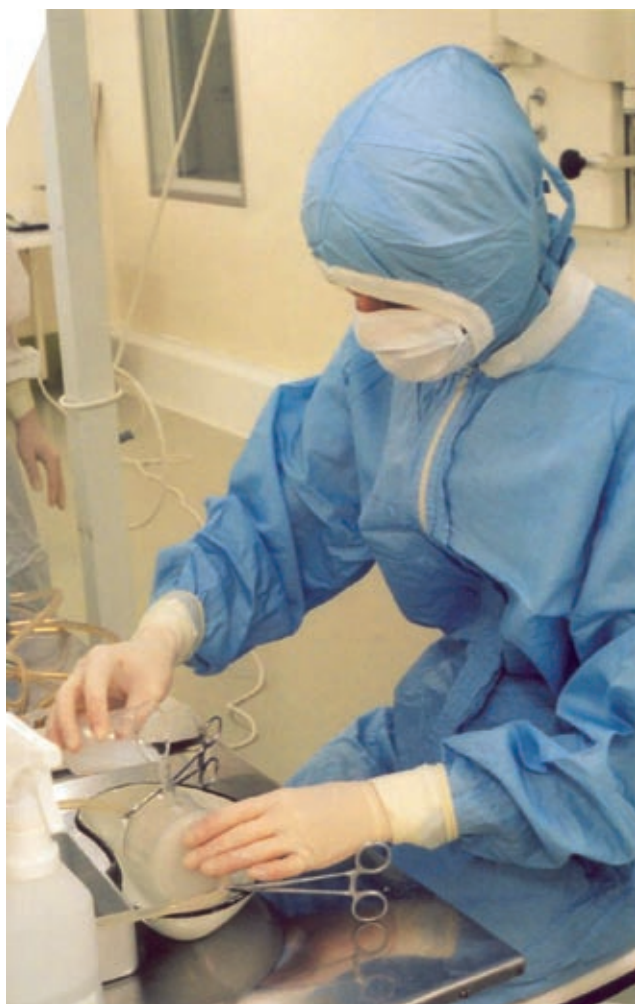
Метод базируется на принципе аффинной хроматографии, основанной на высокоспецифичном белок-белковом



Этапы производства: иммунизация животных

взаимодействию антиген-антитело. Впервые такой подход был применен для медицинских целей в 1981 г. сотрудниками Кельнского университета. Ими были разработаны колонки, содержащие поликлональные антитела барана против атерогенных липопротеидов низкой плотности (ЛНП) человека, иммобилизованные на агарозную матрицу. В 1982 г., по инициативе академиков Е.И. Чазова и В.Н. Смирнова были начаты работы по созданию аффинных сорбентов для медицины в Институте экспериментальной кардиологии Российского кардиологического научно-производственного комплекса Министерства здравоохранения РФ (ГУ РКНПК Минздрава России). В лаборатории профессора С.Н. Покровского были созданы уникальные сорбенты, которые сегодня используются для лечения различных заболеваний в отечественных и зарубежных клиниках.

Основой иммуносорбентов служат антитела, специфичные к определенным антигенам крови человека. Для их получения из крови человека выделяют патогенный компонент в чистом виде и вводят животному (используют, как правило, овец или коз). В ответ на появление чужеродного белка в крови животного образуются антитела, которые выделяют в чистом виде и иммобилизуют на нерастворимую, биосовместимую матрицу. Полученный гель сорбента — активный ингредиент для создания иммуносорбционной колонки. При проведении процедуры пара колонок включается в экстракорпоральный контур кровообращения пациента. Плазма крови больного, протекая через колонку, очищается от патогенного компонента и возвращается пациенту. Колонка насыщается, и ток плазмы переключается на другую колонку, за это время первая колонка регенерируется и готовится к повторному использованию. В итоге такая *twiп*-технология позволяет проводить во время процедуры несколько хроматографических циклов, придавая системе практически неограниченную сорбционную



Многостадийный процесс создания колонок в асептических условиях

емкость. Концентрация других компонентов крови при этом практически не меняется. Тип колонок, параметры процедуры, оптимальный курс лечения подбираются с учетом индивидуальных особенностей пациента. Компоненты донорской крови не требуются.

Метод иммуносорбции липопротеидов низкой плотности, называемый ЛНП-аферез, имеет 25-летнюю историю. В данной процедуре используется сорбент с антителами против апоБелка В-100 — основного белкового компонента атерогенных частиц липопротеидов низкой и очень низкой плотности. Повышенная концентрация холестерина апоВ-содержащих липопротеидов служит основным риск-фактором возникновения и развития атеросклероза человека. В настоящее время ЛНП-аферез является общепринятым методом лечения атеросклероза у больных с тяжелыми наследственными формами гиперхолестеринемии и больных, резистентных к лекарственной терапии. В России имеется успешный и самый продолжительный в мире (22 года) опыт лечения ЛНП-аферезом пациентов, страдающих наследственной гиперхолестеринемией. При лечении используются

колонок ЛНП Липоapak® (изготовитель — научно-производственная фирма «ПОКАРД», Россия). ЛНП-аферез служит дополнением или альтернативой лекарственной терапии в случае ее неэффективности либо непереносимости. Кроме того, он широко применяется после операций аортокоронарного шунтирования с целью предотвращения образования рестенозов в коронарных артериях.

Уникальным и пока единственным в мире является разработанный в ГУ РКНПК МЗ РФ сорбент для удаления липопротеида (а) (Лп(а)). Лп(а) — независимый наследственный фактор развития атеросклероза и его тромботических осложнений. У людей с повышенным Лп(а) тяжелый атеросклероз развивается даже при нормальном уровне общего холестерина. Медикаментозная терапия для эффективного снижения уровня Лп(а), к сожалению, еще не разработана. Удаление Лп(а) при помощи иммуносорбции — единственный эффективный метод нормализации уровня этого липопротеида. В настоящее время в лаборатории аффинных сорбентов ведется разработка нового сорбента для лечения аутоиммунных заболеваний.

Аутоантитела и циркулирующие иммунные комплексы становятся причиной развития многих заболеваний, таких как дилатационная кардиомиопатия, миастения, синдром Гиллена-Барре, рассеянный склероз, системная красная волчанка, тромбоцитопеническая пурпура, гломерулонефрит, ревматоидный артрит, синдром Гудпасчера, синдром невынашиваемости беременности, отторжения пересаженных органов и др. Основными подходами при лечении этих болезней служат медикаментозная (как правило, гормональная) терапия и плазмообмен. Однако эффективность данных методов недостаточна не только для лечения, но и для поддержания приемлемого качества жизни пациента. В отличие от общепринятых методов, экстракорпоральная терапия с использованием иммуносорбентов открывает новые возможности эффективного удаления аутоантител из кровотока пациента.

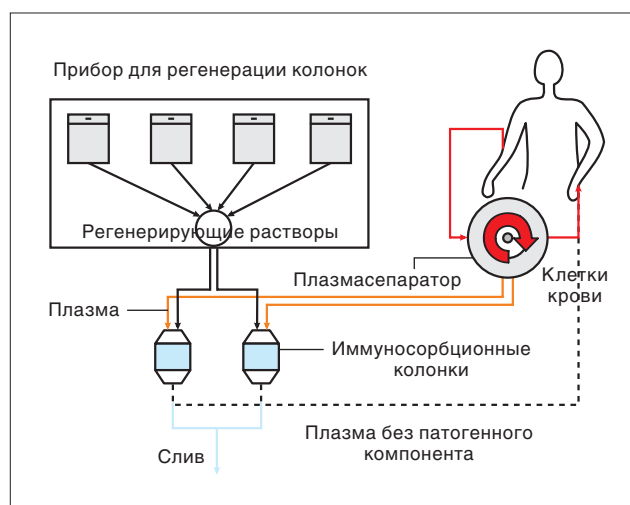


Схема процедуры иммуносорбции



Иммуносорбционные колонки «ЛНП Липоак»® и «Ig Адсопак»® для экстракорпоральной очистки плазмы крови человека в процедурах терапевтического афереза

Главная особенность разработки сорбента для лечения аутоиммунных заболеваний — правильный выбор антигена для получения антител. Именно белок, используемый как антиген, будет впоследствии удален из крови. Известно, что в ряде случаев аутоиммунный процесс в организме пациента связан с вполне определенным антигеном. Например, при миастении в организме больного обнаруживают аутоантитела к рецептору ацетилхолина, при рассеянном склерозе — к миелину. В то же время, при дилатационной кардиомиопатии в крови больных обнаруживают высокий титр аутоантител к различным белкам организма: β 1-адренорецептору, к белку мускаринового M2-рецептора, адениннуклеотидному транслокатору, миозину, тропомиозину, актину, митохондриальным, рибосомальным и другим белкам. Лабораторные исследования показали, что наиболее обоснованным является подход, обеспечивающий



Процедура ЛНП-афереза в отделении гемодиализа и плазмафереза Института клинической кардиологии им. А.Л. Мясникова ФГУ РКНПК Росздрава

удаление всего пула иммуноглобулинов из кровотока пациента. Такой метод получил название *Ig*-аферез.

В настоящее время положительные клинические результаты применения *Ig*-афереза получены как в России, так и за рубежом. Успехи в лечении дилатационной кардиомиопатии (ДКМП) крайне важны. Это тяжелое заболевание сердечной мышцы, чаще всего поражающее мужчин молодого и среднего возраста. До недавнего времени, единственным возможным методом его лечения была пересадка сердца. Положительные предварительные клинические результаты применения *Ig*-афереза при лечении больных ДКМП получены в Институте клинической кардиологии им. А.Л. Мясникова, ГУ РКНПК МЗ РФ (профессор, доктор медицинских наук В.В. Кухарчук), а также в Центре экстракорпоральных методов лечения ЗАО «Медси» (профессор, доктор медицинских наук Г.А. Коновалов).

Сорбенты медицинского назначения, помимо заданных биохимических свойств, должны удовлетворять целому ряду требований международных стандартов, обеспечивающих их безопасное применение, таких как *ISO 9001*, *ISO 13485*, *Medical device directives*. Новый сорбент для лечения аутоиммунных заболеваний создавался в строгом соответствии с такими требованиями.

Аффинные колонки для лечения аутоиммунных заболеваний — это изделия медицинского назначения, предназначенные для многократного индивидуального применения. Они представляют собой стеклянный корпус с двумя фильтрами, между которыми находится активный ингридиент — аффинный сорбент. Основу сорбента составляют *FAB*-фрагменты антител против иммуноглобулинов G человека, иммобилизованные на инертную биосовместимую полисахаридную матрицу. Опытные партии колонок выпущены научно-производственной фирмой «ПОКАРД» (Россия, генеральный директор — кандидат биологических наук Ирина Адамова). В ближайшее время будут проведены клинические испытания колонок. Данная работа ведется в рамках Федеральной целевой научно-технической программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники». ■

ОБ АВТОРАХ

Сергей Николаевич Покровский — доктор биологических наук, профессор, руководитель лаборатории аффинных сорбентов Института экспериментальной кардиологии Государственного учреждения «Российский кардиологический научно-производственный комплекс Минздравсоцразвития РФ». Лауреат премий Правительства РФ и Европейского общества гемафереза и гемотерапии.

Елена Демыгина — корреспондент журнала «В мире науки».

ОЧИСТКА ВОДЫ

Игорь Нечаев

Бурый осадок, пленка на поверхности кипяченой воды, рыжие пятна на ванне и раковине, испорченное белье — вот далеко не полный перечень проблем, с которыми сталкиваются россияне. Обеспечение населения нашей страны питьевой водой нормативного качества — задача первостепенной важности

Во многих регионах РФ питьевая и техническая вода не отвечает санитарно-гигиеническим требованиям по химическим и биологическим показателям. В водопроводной воде многих городов и населенных пунктов содержатся песок и взвеси, которые способны вывести из строя бытовую технику, а также примеси солей, железа, марганца, фтора, йода, стронция, селена, влияющие на здоровье людей. Если учесть, что около 40% населения России проживает в городах и населенных пунктах с числом жителей от 20 до 120 тыс. человек, как правило, имеющих очистные сооружения водоснабжения и канализации производительностью от 5 до 30 тыс. м³/сут. (аналогичные показатели — у большинства предприятий пищевой, легкой и перерабатывающей промышленности), построенных по типовым проектам 60–70-х гг.

XX в., то становится очевидным, что действующие традиционные очистные сооружения и технологии водоподготовки и водоотведения не всегда обеспечивают качество воды, соответствующее современным стандартам.

В последние десятилетия сброс неочищенных или недостаточно очищенных стоков населенных мест и промышленных предприятий наносит серьезный экологический ущерб рекам, озерам и другим объектам водного хозяйства. Свою лепту в общую картину вносят и шламонакопители, отвалы, хранилища химических отходов и удобрений, свалки. Ухудшение качества поверхностных и подземных вод привело к тому, что, согласно данным Министерства здравоохранения РФ, около половины россиян использует недоброкачественную питьевую воду. Поэтому обеспечение населения нашей страны питьевой водой нормативного качества стало одной из основных задач, решить которую может позволить только научно-обоснованный подход к рациональному использованию, охране и восстановлению источников водоснабжения, внедрения прогрессивных технологий подготовки питьевой воды и очистки сточных вод. ▶

О ФЕДЕРАЛЬНОЙ ЦЕЛЕВОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ПРОГРАММЕ

«Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники на 2002–2006 годы»

Из интервью генерального директора ЗАО «Вискер» Михаила Гиваргизова экспертному каналу Sciencerrf.ru:

В рамках ФЦНТП можно было увидеть два принципиально разных подхода в распределении средств. Один подход основывался на необходимости поддерживать передовые достижения в тех областях, в которых мы еще сохраняем если не приоритет, то паритет, другой — на поддержке команд, имевших в арсенале хорошую научно-техническую идею и доказавших свою способность ее реализовать. Если сравнить спектр областей, представленных в заявочных документах, с диапазоном венчурных проектов в развитых странах, то можно отметить серьезное расхождение. У нас соотношение выглядело примерно так: машино- и приборостроение — 40%, сельское хозяйство — 25%, химическая и обрабатывающая промышленность — 10%. Остальное распределялось примерно равными долями между информационными, био-, медицинскими и научно-техническими направлениями. Причем глубина новизны была небольшая. С точки зрения патентного специалиста, на конкурсе были представлены скорее полезные модели, чем изобретения. Спектр венчурных тем в развитых странах мира сейчас выглядят сейчас так: 40–45% — информационные технологии, 25–30% — биотехнологии, 15–20% — научно-технические проекты. Машино-, приборостроительные или сельскохозяйственные темы присутствуют в подобных конкурсах крайне редко. Таким образом, можно сделать вывод, что мы еще не достигли статуса общества с «постиндустриальной» экономикой. Прежде всего, причина этого — в технологическом отставании советского периода, особенно в период 1970–1980-х гг. Над этим стоит задуматься.

С этой целью в РФ была принята программа «Разработка гибридных биотехнологий для подготовки питьевой воды и очистки сточных вод с использованием мембран для сооружений водоснабжения и канализации», осуществляемая Государственным научным центром РФ «НИИ ВОДГЕО».

Биологическая очистка сточных вод

В ряду кардинальных мероприятий по предотвращению загрязнения подземных и поверхностных вод веществами антропогенного и техногенного происхождения одно из главных мест занимает очистка сточных вод.

В мировой практике около 95% сточных вод очищается биологическими методами. Процесс биологической очистки осуществляется сложным сообществом бактерий, простейших и ряда микроорганизмов в различных условиях аэробно-анаэробного биологического разложения. Из загрязненных вод многие микроорганизмы получают все необходимое для их жизни — питательные вещества, энергию и материал для конструктивного обмена (восстановления распадающихся веществ клетки, прироста биомассы). Очищая воду, они одновременно вносят в нее продукты обмена, выделяемые во внешнюю среду.

Современные сооружения биоочистки муниципальных и производственных стоков достаточно эффективны, однако они занимают большие площади, расходуют значительное количество электроэнергии на аэрацию, и поэтому вопросы снижения эксплуатационных и капитальных затрат при существенном повышении глубины очистки сточных вод по ряду компонентов загрязнений (биогенные элементы, нефтепродукты, синтетические поверхностно активные вещества — СПАВ) стали особенно актуальны.

Бурное развитие мембранных технологий привело к созданию принципиально новых типов микрофильтрационных мембран, использование которых в системах биологической очистки существенно увеличивает надежность работы сооружений, повышает эффективность очистки, создает благоприятные условия для развития специфических микроорганизмов, обеспечивающих глубокую биохимическую деструкцию трудноокисляемых загрязнений.

Использование биологических и мембранных (для отделения очищенной воды от активного ила) методов глубокой очистки природных и сточных вод в одном сооружении может быть очень перспективным для внедрения в системы водоснабжения и водоотведения для

жилищно-коммунального хозяйства и промышленности. Их использование в оборудовании и сооружениях сможет обеспечить подготовку питьевой воды и очистку сточных вод для населенных пунктов и городов с численностью населения от 20–120 тыс. человек, а также на промышленных объектах. При этом производительность очистных сооружений может увеличиться в 1,5–2 раза, а качество очищенной воды — существенно улучшиться. Уже сегодня применение полуволоконных ультрафильтрационных мембран позволит эффективно удалять из природных и сточных вод как биоразлагаемые, так и биорезистентные, токсичные и канцерогенные загрязнения на объектах промышленности, водного и коммунального хозяйства производительностью ее до 30 тыс. м³/сут. Применение новых технологий будет способствовать повышению степени очистки при снижении стоимости и уменьшении капитальных эксплуатационных затрат (на 10–15%). Кроме того, очистные сооружения могут стать более компактными и занимать площади на 50–70% меньше, чем ныне действующие.

Поскольку технология мембранных биореакторов (МБР) не имеет объективных ограничений по производительности, то говорить о продуктивности, например, 30 тыс. м³/сут. можно только на данном этапе с учетом имеющегося опыта разработки и проектирования подобных сооружений.

За рубежом биотехнологии с использованием мембран уже нашли широкое применение на объектах средней производительности в жилищно-коммунальном хозяйстве, для глубокой очистки сточных вод предприятий текстильной, пищевой, мясоперерабатывающей, молочной и других отраслей промышленности. В США, например, работает более 10 городских станций канализации (производительностью от 2 до 27 тыс. м³/сут) с использованием микрофильтрации.

Российские биотехнологии глубокой очистки природных и сточных вод

В России исследования в этом направлении только начинают проводиться. В институте ВОДГЕО разрабатывается принципиально новая биотехнология глубокой очистки природных и сточных вод — биосорбция. Сущность метода состоит в адсорбции загрязнений активированным углем, биомодификации биорезистентных загрязнений в микропористой структуре сорбента в биоразлагаемую форму и последующем их окислении биопленкой на поверхности сорбента (биорегенерация). Такой подход обеспечивает эффективное удаление в первую очередь трудноокисляемых, токсичных и канцерогенных веществ (нефтепродуктов, детергентов, хлорорганических и фосфорорганических соединений и др.). Ни мембранные, ни традиционные методы биологической очистки таких результатов не дают.

Проведенные предварительные исследования показали, что дальнейшее улучшение технико-экономических характеристик как процессов очистки сточных вод

Исполнитель работ — комплексный научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт водоснабжения, канализации, гидротехнических сооружений и инженерной гидрогеологии ФГУП «НИИ ВОДГЕО».

Директор — Александр Борисович Щегляев.

Руководитель работ — доктор технических наук Валерий Николаевич Швецов.

с активным илом в аэротенках, так и биосорбционной технологии, возможно именно путем интеграции биотехнологий с фильтрованием на микрофильтрационных мембранах. Интеграция мембранных и биотехнологий создает принципиально новые условия формирования биоценоза и функционирования микроорганизмов.

Мембранная микрофильтрация позволяет развигаться и задерживаться в системе медленно растущим микроорганизмам с интенсивным метаболизмом, способным окислять биорезистентные (трудноокисляемые) загрязнения, что позволяет в несколько раз увеличить дозу активного ила и его возраст, а также создает возможность практически полного задержания в биореакторе загрязнений в виде коллоидов и взвеси. В результате сточная вода может быть очищена от многих органических и некоторых неорганических соединений. При этом перед исследователями стоит несколько задач: прежде всего — оценить возможность и эффективность применения данного метода для очистки природных и сточных вод для широкого спектра веществ антропогенного происхождения, разработать модель расчета мембранных биореакторов, разработать конструктивное оформление процесса как с учетом строительства новых сооружений, так и для условий реконструкции существующих.

Следует учесть, что условия работы мембран в биомембранных процессах определяются режимами и параметрами работы биореактора, в частности, степенью

образования в нем коллоидных соединений, отрицательно сказывающихся на проницаемости и сопротивлении мембран. Поэтому создание отечественной научной и технологической базы для разработки и проектирования очистных систем и установок на основе биомембранных технологий проводится на базе исследований, включающих изучение работы мембранных биореакторов в условиях очистки реальных вод, оценку глубины и эффективности удаления загрязнений, а также поиск оптимальных условий работы мембранных блоков, способов поддержания и восстановления их производительности.

Разрабатываемые технологии ориентированы на широкое применение для подготовки питьевой воды для населения, технической воды для многих отраслей промышленности, очистки коммунальных сточных вод городов и населенных пунктов, предприятий пищевой, легкой, химической и нефтехимической отраслей промышленности и многих других. ■

ОБ АВТОРАХ

Игорь Алексеевич Нечаев — кандидат технических наук, заместитель директора ГНЦ РФ «НИИ ВОДГЕО».

Михаил Молчанов — корреспондент журнала «В мире науки».

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!



Федеральное агентство по науке и инновациям, Государственная Дирекция целевой научно-технической программы и Национальный информационный центр по науке и инновациям *Sciencrf.ru* поздравляет вас с наступающим Новым годом!

При вступлении в новый год принято подводить итоги прошедшего. Уходящий 2006 год знаменателен многочисленными событиями и достижениями в научной сфере, инновационной и технологической областях. Этот год прошел для научного сообщества под эгидой развития приоритетных для страны областей науки и техники в рамках осуществления мер государственной политики Российской Федерации в области научно-технического и инновационного развития. Решению задач, поставленных Правительством и Президентом РФ, способствовала федеральная целевая научно-техническая программа «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники на 2002–2006 годы».

Новый год открывает широкие горизонты, перспективные направления деятельности и большие возможности для всех нас. С 2007 года стартует очередной этап проведения научно-исследовательских работ в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2012 годы».

От всей души желаем вам успехов во всех начинаниях, исполнения заветных желаний и достижения поставленных целей, осуществления самых смелых замыслов и светлых надежд. Пусть Новый 2007 год порадует вас приятными сюрпризами, добрыми встречами, принесет удачу и радость. Профессиональных успехов и процветания!

Федеральное агентство по науке и инновациям
Государственная Дирекция целевой научно-технической программы
Национальный информационный центр по науке и инновациям *Sciencrf.ru*



Марина Смирнова

ЭМОЦИИ И РАЗУМ: ДРУЗЬЯ ИЛИ ВРАГИ?

Эмоции окрашивают нашу жизнь в теплые радужные тона, пробуждая ощущение радости, счастья, успеха или привнося в нее беспросветный мрак, делая ее невыносимой

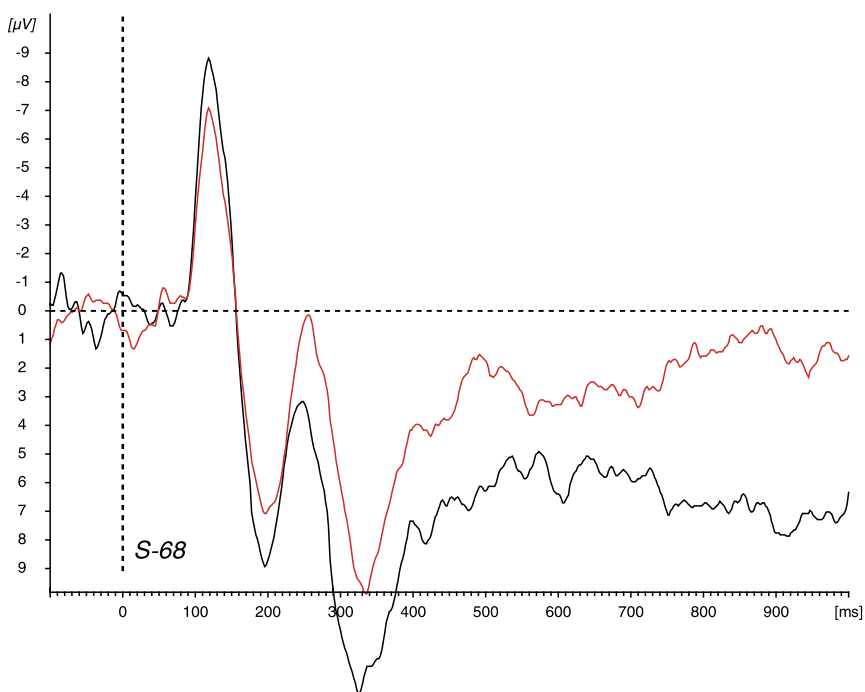
Какие эмоции свойственны человеку? Почему и зачем он переживает, злится, нервничает, волнуется, радуется, смеется, плачет, грустит, обижается, совершает бескорыстные поступки? Что такое эмоции? Какую роль они играют в социуме? Входят ли они в конфликт с разумом? Можно ли измерить эмоции и управлять ими? Как соотносятся агрессия и юмор? Как рождаются массовые страхи и как с ними бороться? Есть ли эмоции у животных и свойственен ли братьям нашим меньшим альтруизм? Чем эмоции животных отличаются от человеческих?

На эти и ряд других вопросов постарались ответить участники «Научного кафе», посвященного проблемам изучения эмоций. На очередной встрече, организованной агентством «ИнформНаука» и Фондом Дмитрия Зимина «Династия» присутствовали психологи, биологи и физиологи, профессионально занимающиеся проблемой эмоций, из Научного центра психического здоровья РАМН, Института высшей нервной деятельности РАН, Института психологии РАН и Факультета психологии МГУ.

О смехе

Минута смеха продлевает жизнь на год. Подтвердить или опровергнуть это расхожее мнение предложила соведущая научного кафе Любовь Стрельникова, главный редактор журнала «Химия и жизнь» и агентства «ИнформНаука». Мнения собравшихся разделились: помимо категоричных «нет» и «да» звучали высказывания наподобие: «Трудно проверить», «Не знаю, на год или на другой срок, но здоровье сохраняет, защищает от болезней и помогает их легче переносить», «Смотря над чем и над кем смеяться», «Тому, кто смеется — продлевает, а тому, кто шутит — укорачивает» и т.д.

Также отмечалось, что некоторые душевнобольные не воспринимают «агрессивный юмор» как нечто способное развеселить. По их мнению, фильмы Чарли Чаплина вовсе не смешны, потому что когда кто-то падает или кого-то бьют, это печально. Кроме того, большинство участников дискуссии обращали внимание на то, что на восприятие смешного влияют культурные особенности, традиции, нормы. Высказывалось мнение, что смех, как ни странно, коррелирует и с дружелюбием, и с агрессией, ►



На этом рисунке изображены вызванные ЭЭГ-потенциалы мозга человека в ответ на идентичные звуковые сигналы. Задача испытуемых — детекция сигналов. Хотя сигналы одинаковые, амплитуда их различается когда детекция производится для того чтобы избавиться от удара током, и когда тот же сигнал детектируется, чтобы заработать денежное подкрепление. Данные получены Ю. Александровым совместно с В. Ключаревым (Нидерланды) и М. Самсом (Финляндия) в Хельсинкском технологическом университете

поскольку его рассматривают и как игровую форму поведения, в которой может быть заложена скрытая угроза: смотри, что я мог бы с тобой сделать, но не сделаю.

Получив сильные положительные эмоции во время разминки, участники кафе перешли собственно к обсуждению проблемы изучения эмоций.

Об эмоциях

Первые трудности возникли при попытке дать определение эмоциям и перечислить их базовые разновидности, а также определить, чем они отличаются от чувств. Профессор факультета психологии МГУ И.А. Васильев утверждал, что эмоция — это особая форма отражения реальности, сигнализирующая об удовлетворении или отсутствии удовлетворения потребности, а доктор биологических наук, заведующий лабораторией Института высшей нервной деятельности РАН Г.Х. Мержанова привела мнение создателя «информационной

теории эмоций» академика П.В. Симонова, согласно которому эмоция определяется как разница между возможным, ожидаемым и реальным удовлетворением потребности. В наиболее общей форме правило возникновения эмоций может быть представлено в виде структурной формулы: $\Delta = f\Pi \cdot (I_H - I_C)$, где Δ — эмоция, ее сила, качество и знак, Π — сила и качество актуальной потребности в самом широком смысле слова. Для человека это не только витальные необходимости вроде голода и жажды, но в равной мере многообразные социальные и духовные импульсы вплоть до самых сложных и возвышенных. $(I_H - I_C)$ — оценка вероятности (возможности) удовлетворения потребности на основе филогенетического и ранее приобретенного опыта, где I_H — информация о средствах и времени, прогностически необходимых, а I_C — информация, которой субъект располагает в данный момент для удовлетворения потребности. В этом случае, если прогно-

зирование завершено, а реальный результат неудовлетворителен, возникают отрицательные кратковременные ситуативные переживания, и наоборот, при блестящем завершении задуманного рождаются положительные эмоции.

Профессор Института психологии РАН, заведующий лабораторией нейрофизиологических основ психики Ю.И. Александров заявил, что по аналогии с определением сознания можно сопоставить эмоции с оценкой субъектом результатов своего поведения (как «внешнего», так и «внутреннего»), но в отличие от сознания здесь имеются в виду результаты менее дифференцированных, более «глобальных» систем, соотносящих индивида с миром быстро, но «грубо». Он привел конкретные примеры, показывающие, в каких случаях рождаются положительные, а в каких отрицательные эмоции. Например, когда обезьяна нажимает на педаль для того чтобы получить пищевое вознаграждение (положительную эмоцию) и для того чтобы не допустить удара электрическим током (ситуация избегания), то, хотя она совершает внешне одно и то же действие, ее мозг при этом работает по-разному. В ситуации, когда животное прилагает усилия, чтобы добыть лакомый кусочек и удовольствие, и когда оно стремится не допустить негативного воздействия на свой организм, задействуется различный состав активирующихся клеток, и работать могут совершенно разные нейроны. Можно использовать данные, полученные при исследовании поведения животных, чтобы различать человеческие эмоции, но с поправкой на особенности системы психических процессов человека.

Был задуман эксперимент с участием человека, в котором фиксировалась активность различных областей мозга. Людям предлагали идентифицировать абсолютно одинаковый по параметрам слуховой сигнал, в первом случае — чтобы получить деньги, а во втором — чтобы избежать их потери. Активность мозговых структур при одном и том

же параметре и одних и тех же по характеру действиях, но разных задачах, оказывалась различной. При опросе испытуемые подтвердили, что когда любое их неверное решение могло привести к убыткам, они испытывали отрицательные эмоции, а когда они чувствовали, что могут обогатиться — положительные. Таким образом, активность мозга зависела от того, для чего совершал одно и то же действие человек, от того, к чему он стремился. Было установлено, что один и тот же звуковой стимул вызывает в соответствующей области мозга более сильную активацию, когда он связан с негативной эмоцией, чем когда он связан с позитивной. Сходные данные были получены, когда потеря денег была заменена ударом электрическим током.

Разногласия возникли и при попытке перечислить базовые эмоции человека. Обычно к ним относят интерес, удовлетворение, надежду, радость, пренебрежение, гнев, страх и горе. Однако нельзя забывать об аффектах и чувствах, различия между которыми психологи, психиатры и физиологи видят по-разному. Наиболее понятное определение состоит в том, что чувства — это более глубокие, устойчивые и длительные эмоциональные переживания, обобщающие кратковременные ситуативные эмоциональные состояния. Можно, например, любя ребенка (испытывая чувство) одновременно сердиться, обижаться на него (переживать эмоции). Если первое долгосрочно и не зависит от сложившихся обстоятельств, то вторые мгновенны и вызваны конкретными событиями. Однако провести четкую границу крайне сложно.

О страхе

Любые позитивные эмоции, несомненно, помогают нам как в повседневной жизни, так и в творчестве, а отрицательные — мешают, и, следовательно, с ними надо бороться. Страх, агрессия, отвращение относятся к базовым эмоциям, часто имеющим у животных биологические основания. Однако основная

сложность человеческой психики заключается в том, что у него базовые эмоции переплетаются и осложняются сознательными программами и установками. Это при определенных условиях позволяет вытеснять, например, страх.

Дело в том, что у человека, помимо биологических, появляются еще и социокультурные осознанные потребности и мотивы. Кроме того, в обществе большую роль играют коллективные эмоции. К коллективным страхам, например, относятся страх смерти, боязнь сойти с ума, социофобия, страх потери своего социального «я». В настоящее время к ним добавился страх терроризма. Помимо всего прочего, террористы рассчитывают на то, что основная масса людей будет воспринимать их как неуправляемую силу, способную смести все на своем пути, именно из-за того, что люди испугаются и у них возникнут негативные эмоции, провоцирующие панику. Также отмечалось, что чувство социального оптимизма, как коллективная эмоция ярко выраженное в 1960-х гг., в наши дни подавлено.

О стратегиях преодоления страха рассказал заведующий отделом клинической психологии Научного центра психического здоровья РАМН С.Н. Ениколопов, отметив при этом роль гнева, алкоголя, секса

и чувства юмора, а также целенаправленной, размеренной деятельности, например, дыхательной гимнастики.

Об интеллектуальных эмоциях

Как подчеркивали некоторые ученые, ни одна человеческая деятельность, особенно мыслительная и творческая, не обходится без эмоций, появляющихся в процессе поиска чего-то нового и сигнализирующих о том, насколько человек близок к достижению заветной цели. Эмоции дают определенную ориентировку, подсказывают ту плоскость, в которой следует искать, сокращают количество перебираемых вариантов. Они заставляют нас насторожиться и задуматься, они ставят задачу по смыслу, без них невозможно познать истину или достичь желаемых результатов.

И.А. Васильев подчеркнул, что, например, игра в шахматы вызывает очень сильные эмоции, которые можно зафиксировать, если измерять у шахматистов кожно-гальваническую реакцию, отслеживать речевые рассуждения и регистрировать движения глаз. Эмоциональный фон повышается тогда, когда игрок близок к решению задачи, хотя еще не осознал этого, но уже предчувствует, что идет по верному пути. ▶



Когда в эксперименте игрокам поставили задачу не волноваться и предупредили, что за выполнением данного условия будет следить специальное устройство, шахматисты не могли играть и объясняли это тем, что «машина» мешает им думать. Интеллектуальные эмоции, которые возникают при игре, при работе на компьютере или иной мыслительной деятельности, играют важную роль, помогая человеку избирательно идти к своей цели и достигать ее. Они, несомненно, связаны с мышлением человека и сигнализируют, насколько он близок к достижению желаемого результата.

О сознании

Разум и эмоции, казалось бы, вещи совсем разные, но, как считает И.А. Васильев, они взаимосвязаны. В целом человеческие эмоции можно рассматривать как некую форму отражения действительности, особую форму психического. С одной стороны они соединяют нас с людьми и миром, в котором мы живем, а с другой — сигнализируют о том, как протекает наша реальная деятельность и как она удовлетворяет или не удовлетворяет наши потребности от самых низких уровней до самых высоких, например, культурно-социальных. Следовательно, эмоциональный настрой тесно связан с внутренней и внешней мотивацией нашей деятельности.

При внешней мотивации наблюдается дефицит чувства самоопределяемости и самоидентификации: человек действует ради получения «наград» или чтобы избежать

неприятностей, «наказания». Внутренняя мотивация характеризуется тем, что человек чувствует себя деятельным, востребованным, компетентным, способным справиться со сложной ситуацией. В общении он предпочитает интересных ему людей, для него характерны социально ориентированные саморегуляция и самоконтроль, которыми определяются интеллектуальные эмоции, рождающиеся в процессе мыслительной деятельности.

Таким образом, любые наши переживания соответствуют не целям или условиям, а мотивам потребностей. Следовательно, начиная с эмоций, любые наши переживания зависят от потребностей, а эмоции говорят о том, насколько мы близки к их удовлетворению или далеки от него.

Согласно единой теории сознания и эмоций Ю.И. Александрова, оба компонента неразрывны и присутствуют в поведении любого организма, но их соотношение меняется как в процессе эволюционного развития живых существ, так и индивидуального развития отдельных особей, в том числе и человека. Если на ранних, более примитивных стадиях жизни ребенка доминируют эмоции, то постепенно их доля в поведении уменьшается, а доля сознания возрастает. Обратный процесс (уменьшение «сознательности» и увеличение эмоциональности) имеет место после приема алкоголя.

О культуре и морали

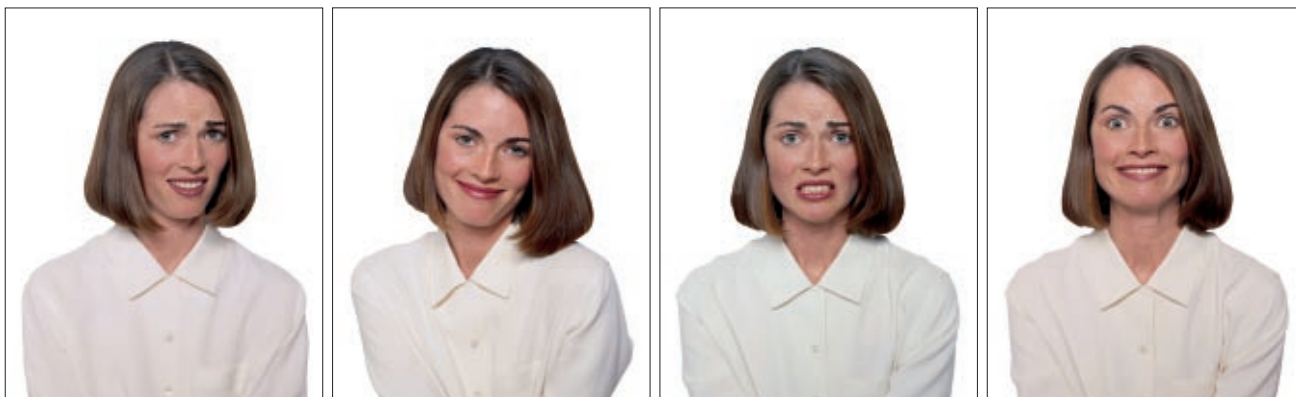
Дискуссия о социально значимых эмоциях плавно перешла к разговору о морали и культуре (об особен-

ностях культур Востока и Запада см.: Мясников В.А. В поисках цивилизации будущего // ВМН № 11, 2004; Степин В.С. Третья цивилизация // № 6, 2005).

В настоящее время в современных и традиционных культурах преобладают или аристотелевская логика, которая предполагает противопоставление пар (небесное — земное, психологическое — нормальное), т.е. контраст между эмоциями и мыслями, чувствами и разумом, на котором строится западная традиция, или логика, предполагающая изменение картины мира. Согласно последней, равно как и в восточной мудрости, мысли, разум и эмоции совершенно не разделимы.

Несомненно, на выражение эмоций в значительной степени влияют традиции, нормы, ценности и мораль, которые в различных культурах могут быть совершенно разными. Однако при решении любых моральных дилемм неизменно возникает мощная активность в определенных областях мозга.

Согласно теории Ю.И. Александрова, соотношение между эмоциями и сознанием человека сходно с соотношением между моралью и законом в обществе. Эмоции и мораль соотносимы с низко дифференцированными, глобальными, древними системами. В первом случае эти системы — элементы субъективного опыта, во втором — элементы системной структуры общественного опыта, культуры. Сознание и закон соотносимы с более дифференцированными, «детальными» системами тех же структур: субъективного



опыта и культуры. «Мораль — это интуитивные невербализованные запреты. Закон — вербализованные запреты». Причем, неизвестно, что более действенно, поскольку мораль живет внутри нас, а закон воспринимается как нечто привнесенное извне, и нередко возникает соблазн его обойти. Таким образом, возможно, как это ни парадоксально, вербализация моральных норм может приводить к уменьшению их воздействия.

Кроме того, мораль может меняться с течением времени или в связи с изменением социокультурных условий, в которых она формируется. Например, как это описывает Геродот, почтение к родителям может выражаться совершенно по-разному. Если в одних обществах умерших родственников нужно с почтением сжечь, то в других социумах это воспринимается как кощунство. В последних почтение выражается в поедании родственников. Есть племя «охотников за головами», которое воспитывает ребенка так, чтобы тот ни при каких обстоятельствах не посмел даже и подумать плохо о соплеменнике, не то что поднять на него руку. Парадоксально, но члены других человеческих сообществ в таком «высокоморальном» коллективе не считаются людьми, а воспринимаются как дикие животные, на которых надлежит охотиться.

С.Н. Ениколопов отмечает существование различных уровней морали. У некоторых людей вырабатывается автономная этика: «Я принимаю решение и отвечаю за это решение, и могу даже противостоять общественной морали». Безусловно, это высшая стадия нравственного развития, хотя большинство людей до нее не доходят.

Специалисты отмечают такой общественно значимый феномен: «Плохое сильнее, чем хорошее». Именно поэтому люди с большим интересом читают трагические новости, смотрят триллеры и пр. Это можно объяснить тем, что «домен плохого» в нашем мозгу более дифференцирован, чем «домен хорошего».



Возникает вопрос, насколько моральные принципы заложены в человеке, и что будет с «Маугли», выращенным в изоляции от людей? В какой-то степени ответ был дан доктором педагогических наук О.И. Кукушкиной из Института коррекционной педагогики, рассказавшей об исследовании коммуникативных смыслов плача грудных детей (см. в следующих номерах нашего журнала).

Об эмоциях у животных

Особый интерес вызвало обсуждение наличия эмоций у животных. В настоящее время эта проблема активно экспериментально исследуется. Примитивные эмоции обнаружены даже у виноградной

улитки. Но настоящим потрясением для собравшихся стало обнаружение результатов экспериментов на крысах, согласно которым эти грызуны способны к эмпатии и соответствующим действиям (см.: Ваал Ф. де. Зверский бизнес и альтруизм // ВМН, № 7, 2005. Этой проблеме будет посвящен один из материалов в следующих номерах журнала). Исследователи также установили, что способность к сопереживанию может приобретаться в результате жизненного опыта, обучения, и что, как правило, доля «альтруистов» составляет 30% и в популяции крыс, и человекообразных обезьян. Такое же соотношение, как утверждают психологи, свойственно и людям. ■

ежемесячный научно-информационный журнал

SCIENTIFIC AMERICAN **В мире науки**

Открыта подписка по специальной цене 450 рублей

В феврале 2006 года вышел в свет сборник материалов журнала «В мире науки», посвященный космосу

www.sciam.ru
Информацию об оформлении подписки можно получить по телефонам:
105-03-72 и 727-35-30

НАРОДНОЕ РАДИО

ЛЮДИ СЛУШАЮТ

в Москве	612кГц
в Самаре	1107кГц
в Мурманске	68,21мГц
в Краснодаре	68,72мГц
в Горно-Алтайске	68,00мГц

www.narodinfo.ru
трансляция online

ежемесячный научно-информационный журнал

SCIENTIFIC
AMERICAN

В мире науки

www.sciam.ru

Подробности по телефонам:
105-03-72 и 727-35-30

В 2006 году выходит в свет сборник лучших материалов журнала «В мире науки», посвященный тайнам сознания человека и процессам, происходящим в мозге



ТЕХНОСФЕРА
рекламно-издательский центр

НОВЫЕ КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА "ТЕХНОСФЕРА"



Н. Канани

Парфянская батарея. Электрический ток 2000 лет назад?

... 14 июня 1936 года близ Багдада при раскопках древней парфянской столицы Ктесифона был найден небольшой керамический сосуд, содержащий медную трубку и железный стержень. Было высказано предположение, что это мог быть древнейший гальванический элемент. Действительно, при наполнении копии сосуда электролитом, например, уксусом, удавалось получить ток! В занимательной, хотя и достаточно строгой форме автор приводит доводы за и против этой гипотезы; сам он считает изобретение парфянами батареек вполне вероятным.



А.Е. Иванов

Задачник по физике (Механика). Поступи в вуз без репетитора!

В учебном пособии собраны задачи разной степени сложности: от простых до весьма нетривиальных, которые предлагаются на приемных экзаменах в самые сильные технические вузы. Сборник создавался автором в течение многих лет работы в приемной комиссии и подготовки абитуриентов. Книга будет полезна будущим абитуриентам и преподавателям физико-математических лицеев, гимназий, факультетов довузовской подготовки.

Принимаются заявки на книги с доставкой по России наложенным платежом или с предоплатой по счету. По почте: 125319 Москва, а/я 594, издательство "Техносфера" По факсу: (495) 9563346 E-mail: knigi@technosphera.ru Полная информация о всех вышедших и готовящихся к печати книгах находится на сайте www.technosphera.ru

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

1. Указать в бланке заказа/подписки те номера журналов, которые Вы хотите получить, а также Ваш полный почтовый адрес.

2. Оплатить заказ/подписку в отделении Сбербанка (для удобства оплаты используйте квитанцию, опубликованную ниже).

Оплату можно произвести также при помощи любой другой платежной системы по указанным в этой квитанции реквизитам.

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

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

■ по электронной почте distr@sciam.ru;

■ по факсу 105-03-72.

Подписку можно оформить со следующего номера.

БЛАНК ЗАКАЗА ПРЕДЫДУЩИХ НОМЕРОВ ЖУРНАЛА

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

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

Ф.И.О. _____

Индекс _____

Область _____

Город _____

Улица _____

Дом _____ Корп. _____ Кв. _____

Телефон _____

E-mail: _____

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

БЛАНК ПОДПИСКИ

■ Я хочу подписаться на 6 номеров журнала «В мире науки» и плачу **540 руб. 00 коп.**

■ Я хочу подписаться на 12 номеров журнала «В мире науки» и плачу **1080 руб. 00 коп.**

Цена за один номер журнала по подписке в 2007 г. **90 руб. 00 коп.**

Ф.И.О. _____

Индекс _____

Область _____

Город _____

Улица _____

Дом _____ Корп. _____ Кв. _____

Телефон _____

Дата рождения _____ / _____ /20 _____

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

Фамилия, И.О., адрес плательщика

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

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

Фамилия, И.О., адрес плательщика

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

ОФОРМИТЬ ПОДПИСКУ МОЖНО:

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

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

■ Все номера журналов можно купить в редакции журнала по адресу: ул. Радио, дом 22, комн. 409, тел./факс (495) 105-03-72

■ В ООО «Редакция УРСС» по адресу: проспект 60-летия Октября, д. 9, оф. 203, тел./факс (495) 135-42-16.

■ В книжных магазинах научного центра «ФИЗМАТКНИГА» (тел. 409-93-28): г. Долгопрудный, новый корпус МФТИ; г. Зеленоград, МИЭТ, 4-й корпус

■ В интернет-магазинах: www.ozon.ru, www.setbook.ru, www.urss.ru.

