

АСТРОФИЗИКА

Гигантские пузыри
Млечного Пути

НЕЙРОНАУКИ

Новая роль
мозговых клеток

АРХЕОЛОГИЯ

Боги из крови
и камня

ежемесячный научно-информационный журнал

SCIENTIFIC
AMERICAN

В мире науки

www.sci-ru.org

№9 2014

12+

Жизнь в едином мире

Как глобальные
сенсорные сети
воздействуют
на нервную
систему человека

СПЕЦРЕПОРТАЖ

COSPAR
В МОСКВЕ





18



66

СОДЕРЖАНИЕ

Сентябрь 2014

Главные темы номера

Астрофизика

ЖИЗНЬ В КОСМИЧЕСКОМ ПОРЯДКЕ

Екатерина Боровикова, Марина Лев, Мария Молина и Алексей Паевский

Более 4 тыс. ученых, занимающихся космическими исследованиями, собрались в Москве на 40-ю научную ассамблею COSPAR, проходившую 2–10 августа

НАЗАД В БУДУЩЕЕ

Президент Российской академии наук **Владимир Фортв** прочел лекцию об экстремальных состояниях вещества в космосе и на Земле

ЖИЗНЬ В КОСМИЧЕСКОМ ПОРЯДКЕ

Ректор МГУ **Виктор Садовничий** напомнил слушателям историю изучения космического пространства в МГУ

ПЛАНЫ НА КОСМОС

Директор Института космических исследований РАН **Лев Зеленый** представил обзор российской космической программы

ДВА ПРЕЗИДЕНТА COSPAR: КАК НАМ ПЕРЕСТРОИТЬ ВСЕЛЕННУЮ

Вместо **Джованни Биньями** Международный комитет по космическим исследованиям возглавит **Леннард Фиск**

КОСМИЧЕСКИЕ РАЗВЕДЧИКИ

Знаменитые аппараты, с помощью которых человечество знакомится с настоящим и будущим Солнечной системы, представляют сами разработчики и ведущие этих проектов

ПРИЦЕЛ НА РЕЛИКТОВЫЙ ФОН

Жан-Лу Пуже, руководитель проекта одного из двух научных инструментов, установленных на телескопе Planck, рассказал о текущих и ожидаемых результатах европейской миссии

СЕТИ ДЛЯ ВНЕЗЕМНОГО РАЗУМА

17

4 О сегодняшнем развитии исследований в направлении поисков инопланетных цивилизаций рассказал ведущий исследователь Европейского объединенного радиointерферометрического института **Леонид Гурвиц**

Информационные технологии

ЧУВСТВА, УСИЛЕННЫЕ ДАТЧИКАМИ

18

6 **Гершон Дублон** и **Джозеф Парадисо** Как под влиянием окружающей среды, наполненной датчиками, изменится жизнь и мышление человека, а также его способность воспринимать аудиовизуальную информацию?

Нанотехнологии

ВСЯ ВСЕЛЕННАЯ В НАНОМАСШТАБЕ

26

10 **Мария Молина, Алексей Паевский и Мария Rogo**ва Прошедшая в июле в Москве XII Международная конференция по наноструктурированным материалам (NANO 2014), впервые проведенная в России, стала самой крупной и лучшей в истории этого научного форума. Читайте краткий обзор десяти самых интересных докладов, а также интервью с председателем оргкомитета конференции проректором МГУ **Алексеем Хохловым** и председателем СО РАН академиком **Александром Асеевым**, выступившим с пленарным докладом



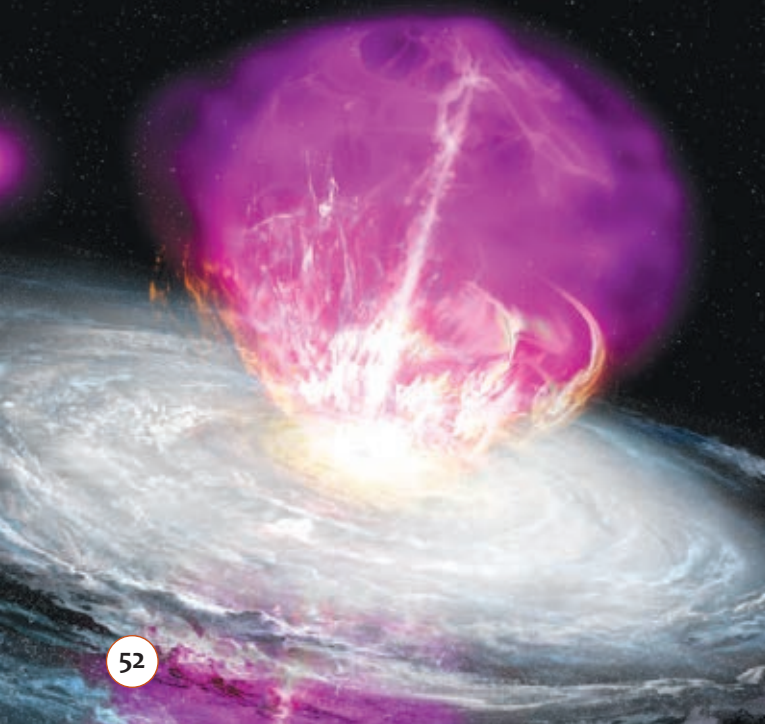
Иммунология

О ЧЕМ ИГРАЕТ ИММУННЫЙ ОРКЕСТР?

34

16 **Владимир Губарев** Директор ГНЦ «Институт иммунологии» ФМБА России, президент Российской ассоциации аллергологов и иммунологов академик **Рахим Хаитов** и профессор **Муса Хаитов** — о вакцинах нового поколения, биобезопасности и продуктивности научных династий





52

Нейронауки

БОЛЬШЕ НЕЙРОНОВ, МЕНЬШЕ ТРЕВОГИ 44

Мазен Хейрбек и Рене Хен

Во взрослом мозге ежедневно возникают новые нейроны, с помощью которых мы отличаем одно воспоминание от другого. Это открытие стало ключом в поисках новых способов лечения тревожных расстройств

Астрофизика

ГИГАНТСКИЕ ПУЗЫРИ МЛЕЧНОГО ПУТИ 52

Дмитрий Малышев, Мэн Су и Дуглас Финкбейнер

На десятки тысяч световых лет протянулись светящиеся лепестки от плоскости диска нашей Галактики. Их обнаружили недавно, и ученым только предстоит разгадать их тайну

Энергетика

ОТ НЕФТЕГАЗА К АТОМУ 58

Евгения Дмитриева

Нефть, газ и атом — конкуренты, побежденные и победитель или партнеры? Рассказывают представители научного блока ГК «Росатом» академик РАН **Валентин Смирнов** и руководитель проекта **Алексей Мустафинов**



Биология

ФАБРИКА ТЕЛА 66

Составитель: Феррис Джабр

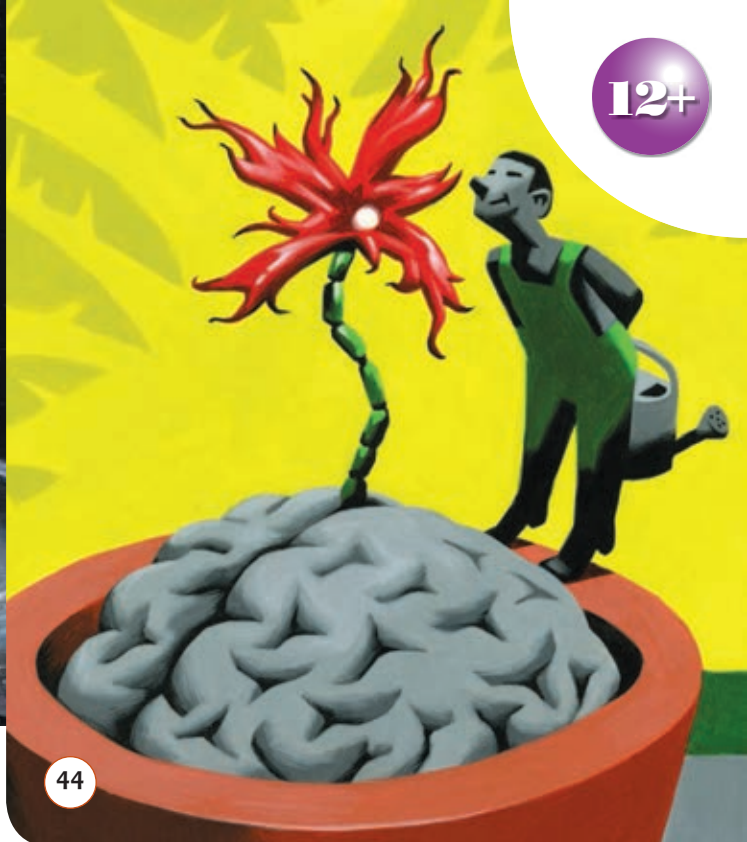
По следам ежегодной встречи нобелевских лауреатов с молодыми учеными в Линдау — подборка фрагментов из ранее опубликованных в журнале статей обладателей этой премии, посвященных функционированию человеческого организма

Археология

БОГИ ИЗ КРОВИ И КАМНЯ 74

Эрик Ванс

Долгое время окутанная тайной, древняя культура Теотиуакана наконец начинает раскрывать свои секреты



44

Эпидемиология

ЛОВЧАЯ СЕТЬ ДЛЯ МИКРОБОВ 84

Дэвид Экер

Биоинженеры близки к завершению работ над компьютеризированными устройствами, которые смогут быстро идентифицировать практически любые бактерии, вирусы или патогенные грибы

Медицина

СЕМЕНА ЖИЗНИ 92

Брендан Боррелл

Потеряв надежду найти новые лекарства от малярии и других болезней, фармакологи обратились к народной медицине и провели клинические испытания, давшие обнадеживающие результаты

Биоинженерия

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЖИВОЙ КЛЕТКИ 100

Маркус Коверт

Создав работающую компьютерную модель одноклеточного микроорганизма, мы получили новый инструмент, позволяющий проникнуть во внутренний мир клетки

Науки о здоровье

КИШЕЧНИК КАК ПОЛЕ БИТВЫ 108

Клаудиа Уоллис

Зная состав кишечной микрофлоры, можно попытаться предсказать, грозит ли вам ожирение

Разделы

От редакции 3

50, 100, 150 лет тому назад 91, 111

ежемесячный научно-информационный журнал

SCIENTIFIC AMERICAN

В мире науки



Основатель и первый главный редактор журнала «В мире науки/Scientific American», профессор СЕРГЕЙ ПЕТРОВИЧ КАПИЦА

НАШИ ПАРТНЕРЫ:



о ч е в и д н о е

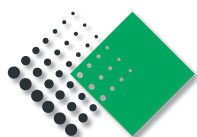


н е в е р о я т н о е



Российская Академия Наук

PETER



SERVICE



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»



РОСАТОМ



Сибирское отделение РАН



Учредитель и издатель:

Некоммерческое партнерство «Международное партнерство распространения научных знаний»

Главный редактор:

В.Е. Фортов

Первый заместитель главного редактора:

А.Л. Асеев

Директор НП «Международное партнерство распространения научных знаний»:

С.В. Попова

Заместитель главного редактора:

А.Ю. Мостинская

Зав. отделом естественных наук:

В.Д. Ардаматская

Зав. отделом российских исследований:

Ю.Г. Юшквичюте

Выпускающий редактор:

М.А. Янушкевич

Обозреватели:

В.С. Губарев, Ф.С. Капица, В.Ю. Чумаков

Администратор редакции:

О.М. Горлова

Научные консультанты:

д.ф.-м.н., ак. РАН Л.М. Зеленый;

д.ф.-м.н., ак. РАН В.А. Садовничий; д.ф.-м.н., ак. РАН

В.П. Смирнов; д.м.н., проф. М.Р. Хайтов; д.м.н., ак. РАН и РАН

Р.М. Хайтов; д.ф.-м.н., ак. РАН А.Р. Хохлов

Над номером работали:

М.С. Багоцкая, Е.Д. Боровикова,

А.Н. Божко, А.П. Кузнецов, М.И. Лев, М.А. Молина,

А.Р. Мустафинов, И.В. Ногаев, А.С. Паевский, А.И. Прокопенко,

М.Е. Роговая, О.С. Сажина, И.Е. Сацевич, Н.Н. Шафрановская

Верстка:

А.Р. Гукасян

Дизайнер:

Я.В. Крутий

Корректурa:

Я.Т. Лебедева

Президент координационного совета

НП «Международное партнерство

распространения научных знаний»:

Ю.С. Осипов

Заместитель директора

НП «Международное партнерство

распространения научных знаний»:

В.К. Рыбникова

Финансовый директор:

Л.И. Гапоненко

Главный бухгалтер:

Е.Р. Мещерякова

Адрес редакции:

Москва, ул. Ленинские горы, 1, к. 46, офис 138;

Тел./факс: (495) 939-42-66; E-mail: info@sciam.ru; www.sciam.ru

Иллюстрации предоставлены *Scientific American, Inc.*

Отпечатано:

В ЗАО «ПК «ЭКСТРА М», 143405, Московская

область, Красногорский р-н, г. Красногорск, автодорога «Балтия»,

23 км, владение 1, д. 1

Заказ №9 14-08-00399

© В МИРЕ НАУКИ. Журнал зарегистрирован в Комитете РФ

по печати. Свидетельство ПИ №ФС77-43636 от 18 января 2011 г.

Тираж: 12 500 экземпляров

Цена договорная.

Авторские права НП «Международное партнерство распространения научных знаний».

© Все права защищены. Некоторые из материалов данного номера были ранее опублико-

ваны Scientific American или его аффилированными лицами и используются по лицензии

Scientific American. 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.

Торговая марка **Scientific American**, ее текст и шрифтовое оформление являются

исключительной собственностью Scientific American, Inc. и использованы здесь

в соответствии с лицензионным договором.

Взаимосвязанный мир

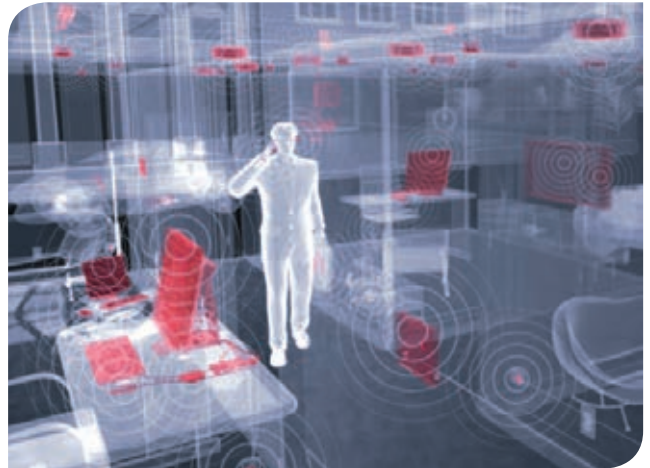
В самом первом номере *Scientific American* от 28 августа 1845 г. редакция восхищалась технологией, которая положила начало телекоммуникациям. Телеграф Сэмюэла Морзе начал передавать сообщения между Балтимором и Вашингтоном. В газетах писали, что он, «вероятно, найдет широкое применение на всем пространстве нашей страны». Они и представить себе не могли, насколько тесно мир окажется связан сетями всего через 170 лет!

Но сейчас-то мы знаем цену сетям связи. И не только между электронными приборами, но и между людьми. Главная тема номера — вездесущие датчики, которые расширяют наше ощущение мира. Сейчас они работают в отдельных, не связанных между собой системах и приложениях. Но если связать их между собой, как изменится наша жизнь? В материале «Чувства, усиленные датчиками» Гершон Дублон и Джозеф Парадисо пытаются ответить на этот вопрос.

Самые сокровенные наши сети — внутренние. Статья «Больше нейронов, меньше тревоги» касается роли новых нейронов в мозгу. Работа Мазена Хейрбека и Рене Хена может дать нам новые подходы к лечению тревожных расстройств. А директор Института иммунологии Рахим Хаитов рассказывает в интервью о том, над чем работают российские иммунологи, как наш организм реагирует на иммуномодуляторы и чего стоит ожидать от отечественных вакцин.

Сети коммуникаций необыкновенно важны для науки. Новые идеи и технологии могут появляться только в атмосфере постоянного взаимодействия между учеными. Нынешнее лето в Москве ознаменовалось сразу двумя значительными международными научными конференциями на площадке Московского государственного университета. Мы погрузились в их атмосферу и подготовили специальный репортаж с места событий.

Этим летом Москва принимала традиционную 40-ю научную ассамблею Международного комитета по космическим исследованиям (*COSPAR*) — впервые в современной России и второй раз с 1970 г. Президент РАН Владимир Фортов рассказал об экстремальных состояниях вещества, ректор МГУ Виктор Садовничий выступил с докладом об истории космических исследований в России, а директор Института космических исследований Лев Зеленый представил российскую космическую программу. И где еще можно было встретиться с такими звездами космических исследований, как руководитель



проекта *Voyager* Эдвард Стоун и Сушил Атрейя, представитель группы, отправившей на Марс ровер *Curiosity*? Венчает наш специальный репортаж беседа с двумя президентами: на этой ассамблее ответственность за мировую политику в науке о космосе перешла от итальянца Джованни Биньями к американцу Леннард Фиску. Как изменилось сотрудничество в космических исследованиях с 1957 г. и что предстоит сделать в ближайшие 50 лет, читайте в этом номере.

Кроме того, в первый раз с 1992 г. *NANO 2014* — крупнейший научный форум по нанотехнологиям — проводился на территории России. Президент СО РАН Александр Асеев вспоминает, какие открытия в этой области сделали честь российским физикам, а проректор МГУ Алексей Хохлов объясняет значение исследований наноматериалов.

К еще одной конференции — нобелевских лауреатов и молодых ученых в немецком Линдау — приурочена четвертая ежегодная подборка выдержек из опубликованных у нас ранее статей лауреатов Нобелевской премии. Напомним, что в нашем журнале публиковались больше 150 нобелевских лауреатов, написавших в общей сложности 245 статей, причем эти статьи часто выходили задолго до получения Нобелевской премии.

Но вернемся от высот фундаментальной науки к реалиям нынешнего времени. Главное, как известно, — доступ к ресурсам. Представители научного блока корпорации «Росатом» рассказали нам, как мирный атом применяется для гидроразрывов нефте- и газоносных пластов, увеличивая выработку ценного сырья на месторождениях. Технология, спасающая жизни: ни много ни мало.

Ждем ваших откликов на наши публикации на сайте www.sciam.ru. ■

Редакция журнала «В мире науки»

A stylized figure with arms raised, composed of a golden-brown textured body and blue, nebula-like limbs. The figure is set against a dark blue cosmic background filled with stars, galaxies, and nebulae. A bright sun or star is visible on the right side.

ЖИЗНЬ
В КОСМИЧЕСКОМ
ПОРЯДКЕ

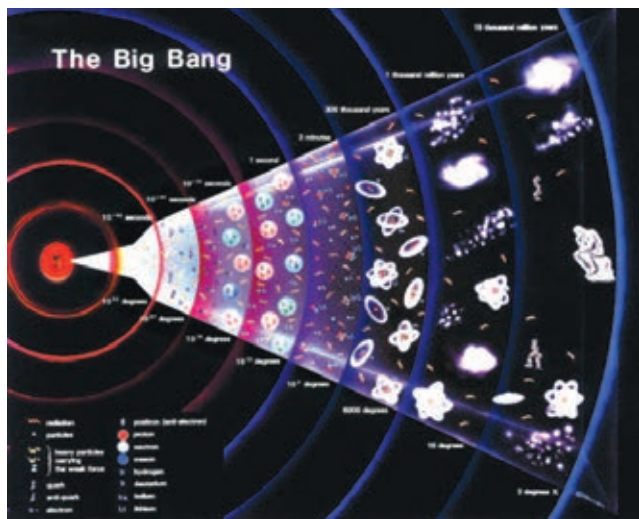
Мы живем посреди огромной Вселенной. Как она устроена, как зародилась в ней жизнь и есть ли в этом бесконечном пространстве кто-то еще, кроме нас? Ответы на эти вопросы ищут астрономы, физики, биологи, специалисты по геологии планет. Более 4 тыс. ученых, занимающихся космическими исследованиями, собрались в Москве на 40-ю научную ассамблею COSPAR, проходившую 2–10 августа



М

еждународный комитет по космическим исследованиям (*Committee on Space Research, COSPAR*) был образован в 1958 г. для помощи ученым разных стран в обмене информацией. На сегодня *COSPAR* — одна из самых авторитетных неправительственных космических организаций.

С 1960 г. его ассамблеи проходят каждые два года в разных странах — участницах космических программ и разработок. Наша страна принимала *COSPAR* до сих пор лишь однажды — в далеком 1970 г., в Ленинграде. И вот Москва стала вторым в России городом, в который съехались астрофизики, специалисты по радиолокации, планетарные геологи, биологи и прочие ученые, имеющие отношение к исследованиям в космосе. 40-я научная ассамблея *COSPAR* прошла на территории Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова при поддержке Администрации Президента РФ, Федерального космического агентства, Министерства образования и науки РФ, Российской академии наук, правительства Москвы. Председателем национального организационного комитета стал заместитель председателя правительства РФ Аркадий Дворкович, а его заместителями — ректор МГУ академик Виктор Садовничий, президент РАН академик Владимир Фортов, глава Федерального космического агентства Олег Остапенко и министр образования и науки РФ Дмитрий Ливанов. Ассамблея *COSPAR* — важнейшее научное событие в области космических исследований. Мы представляем вам специальный репортаж с мероприятий, прошедших в рамках этой недели космоса в Москве.



Назад в будущее

В рамках 40-й научной ассамблеи COSPAR президент Российской академии наук Владимир Евгеньевич Фортвов прочел лекцию об экстремальных состояниях вещества в космосе и на Земле. Рассказ о сложных научных исследованиях он насытил прекрасными аллегориями, красочно иллюстрирующими процесс создания в лабораторных условиях процессов внутри далеких туманностей и планет

Экстремальные состояния вещества — это состояния вещества с предельно высокими температурами и давлениями, следовательно, с необычайно высокими концентрациями энергии.

Такое всегда привлекает исследователей возможностью получения рекордных параметров, перспективами продвижения в новые области фазовой диаграммы и получения в лабораториях условных экзотических состояний, из которых возникла наша Вселенная в результате Большого взрыва. Именно таким образом, с объяснения основных понятий и терминологии, Владимир Евгеньевич Фортвов начал свой междисциплинарный доклад на главном мероприятии года в области астрофизики — ассамблее-биеннале COSPAR.

Для жителей Земли такие состояния — экзотические. Но для Вселенной это абсолютно типичные условия существования вещества. Около 98% всей видимой (барионной) материи находится в сильно сжатом или разогретом состоянии: это плазма обычных и нейтронных звезд, пульсаров, черных дыр и планет-гигантов Солнечной системы, а также открытых недавно сотен экзопланет — планет вне Солнечной системы.

Прежде чем стать звездой или планетой, вещество Вселенной проходит круги разнообразных физических превращений: от кварков и элементарных частиц к сложным молекулам и вновь к атомам и частицам; от релятивистских энергий к абсолютному нулю и вновь к состоянию высокоэнергетической и плотной плазмы; от гигантских плотностей к глубокому вакууму и снова к сверхвысоким плотностям атомного ядра и кваркам. Любая трансформация вещества так или иначе включает в себя стадию сильного сжатия под действием гравитационных сил и следующий за этим сильный разогрев за счет термоядерного энерговыделения. Собственно, эти два механизма — сжатие и разогрев — и определяют все многообразие процессов, которые идут в видимой нами Вселенной.

Владимир Фортвов в своей лекции цитирует слова Стивена Хокинга: «Мы уже знаем те законы, которым подчиняется поведение вещества во всех условиях, кроме

экстремальных», подчеркивая, что изучение вещества при высоких плотностях энергии имеет большое практическое применение в ядерной, термоядерной и импульсной энергетике, электрофизике высоких напряжений и мощностей для синтеза сверхтвердых веществ, для упрочнения и сварки материалов, для противометеоритной защиты космических аппаратов и, конечно, для обороны.

Результатов исследований в области термоядерного синтеза ждут уже не первое десятилетие. В этом году на лазерной установке NIF (*National Ignition Facility*) в США наконец достигнут выдающийся результат, назовем его точкой безубыточности: количество энергии, полученной при термоядерном горении в мишени, превзошло количество энергии, подводимой к ней.

Как получить экстремальные состояния вещества в лабораторных условиях? Для этого существуют два основных подхода: статический (алмазные наковальни для статического сжатия вещества) и динамический («пушки», взрывные генераторы мощных ударных волн, электровзрывные устройства, магнитокумулятивные генераторы, лазеры, сильноточные генераторы мощных импульсов электрического тока, ускорители заряженных частиц и возможные комбинации этих устройств).

В алмазных наковальнях два специальным образом ограненных бриллианта сжимают тонкие (10–100 мкм) плоские слои исследуемого вещества до максимальных давлений мегабарного диапазона, верхний предел

которых определяется максимальной прочностью алмаза, порядка 0,5–1,0 Мбар. С одной стороны, неограниченное время статического сжатия позволяет применять широкий спектр средств диагностики, с другой стороны, возможности этого метода ограничены прочностью алмаза (самого прочного известного материала на Земле) и вряд ли выйдут за мегабарный диапазон давлений.

Дальнейшее продвижение по шкале высоких плотностей энергии связано с переходом к динамическим методам исследований, основанным на импульсной кумуляции энергии в исследуемом веществе при помощи мощных ударных волн либо электромагнитного или корпускулярного излучения различной природы.

При импульсном подводе энергии в веществе неизбежно возникают ударные волны. Они не только сжимают, но и разогревают вещество. По скорости их распространения исследователь может определить параметры вещества за фронтом ударной волны.

Техника мощных ударных волн, возбуждаемых столкновением металлических лайнеров (ударников), разогнанных до скоростей в несколько километров в секунду, с мишенью из исследуемого вещества, сегодня выступает основным источником физической информации о поведении плазмы при давлениях до 10–15 Мбар. В США для этих целей наибольшее распространение получили пороховые и легкогазовые метательные устройства — «пушки», в то время как в СССР и сейчас в России предпочтение отдается взрывным метательным устройствам.

Как увидеть, что происходит внутри? С помощью рентгеновской диагностики, когда с нескольких направлений вещество просвечивается в разные моменты времени.

Другой способ получить большие давления в веществе при условии очень высокой симметрии — использование мягкого рентгеновского излучения. «Для этого применяется установка «Ангара», — объясняет президент РАН. — Запасенная в ней электрическая энергия используется для получения интенсивных вспышек (в миллиарды раз более ярких, чем наше Солнце) мягкого рентгеновского излучения с последующей генерацией этим излучением мощных ударных или радиационных тепловых волн, либо для электродинамической генерации ударных волн, а также для электродинамического разгона металлических лайнеров».

Наконец, самая экзотика. Это эксперименты, проводимые в ближней зоне подземных ядерных взрывов, с получаемыми давлениями в миллиард атмосфер. При этом реализуются состояния вещества настолько высокоэнергетичные и высокотемпературные, что дальнейшее проведение экспериментов (с еще более высокими давлениями) становится бессмысленным, потому что дальше преобладающую роль начинает играть давление излучения, а не свойства вещества.

«Когда Сахаров работал над созданием термоядерного оружия, он говорил, что при очень больших давлениях ситуация упрощается и для теоретика это рай, имея в виду как раз эти эксперименты, — поясняет докладчик. — Мы фактически добиваемся до области, где

излучение играет главную роль. Это очень важно для создания моделей уравнений состояния вещества, особенно в астрофизике. Собственно говоря, последние результаты относятся к давлениям до 50 млн атмосфер, высоким температурам и плотности около 10 г/см³. Это соответствует сжатию вещества в устройствах в 150 раз. В качестве примера можно сказать, что состояние вещества в центре Юпитера такими экспериментами вполне моделируется. Это имеет огромное значение, позволяя строить теоретические модели космических объектов исходя из реальных экспериментальных данных, которые мы получаем здесь, на Земле».

Владимир Фортов также обратился к темам моделирования поведения вещества (плазмы) внутри компактных звездных и межзвездных объектов, взрывов сверхновых, образования межгалактического газа и возникновения тяжелых элементов. Сложность описания этих процессов он компенсировал образами из литературы, обращаясь за примерами к китайскому эпосу. Для описания движения электронов в плазме докладчик воспользовался репродукцией картины Клода Моне «Кувшинки».

Завершила доклад демонстрация трансформации материи с момента Большого взрыва, образовавшего Вселенную, по настоящее время. На слайде, иллюстрировавшем этот процесс, Владимир Фортов отметил местонахождение современного человечества. Поясняя значение этого схематического изображения, докладчик отметил: «Чем большие значения давления и температур мы можем получить в своих наземных экспериментах, тем ближе мы подбираемся к Большому взрыву».

«Существующая сегодня экспериментальная техника позволяет получить состояния вещества, соответствующие состояниям через несколько микросекунд после Большого взрыва. Поэтому, — заключил глава академии наук, — можно сказать, что, занимаясь этой наукой и продвигаясь вперед, мы на самом деле идем назад и молодеем во времени. ■

Подготовила Марина Лев





Слово *κόσμος* означает «нечто упорядоченное в соответствии с правилами». Впервые оно встречается у Гомера. В «Илиаде» сказано, что доспехи воинов сложены «по космосу», т.е. правильно. Называть окружающий мир космосом в привычном для нас понимании начал в своих произведениях Пифагор.

Поучительна история изучения космического пространства с ее триумфальными и трагическими страницами. В поисках истины ученым приходилось порой жертвовать не только своим благосостоянием, но и жизнью. Благодаря их самоотверженности у нас есть возможность знать, что происходит в отдаленных уголках Вселенной.

Место проведения 40-й Научной ассамблеи COSPAR — Московский университет — было выбрано не случайно. Во-первых, потому что великий русский ученый, имя которого носит университет, был основоположником космических исследований в России. Во-вторых, судьба МГУ оказалось тесно переплетена с судьбой отечественной и мировой космонавтики и космических исследований.

Век XX: начало космической эры

В октябре 1957 г. был запущен первый в мире искусственный спутник Земли — советский. На нем еще не было научной аппаратуры. Но уже на втором спутнике ученые МГУ во главе с академиком Сергеем Верновым провели первый космический эксперимент, установив счетчик Гейгера — Мюллера для регистрации космических лучей.

Благодаря этим исследованиям были открыты радиационные пояса. Принципиальную роль в выяснении их природы сыграл эксперимент, проведенный на третьем спутнике. Тогда в состав аппаратуры, разработанной в Институте ядерной физики МГУ (ИЯФ) и Физическом институте академии наук (ФИАН), входил детектор, позволивший установить наличие в околоземном пространстве двух пространственно разделенных областей. Первый — внешний электронный пояс, заполненный электронами с энергией около 100 кэВ и выше. Второй — внутренний, протонный, с гораздо более высокой энергией, около 100 МэВ.

Жизнь В КОСМИЧЕСКОМ порядке

Изучение космоса всегда было приоритетом в развитии науки. С него начинается тяга человека к познанию мира. Глядя в небо, люди осознавали, что жизнь зависит от смены дня и ночи, звезд на небе. Академик Виктор Антонович Садовничий, ректор Московского университета, в ходе ассамблеи COSPAR прочитал лекцию, в которой напомнил историю космических исследований в МГУ

Природа создала рядом с Землей гигантские магнитные ловушки, заполненные заряженными частицами. Их открытие помогло обезопасить жизнь и здоровье первого космонавта планеты — Юрия Гагарина. Радиационные пояса — основной элемент риска в обеспечении безопасности пилотируемых полетов. Гагарин отправился в космос только после серии экспериментов по оценке радиационной опасности на предшественниках корабля «Восток». Всего с 1957 г. ученые МГУ совершили более 450 экспериментов на космических аппаратах. Значительная их часть касалась изучения космической радиации, космических лучей, проводились эксперименты в области рентген- и гамма-астрономии.

Луна и искусственная комета

В 1958 г., когда готовился запуск космического аппарата на Луну, конструктор Сергей Королев обратился к астрономам МГУ с просьбой наблюдать за полетом ракеты на расстоянии около 150 тыс. км от Земли. Подходящих радиосредств тогда не было. Иосиф Шкловский из ГАИШ МГУ предложил использовать метод искусственной кометы.

На борту спутника должно было происходить испарение небольшого количества натрия. Образующееся облако интенсивно рассеивало желтые лучи Солнца (явление резонансной флуоресценции). Это яркое облако отчетливо прослеживалось с Земли.

Ученые МГУ участвовали и в дальнейших исследованиях Луны: под руководством Юрия Липского была разработана техника предварительной обработки и дешифрования первых снимков обратной стороны Луны, построена карта, а в 1960 г. сделан первый глобус. С 1961 г. МГУ участвовал в экспериментах на борту 19 автоматических межпланетных станций серии «Венера» и 11 станций серии «Марс». Тогда были открыты солнечный ветер и связанные с ним динамические процессы, а также отсутствие радиационных полюсов у Венеры и Марса.

Для изучения спутника Марса Фобоса надо было построить модель его поверхности. Такую задачу пытались решить несколько научных учреждений СССР. Инициативная группа ученых из МГУ и ИКИ РАН под руководством Виктора Садовниченко создала модель, которую в дальнейшем использовали для решения навигационных и других задач.

Полет в центрифуге

В конце 1970-х гг. прошлого века возникла задача создать прибор, имитирующий условия невесомости, для подготовки космонавтов. Ясно, что на Земле невозможно реализовать невесомость. Но еще в 1903 г. Константин Циолковский предложил использовать для тренировок перед пилотируемым полетом центрифугу.

В центрифуге с карданным подвесом удалось реализовать реакцию на невесомость двух самых важных групп механорецепторов в организме человека: барорецепторов системы кровообращения и механорецепторов вестибулярного аппарата. А скафандр с постоянным давлением воздуха внутри при изменении давления в кабине обеспечивает эффект, когда кровь приливает к голове, как в невесомости. Так центрифуга позволяет воссоздать нагрузку, при которой возникает вестибулосенсорный конфликт, аналогичный ощущениям на орбите.

В 1988 г. было создано имитационное моделирование всех трех этапов космического полета: перегрузок при подъеме на орбиту, полета в невесомости и управляемого спуска, который происходит в экстремальных условиях визуальной дезориентации после схода с орбиты.

«Татьяна», «Ломоносов» и другие

МГУ был основан по приказу Екатерины II 25 января, в Татьянин день. 225-летний юбилей в 2005 г. МГУ отметил запуском спутника «Татьяна». Так начался новый этап космических исследований в университете. За первой «Татьяной» вскоре последовала и вторая. На борту спутника «Татьяна-2» была установлена аппаратура для исследования околоземного космического пространства, радиации и свечений в верхней атмосфере в УФ-диапазоне. Изучение атмосферных свечений привело к исследованию новых, очень быстрых и весьма энергичных явлений — атмосферных транзиентов.

После этого в МГУ появилась целая серия спутников. Вместе с индийскими коллегами был запущен спутник «Ютсад». 8 июля этого года с космодрома Байконур отправился в космос спутник «РЭЛЕК», аппаратура на борту которого разработана научными сотрудниками МГУ

вместе с коллегами из РАН и ряда зарубежных университетов. Сейчас «РЭЛЕК» исследует радиационную обстановку в окрестностях Земли, в дальнейшем станет изучать воздействие радиации на атмосферу. Осенью ожидается запуск прибора «Нуклон» для изучения космических лучей. А в следующем году с космодрома «Восточный» будет запущен новый спутник МГУ «Ломоносов», фактически представляющий космическую лабораторию для изучения экстремальных явлений в нашей Вселенной. Эксперименты «Ломоносова» позволяют заглянуть в гамма-всплески. Другой эксперимент на борту «Ломоносова» — попытка зарегистрировать космические лучи предельно высоких энергий, самых больших из наблюдаемых до сих пор. Их природа пока не известна.

Мастер считать звезды

У Московского университета есть сеть телескопов-роботов «Мастер» — небольших двойных телескопов с полем зрения 80 квадратных градусов. Они снабжены сверхбыстрыми устройствами наблюдения: телескоп способен за десятки секунд наводиться на любую точку неба по сигналу с космических обсерваторий. Так проводятся наблюдения гамма-всплесков — самых мощных взрывов во Вселенной. Система занимает первое место в мире по количеству самых быстрых наведений на гамма-всплески. Так наблюдали, например, гамма-всплеск 11 января 2012 г. — не что иное, как формирование черной дыры на расстоянии многих миллиардов световых лет от Земли.

Сверхсильная творческая энергия

«Режиссер Микеланджело Антониони спросил Иосифа Шкловского, возможно ли с точки зрения науки, чтобы дети запустили воздушного змея и он улетел в космос. Шкловский ответил отрицательно, — рассказал слушателям Виктор Садовничий. — Но мы часто подходим к Вселенной с земной меркой, а ребенок может дать волю фантазии». В НИИЯФ МГУ есть проект, задача которого — помочь подрастающему поколению определиться с выбором профессии. Возможно, в ком-то из ребят проявятся доброта Циолковского, целеустремленность Королева, самоотверженность Гагарина. И наша земная жизнь потечет «по космосу». ■

Подготовила Марина Лев





В ходе доклада 2 августа на COSPAR Лев Зеленый выделил четыре основных направления исследований: космическая плазма и физика Солнца, развитие астрономических наблюдений из космоса, исследования планет Солнечной системы, а также Луны и других малых тел, проекты по изучению влияния невесомости и других факторов на живые организмы. О последнем направлении на конференции также рассказал Олег Игоревич Орлов, заместитель директора Института медико-биологических проблем РАН.

Солнце

Для исследования физических процессов в магнитосфере Земли, в частности поведения плазмы и механизмов образования полярных сияний, на 2017 г. запланирован российский проект «Резонанс», который предполагает запуск двух пар одинаковых спутников. Для исследований солнечно-земных связей предназначен и проект «Интергелиозонд» — запуск двух аппаратов к Солнцу в 2022 г. Они будут двигаться за счет гравитационных маневров у Венеры и выполнять измерения, которые позволят ученым исследовать атмосферу Солнца с близкого расстояния и получить стереоизображение выбросов солнечного вещества из короны Солнца.

Космические телескопы

Сейчас на орбите Земли работает международный рентгеновский телескоп «Интеграл», запущенный в 2002 г. Три года назад в космос полетел российский космический аппарат «Спектр-Р» («Радиоастрон»). Ключевая научная программа проекта — составление атласа активных ядер галактик, который уже помог астрономам выяснить, что джеты, тонкие пучки плазмы, «выплываемые» сверхмассивными черными дырами в ядрах галактик, намного горячее, чем считалось. С помощью этого телескопа были также обнаружены линзы

Планы на космос

Сейчас в космосе работает не так уж много российских аппаратов, хотя наши ученые участвуют в ряде международных проектов. Но у России большие планы на будущее, в том числе обширная лунная программа, запуск космических обсерваторий и многое другое. Обзор российской космической программы представил на COSPAR директор Института космических исследований РАН Лев Матвеевич Зеленый

в межзвездной среде — турбулентности, которые фокусируют излучение астрономических объектов. В 2017 г. планируется запуск обсерватории «Спектр-РГ», предназначенной для создания полной карты неба в рентгеновском и гамма-диапазонах. Ученые смогут обнаружить с ее помощью до 100 тыс. скоплений галактик, до 3 млн новых ядер активных галактик, в центре которых находятся сверхмассивные черные дыры, и до 500 тыс. звезд в нашей Галактике, активно излучающих в рентгеновском диапазоне.

В 2020 г. в космос должна отправиться российская астрофизическая обсерватория «Спектр-УФ» («Всемирная космическая обсерватория — Ультрафиолет»), предназначенная для наблюдений в недоступном для наземных телескопов участке ультрафиолетового спектра. С ее помощью астрономы планируют изучать физические процессы в ранней Вселенной, образование звезд, эволюцию галактик, процессы падения вещества в черные дыры, атмосферы планет и комет.

Среди других проектов Зеленый отметил рентгеновский «микрофон» для «прослушивания» черных дыр и орбитальную лабораторию *OLVE* для изучения химического состава космических лучей с энергиями до 10^{18} эВ.

Луна

Сейчас Россия участвует в работе американского космического аппарата *Lunar Reconnaissance Orbiter*, запущенного в 2009 г. С его помощью ученые исследуют

состав поверхностного слоя реголита Луны и составляют карту потока нейтронов, идущего от поверхности. Российскими учеными для *LRO* был изготовлен нейтронный телескоп *LEND* (*Lunar Exploration Neutron Detector*), данные которого позволили найти лед лунных полюсов.

Но планы России по освоению Луны обширны. Начало лунной программы планируется на 2017 г. Сначала на Луну отправится зонд «Луна-25», основная цель которого — отработка технологий посадки на спутник. В 2018 г. должен полететь орбитальный зонд «Луна-26», он будет изучать магнитные и гравитационные поля Луны и ее экзосферу в течение двух лет. В 2019 г. стартует «Луна-27» для исследований летучих веществ, содержащихся в лунном грунте. Далее планируется отправка аппарата «Луна-28», который должен будет привезти на Землю образцы лунного грунта, и лунохода «Луна-29».

Марс

Российские специалисты изготавливали приборы для зондов, работающих на орбите Марса, с начала 2000-х гг. Так, американский *Mars Odyssey* оснащен нейтронным детектором *HEND* (*High Energy Neutron Detector*), с помощью которого была впервые составлена карта марсианской вечной мерзлоты. А европейский *Mars Express* оборудован тремя спектрометрами, в изготовлении которых принимали участие российские специалисты. С помощью одного из них в облачном слое Марса было выявлено значительное количество метана, который может иметь и биологическое происхождение.

В 2012 г. на Красную планету совершил посадку марсоход *Curiosity*. Российские ученые разработали для него детектор ДАН (сокращение от «Динамическое альbedo нейтронов»), который определяет содержание водорода вдоль трассы движения марсохода.

В планах России — участие в проекте *ExoMars*. Этот проект предполагает отправку в 2016 г. орбитального зонда для исследования Марса и высадку на его поверхность посадочного модуля, а в 2018 г. — отправку марсохода. На орбитальном зонде на Марс полетит российский прибор *FREND* (*Fine Resolution Neutron Detector*), с помощью которого ученые планируют произвести разведку воды под поверхностью Марса с точностью, в десять раз превышающей возможности нейтронного детектора *HEND*. Для орбитального зонда российская сторона готовит комплекс спектрометров, который позволит получить данные о распределении в атмосфере Марса метана — одного из важнейших газов, обеспечивающих парниковый эффект. А для марсохода российские специалисты разрабатывают посадочную платформу.

В более отдаленных планах российских ученых — еще одна попытка доставки грунта со спутника Марса Фобоса в 2024 г. (новая экспедиция будет исследовать и другой спутник Марса — Деймос).

Юпитер

В российских космических планах также значится подготовка миссии к Юпитеру — проект «Лаплас». Он

предполагает отправку посадочного зонда на спутник Юпитера Ганимед, где под многокилометровым слоем льда может существовать жидкий океан.

Венера

В 2005 г. к Венере был запущен аппарат *Venus Express* с целью провести комплексные исследования атмосферы, плазменной оболочки и поверхности планеты. На его борту установлен спектрометр *SPICAV* (*Spectroscopy for Investigation of Characteristics of the Atmosphere of Venus*) и другие приборы, созданные с участием российских специалистов. Далее Россия планирует проект по исследованию Венеры — «Венера-Д», который предполагает отправку к планете орбитального аппарата, посадочного модуля и малого спутника.

Меркурий

На 2016 г. намечено участие в европейском проекте *VepiColombo*, одна из задач которого — поиск водяного льда на полюсах планеты. Для решения этой задачи в ИКИ РАН разработан прибор МГНС (Меркурианский нейтронный и гамма-спектрометр). Кроме того, приборы для исследования экзосферы Меркурия, также сделанные в ИКИ РАН, будут стоять на обоих (европейском и японском) аппаратах этой миссии.

Эксперименты на МКС

Из экспериментов, проводящихся на МКС, Лев Зеленый в своем докладе упомянул эксперимент «РУСАЛКА» (РУчной Спектральный Анализатор Компонентов Атмосферы), задача которого — анализ распределения парниковых газов в атмосфере, а также эксперимент «БТН-Нейтрон», цель которого — собрать информацию о потоках нейтронов в широком энергетическом диапазоне на околоземной орбите.

Недавно начал работать новый эксперимент, подготовленный в ИКИ, под названием «Обстановка», задача которого — исследование всех электромагнитных излучений, естественных и антропогенных, на Земле и на станции, что важно для понимания как экологической обстановки на станции, так и механизмов генерации электромагнитных волн в ионосфере Земли. Эксперименты на МКС и спутнике «Бион-М1» также позволяют исследовать влияние космической среды на живые организмы.

Защита от астероидов

В 2004 г. сенсацию вызвало открытие астероида Апофис — первоначальные расчеты показывали, что он может столкнуться с Землей в обозримом будущем. Но последние выкладки специалистов NASA «закрыли» сенсацию, поскольку показали, что вероятность столкновения на самом деле очень мала. Тем не менее в российских планах значатся полет к этому астероиду и его исследование. Однако, как пояснил Лев Зеленый, в космической программе этот проект конкурирует с проектом исследования Фобоса, и его судьба пока не определена. ■

Подготовила Екатерина Боровикова



Два президента *COSPAR*: как нам перестроить Вселенную

На прошедшей научной ассамблее стало известно о смене президента COSPAR. Вместо итальянца Джованни Биньями, избранного главой комитета в 2010 г., его теперь возглавит американец Ленард Фиск. Чем различаются их представления о роли комитета и будущем космических исследований, корреспонденты «В мире науки» выяснили в интервью с ними обоими

Джованни Биньями — глава Национального института астрофизики Италии, профессор, член совета Европейского космического агентства (ЕКА), президент Международного комитета по космическим исследованиям с 2010 г. до августа 2014 г.

— COSPAR существует уже 50 лет. Политическая ситуация, в которой он создавался, изменилась. Какие произошли трансформации?

— Да, COSPAR появился в 1958 г., сразу после первого запуска спутника, и, конечно, совсем в другом мире. Он был создан со специальной целью — позволить ученым Запада и Востока свободно общаться, вместе заниматься наукой в космосе. Эта цель осталась неизменной с 1958 г. до сих пор. Политические трения существуют, и космос — сфера, затронутая коммерческими и милитаристскими интересами. А мы в COSPAR остаемся независимыми.

— Давайте поговорим о глобальных вещах. Что изменится в жизни, в космических исследованиях в следующие 50 лет?

— Сложный вопрос. Давайте начнем с 6 августа, когда космический зонд ЕКА *Rosetta* вошел в контакт с кометой. И это имеет огромное значение: впервые мы делаем фотосъемку кометы с расстояния нескольких километров, когда зонд обращается вокруг нее. Это важно, потому что кометы — фундаментальная часть нашей Солнечной системы.

Через некоторое количество лет ЕКА и Федеральное космическое агентство РФ совместно планируют посадку на Марс. И дальше нас ограничивают только небеса — запланировано много миссий, в том числе совместных, американских, китайских, русских, европейских, японских, со всего мира.

— Как вы считаете, должны ли люди сами лететь в космос, а не посылать туда автоматы?

— Я верю, что это нужно делать, потому что верю в потребность людей исследовать космос. Так было на протяжении всей эволюции человеческой расы. *Homo sapiens* завоевал планету, потому что в нем была жажда исследования. Она никуда не делась, и нужно двигаться вонне.

— **Думаете ли вы, что мы должны жить на Марсе, сделать его своим домом?**

— Дом — вряд ли, там не самая приветливая окружающая среда. Хуже, чем зимой в России! Очень холодно, к тому же марсианская зима длится вдвое дольше, чем русская, потому что орбита Марса длиннее орбиты Земли. Тем не менее это крайне важно — исследовать Марс сейчас. Например, чтобы понять, зарождалась ли жизнь на этой планете, как в свое время на Земле.

— **Как вы относитесь к преобразованию почвы Марса с помощью цианобактерий?**

— Легко сказать. Но сделать такое на практике... Я уверен, конечно, что это совершенно реально, но только с одним ограничением: перестраивание всего Марса займет много сотен тысяч или миллионов лет. Например, кислород есть на Земле, мы им дышим, потому что на Земле есть жизнь. Но она зародилась миллиарды лет назад. Очень давно. Кто тогда создал атмосферу?

— **Нужно ли человечеству отправиться за пределы Солнечной системы? Жить на экзопланетах?**

— Да. Но это, повторю, будет большой технологический вызов. Пока у нас нет даже двигателей для таких целей. Есть ракеты, которые могут забросить нас на Луну, можно представить себе аппараты для отправки на Марс или даже для путешествия по Солнечной системе. Ближайшая к нам звезда — *α Centauri* (Альфа Центавра) — находится на расстоянии в миллион раз больше расстояния между Землей и Солнцем. Это долгий путь. Но если не вы, то ваши дети обязательно увидят все это.

Леннард Фиск — профессор Мичиганского университета (США), специалист-теоретик в области физики солнечной атмосферы и гелиосферы. В 1987–1993 гг. он был руководителем подразделения космической науки и приложений NASA. В феврале 2013 г. профессор Фиск назначен национальным представителем США в COSPAR.

— **40-я ассамблея COSPAR в Москве подошла к концу. Оцените, насколько удачной она оказалась.**

— Это была замечательная конференция, одна из лучших ассамблей COSPAR. Она стала символом того, что мы можем сделать, независимо от геополитических факторов, которые помешали некоторым странам участвовать.

— **Какую роль COSPAR играет в международных космических исследованиях?**

— Миссия COSPAR заключается в том, чтобы продвигать международную кооперацию. Мы осуществляем это, оказывая помощь науке. Все участники ассамблеи обмениваются результатами своей работы с коллегами, что позволяет им договариваться о будущем сотрудничестве.

Что касается ведущих космических агентств и программ, то COSPAR отвечает, в частности, за планетарную защиту в соответствии с Договором о принципах деятельности государств по исследованию и использованию космического пространства в рамках программы

ООН. Наконец, один из столпов, на которые опирается программа COSPAR, — поддержка космических агентств и программ в развивающихся странах.

— **Что означает «планетарный карантин»?**

— Точнее сказать — планетарная защита. Когда мы отправляем космический аппарат на другие планеты, мы хотим быть уверены, что не заносим земные формы жизни на эти планеты, не загрязняем их. Существуют протоколы, которые поддерживает COSPAR.

— **Какие проекты и доклады на нынешней ассамблее вы могли бы упомянуть? Что вам запомнилось и показалось важным?**

— Была особенно интересной междисциплинарная лекция по Планку. И, безусловно, кто может забыть выход зонда *Rosetta* на орбиту кометы Чурюмова — Герасименко? Точное совпадение во времени. Не помню, чтобы наши российские организаторы это планировали четыре года назад, начиная подготовку, но очень впечатляющее было зрелище, когда *Rosetta* добралась до кометы.

— **Это ваш первый визит в Россию?**

— Последний раз я здесь был в 1987 г. А первый — во время COSPAR 1970 г. в Ленинграде, мы летели через Москву. Удивительное время. Моя жена путешествовала со мной, она была беременна нашим первенцем. Мы тогда были молоды и поступали безрассудно. Это было время вызовов — разгар холодной войны.

— **Вы не чувствуете сейчас напряженность ситуации?**

— Я не думаю, что наши времена напоминают холодную войну. Одно из базовых отличий: в 1970-е гг. наши ядерные ракеты были направлены друг на друга. Сейчас есть напряженность в экономических отношениях. Это задает совсем другую динамику взаимодействия. Мы тесно связаны и именно поэтому должны находить пути решения проблем. Сегодня все совсем иначе. Не холодные, а прекрасные отношения. *(В оригинале игра слов: not cold — «холодный», but cool — «прохладный; классный, отличный».)* Поверьте, я достаточно стар, чтобы знать, что такое настоящая холодная война.

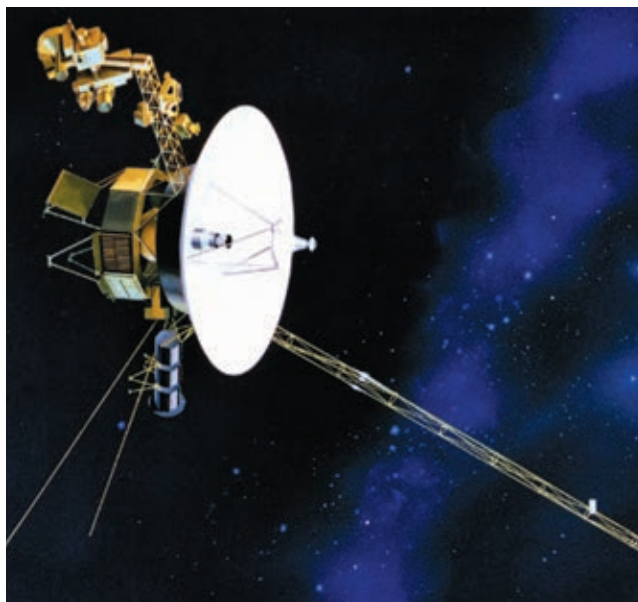
— **Чего нам следует ожидать от космических исследований в ближайшие 50 лет? Какими будут следующие миссии?**

— Ответ здесь очень расплывчат. В гелиофизике — надеюсь, что за 50 лет мы получим возможность абсолютно точно предсказывать влияние Солнца на Землю. В других дисциплинах я очень жду, когда обнаружат формы жизни где-нибудь во Вселенной.

— **Думаете ли вы, что полет человека за пределы Солнечной системы возможен?**

— Для этого нужен серьезный технологический прорыв. Нужно изобрести что-то, чего мы сегодня не знаем. Посмотрите на «Вояджеры»: только сейчас они покидают Солнечную систему, а ведь запущены 35 лет назад. Возможности ракет сейчас очень ограничены. Вероятно, надо придумать космический корабль, в котором люди могут жить, рожать детей, будут сменяться поколения. С нынешними технологиями все это пока невозможно. ■

Беседовали Марина Лев и Мария Молина



Аппараты: Межпланетные зонды «Вояджер-1», «Вояджер-2»

Представитель: Эдвард Стоун, профессор Калифорнийского технологического института (США), бывший директор Лаборатории реактивного движения NASA, научный руководитель проекта «Вояджер».

В 1977 г. для исследования Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна были запущены два космических аппарата, «Вояджер-1» и «Вояджер-2». Они до сих пор путешествуют в космическом пространстве. 25 августа 2012 г. «Вояджер-1» вышел за пределы гелиосферы и начал передавать первые результаты наблюдений межзвездной среды.

— **Господин Стоун, расскажите, как это — всю жизнь вести один проект?**

— Это был подъем эмоций, больше чем расчет, и никто не думал, что проект продлится так долго.

— **Ожидали ли вы увидеть все четыре планеты — Уран, Нептун, Юпитер и Сатурн?**

— Мы надеялись «поймать» все четыре. Отчасти это вопрос удачи, а отчасти — хорошей конструкции: «Вояджер-2» проделал весь 12-летний путь до Нептуна довольно успешно, не говоря о том, что теперь аппараты провели в космосе уже 37 лет.

— **С какими трудностями вы столкнулись при съемке Нептуна?**

— Одна из проблем была в том, что Солнце там такое далекое, что освещенность крайне низка, и аппарат не был приспособлен для съемки в таких условиях. Нам пришлось увеличить продолжительность экспозиции.

Космические разведчики

Знаменитые аппараты, с помощью которых человечество знакомится с настоящим и будущим Солнечной системы, представляют читателям журнала «В мире науки» сами разработчики и ведущие этих проектов

Поэтому мы должны были провести маневрирование аппаратом так, чтобы убраться смазывание, неизбежно возникающее при длительной экспозиции (импульсы двигателей заставляют космический зонд слегка покачиваться). Нам нужно было осуществить массу операций, чтобы отснять Нептун.

— **Как вы и Карл Саган пришли к идее «семейного портрета» (фотографии всех планет Солнечной системы)?**

— Карл Саган придумал знаменитые пластинки для зондов «Пионер-10» и «Пионер-11», тех самых, что стали первыми космическими аппаратами, отправившимися к Юпитеру (алюминиевые пластинки, на которые нанесена символическая информация о человеке и Земле, отправившись в космос на борту «Пионеров»). Он очень интересовался идеей «Великого путешествия» (*Great Tour*, официальное название посещения всех четырех планет-гигантов одним аппаратом — «Вояджером-2»). Я думаю, здесь и появилась эта идея: когда мы окажемся за всеми планетами, мы сможем посмотреть назад, впервые — и при этом имея камеру. Это и сделали «Вояджеры».

— **Что вы считаете границами Солнечной системы и гелиосферы? Вышли ли «Вояджеры» сейчас из них?**

— Солнечная система значительно больше, чем гелиосфера сама по себе. Гелиосфера — пузырь, заполненный атмосферой Солнца. За ее пределами находится материя, поступающая из внешних источников, но еще есть огромное облако, которое называют облаком Оорта, и потребуется 3 тыс. лет, прежде чем «Вояджеры» доберутся до внутреннего края облака Оорта, которое тоже — часть Солнечной системы, и 30 тыс. лет, прежде чем они окажутся снаружи того, что на деле есть Солнечная система.

— **Как долго мы еще будем получать сигналы от «Вояджеров»?**

— У нас достаточно мощности, так что ничто не прерывается. Мы должны иметь возможность получать их сигналы как минимум до 2025 г.

— **Какая будет следующая миссия? Нужно ли отправить более технологичный зонд с теми же задачами?**

— Стоит надеяться, что придет день, когда мы сможем найти способ сделать аппараты значительно более быстрыми и внедрить куда более современные алгоритмы, чем алгоритмы 40-летней давности, которые, как и прежде, работают на «Вояджерах». Это вопрос мощности компьютера: например, в вашем смартфоне в 30–40 раз больше памяти, чем в «Вояджере».

Аппарат: Марсианская научная лаборатория Curiosity

Представитель: Сушил Атрейя, профессор Мичиганского университета (США), соруководитель группы прибора SAM (*Sample Analysis at Mars*, «анализ образцов на Марсе») марсианской научной лаборатории *Curiosity*.

Марсианская научная лаборатория (*Mars Science Laboratory, MSL*) — миссия NASA, в ходе выполнения которой на Марс был успешно доставлен и эксплуатируется марсоход третьего поколения *Curiosity*. Запуск состоялся 26 ноября 2011 г., посадка на планету — 6 августа 2012 г. Предполагаемое время работы по программе составило 686 земных дней, реальное время нахождения на орбите — 739 дней.

— **Господин Атрейя, расскажите, как много времени потребовалось, чтобы подготовить *Curiosity* к запуску на Марс?**

— С момента, когда проект марсохода был официально одобрен NASA, прошло десять лет, за которые он был построен. Но это только время, понадобившееся после официального разрешения, чтобы собрать сам марсоход. До этого мы занимались подготовкой компонентов марсохода. Это тянулось около 20 лет.

— **Какова цель его работы на Марсе?**

— Миссия *Curiosity* — выяснить, есть ли на Марсе место, подходящее на роль потенциального обиталища микроорганизмов в прошлом или сейчас. И это его основная цель, концепция проекта.

— **Как была выбрана площадка для приземления *Curiosity*, почему именно рядом с вулканом Гейла? Почему не другой вулкан, например Олимп, чье извержение могло когда-то погубить Марс?**

— Мы выбрали кратер Гейла из большого списка из 65 мест, куда можно было приземлиться. Проектно-технической группе годились все 65 позиций. У нас были некоторые ограничения, например по широте — 60° к северу, 60° к югу, по долготе точки приземления.

Мы выбрали кратер Гейла, потому что наблюдали это место из космоса предварительно. Наблюдения показали, что в этом районе есть глинистые почвы. На Земле

такие почвы позволяют предполагать, что на этом месте смесь земли, песка и биогенных веществ попала в воду, а потом, в свою очередь, осела и сформировала глины. И поэтому, увидев глинистые почвы, мы сказали: «Отличное место для посадки!» Но глина была и в других местах, так что это был не единственный критерий. Мы также отметили эту гору в центре кратера. У подножия горы обнажены осадочные слои, и если вы посмотрите на них, то получите представление о геологической истории места. Это была очень привлекательная точка: не очень далеко есть гора, к которой можно подойти, роверу не нужно передвигаться на тысячу километров, всего только около десяти. Сам по себе район тоже интересен — с точки зрения глины, которая может указывать на воду. Здесь могут быть биогенные вещества, поэтому есть вероятность найти следы существования жизни в прошлом.

Я хотел бы еще раз сделать акцент: миссия марсохода была именно в том, чтобы выяснить, есть ли вероятность существования жизни, а не найти ее. Если вы собираетесь искать собственно формы жизни, нужно искать органические остатки. Мы можем заняться этим позже, но для начала мы должны выяснить, возможно ли в принципе существование здесь жизни.

— **Можете ли вы подробнее рассказать, что марсоход способен делать?**

— *Curiosity* ищет разные вещи. Мы анализируем всю информацию, поступающую от него, чтобы понять, могли ли в этом районе появиться жизнь и микроорганизмы. Инструменты ровера делают замеры, способные дать нам представление об этом. Сейчас он движется туда, где высока вероятность обнаружения органики. Она будет там, где может быть тающий лед. Однако на поверхности вы ее не найдете, потому что все, что на ней, облучается космической радиацией, а вулканические почвы окисляются на поверхности, так что там органику не найти. И тогда возникает желание пробурить лед.

Здесь мы снова возвращаемся к геологии этих горных пород — как долго они были подвержены радиации? Посмотрите на обнаженные слои, находящиеся на нижних склонах горы Эолиды (горы Шарпа), куда мы направляемся. Там значительно больше возможность обнаружить органику, мы на это очень надеемся.

— **Как долго *Curiosity* будет работать на Марсе?**

— В целом он закончил свою первоначальную миссию. Она была рассчитана, как мы предполагали, на два года, которые истекли совсем недавно. Но все работает отлично.

Есть определенные ограничения на дальнейшую работу ровера, и мы не можем пользоваться всеми его инструментами, однако некоторые из них будут использоваться, так что надеемся, что марсоход еще поработает как минимум пять-десять лет. Даже если часть техники сломается, мы сможем работать с другой. ■

Беседовали Марина Лев и Мария Молина



Телескоп *Planck* запущен в точку Лагранжа 14 мая 2009 г. с космодрома Куру. Основная его цель — построить новую карту реликтового микроволнового излучения (СМВ, *cosmic microwave background*), другими словами, строить карту остатков Большого взрыва.

Реликтовое излучение — то самое, которое возникло в начале существования Вселенной, когда образовывались первые атомы. Оно было испущено через 380 тыс. лет после Большого взрыва, предсказано Георгием Гамовым, за его открытие в 1965 г. Арно Пензиас и Роберт Вильсон получили Нобелевскую премию 1978 г. по физике.

На борту аппарата стоял телескоп с зеркалом 1,9 x 1,5 м, который направлял микроволновое излучение в два приемника. Один — низкочастотный, или *LFI*, — работал с длинами волн от 4 до 10 мм, другой — высокочастотный, или *HFI*, — с длинами волн от 0,35 до 1 мм. Работой *HFI* как раз и руководил Жан-Лу Пуже, представивший результаты на лекции в ходе ассамблеи *COSPAR*. Основная часть миссии была завершена в ноябре 2010 г., расширенная — в январе 2012 г. 23 октября 2013 г. аппарат был выключен и навсегда остался в системе «Земля — Солнце». Первый итоговый массив результатов появился в марте 2013 г. — 30 больших научных статей, в основном в журнале *Astronomy & Astrophysics*.

Какие основные результаты «первой волны»? В нашей Вселенной оказалось чуть больше простого вещества, чем считалось: 4,9%. Остальная масса — это темная материя и темная энергия. По данным *Planck*, темной материи во Вселенной 26,8% (против 22,7% по данным *WMAP*) и 68,3% — темной энергии (против 72,8% по *WMAP*).

Удалось уточнить постоянную Хаббла, которая говорит об интенсивности расширения Вселенной. Раньше считалось, что она равна 70 км/с/Мпк (т.е. галактики на расстоянии в 1 Мпк разбегаются со скоростью в 70 км/с). По новым данным, постоянная Хаббла равна 67,3 км/с/Мпк. Из этой постоянной можно уточнить и возраст нашей Вселенной — он оказался равным 13,8 млрд лет (предыдущая оценка — 13,75). Кроме этого, *Planck* подтвердил, что геометрия нашего пространства удивительно плоская.

Прицел на реликтовый фон

С лекцией о результатах европейского телескопа Planck выступил Жан-Лу Пуже, руководитель проекта одного из инструментов, установленных на телескопе. В следующем году исполнится ровно 20 лет работы Пуже в этой должности

Однако на этих фундаментальных выводах работа с полученным массивом данных не заканчивается. Главная цель «второй волны» обработки данных *Planck* — изучение поляризации реликтового излучения и достоверное открытие так называемой *B*-моды поляризации микроволнового реликтового фона.

Картина поляризации реликтового излучения на небе может быть представлена в виде поля векторов. Такое поле бывает двух типов, они называются *E*-модой и *B*-модой. Если будет обнаружена *B*-мода поляризации реликтового излучения, это будет означать существование реликтовых гравитационных волн и прямое подтверждение теории инфляции.

Инфляция — самое первое время до Большого взрыва, когда сингулярность (микроскопический зародыш Вселенной за мгновения до Большого взрыва) внезапно расширилась на десятки порядков. Это происходит за 10–35 с. После этого поле «выгорает», превращаясь в частицы; мы называем это Большим взрывом.

Одно из следствий теории инфляции — гравитационные волны, возникшие во время такого расширения. *B*-моду поляризации могут дать только гравитационные волны — и только реликты инфляции.

В марте 2014 г., казалось, грянула сенсация: научная группа, работавшая с маленьким микроволновым телескопом *BICEP2*, расположенным на Южном полюсе, заявила об открытии *B*-моды в наблюдениях 2010–2012 гг.

Однако специалисты до сих пор сомневаются в том, что все искажения были учтены. Только *Planck* мог их учесть. Если в самом ближайшем будущем его данные подтвердят существование *B*-моды, это будет означать одну или две Нобелевские премии по физике. ■

Подготовил Алексей Паевский



Сети для внеземного разума

Одинок ли мы во Вселенной? Исследования в этом направлении объединяются под общим названием SETI (Search for ExtraTerrestrial Intelligence). Вероятно, жизнь на других планетах может не только существовать, но и обладать развитой цивилизацией. Носители внеземного разума могут использовать технические устройства связи, и сигналы этих устройств могут быть нами приняты или «подслушаны»

О том, как развиваются исследования в этом направлении сегодня, рассказывает Леонид Гурвиц, ведущий исследователь Европейского объединенного радиоинтерферометрического института (Нидерланды).

— Современные технические средства, которые могут быть задействованы для поисков внеземного разума, несравнимо мощнее тех, которыми располагали исследователи 50 лет назад. Появились телескопы, которые по своей чувствительности на порядки превосходят то, что было доступно всего лишь 10–20 лет назад. Например, современные радиотелескопы могут зарегистрировать сигнал, по мощности сопоставимый с сигналом обычного мобильного телефона, находящегося на расстоянии, многократно превышающем размеры Солнечной системы.

Один из радиотелескопов последнего поколения — LOFAR (LOW Frequency ARray). Эта удивительная машина при поверхностном взгляде не впечатляет: простейшие антенны, проволочки, которые может спаять школьник, незатейливый усилитель, но фантастически совершенная цифровая электроника. Этот телескоп, состоящий из примерно 40 «станций», разбросанных по территории Европы, позволяет работать в диапазонах длин волн, до сих пор подробно не освоенных. Этот телескоп уже действует, но он — не последнее слово радиоастрономической техники. Следующий шаг — радиотелескоп SKA (Square Kilometre Array). Это международный научный проект, цель которого — создание радиотелескопа с эффективной площадью в квадратный километр.

Уместно упомянуть, что предварительные исследования по созданию такого телескопа велись в Советском Союзе Советом по радиоастрономии Академии наук СССР в первой половине 1980-х гг. Я хорошо помню эти работы. К сожалению, они остановились более 25 лет назад, тем не менее сама идея выжила и теперь будет реализована. SKA — если вновь вернуться к мобильным телефонам — сможет регистрировать такую игрушку не только в Солнечной системе, но и в ее окрестностях, включая соседние звезды.

Но как сформулировать критерии, которые позволят выявить в космосе то, что нас интересует? Это требует нового взгляда на проблему: нужны математики, лингвисты, специалисты по распознаванию образов. В этом направлении сейчас тоже происходит много интересного. Может быть, сочетание новых технических возможностей и нового взгляда на алгоритмы поиска сигнала позволит действительно продвинуться в поиске внеземного разума. На научной сессии конференции COSPAR многие сравнивали этот процесс с поиском иголки в стоге сена. Но применительно к проблеме SETI высота стога сена, в котором мы ищем иголку, — от Земли до Луны. Это задача невероятной сложности, но она решаема.

Не исключено, что цивилизации, нам неведомые, предпочитают использовать для связи другой диапазон длин электромагнитных волн: оптика, ультрафиолет, рентген и более высокие энергии. Поиск разумных сигналов в этих диапазонах практически не начинался. Наконец, есть другие типы излучения, прежде всего гравитационные волны. Однако прежде чем говорить об их применении для поиска цивилизаций, надо научиться уверенно их детектировать. ■

Подготовила Екатерина Боровикова





ЧУВСТВА, УСИЛЕННЫЕ ДАТЧИКАМИ

Как под влиянием окружающей среды, наполненной датчиками, изменятся жизнь и мышление человека, а также его способность воспринимать аудиовизуальную информацию?

Гершон Дублон
и Джозеф Парадисо

Illustration by Mifko LLC

ОБ АВТОРАХ

Гершон Дублон (Gershon Dublon) — аспирант медиалаборатории Массачусетского технологического института; занимается разработкой устройств анализа и обработки информации, передаваемой электронными датчиками.

Джозеф Парадисо (Joseph A. Paradiso) — адъюнкт-профессор медиаискусств и наук той же лаборатории; возглавляет *Responsive Environments Group* при медиалаборатории; занимается исследованием воздействия сетей датчиков на человеческий опыт, обмен информацией и восприятие действительности.



Р

ади интереса попробуйте подсчитать, сколько в настоящий момент вас окружает датчиков, которые собирают информацию. Итак, считаем: в компьютере установлены микрофоны, фото- или кинокамеры. Смартфоны оснащены устройствами *GPS* и гироскопами. Различные устройства, измеряющие физическую активность человека (фитнес-трекеры), снабжены акселерометрами. В современных офисах и квартирах мы постоянно находимся под прицелом устройств, регистрирующих движение, температуру, влажность и т.д.

Увеличение числа датчиков в основном согласуется с законом Мура — они уменьшились в размерах, стали дешевле и мощнее. Еще несколько десятилетий назад гироскопы и акселерометры были громоздкими и дорогими, а их использование ограничивалось применением в космических аппаратах и при наведении ракет. Но в последнее время количество подключений к сети резко возросло. Благодаря прогрессу в микроэлектронике, снижению энергоемкости и расширению использования электромагнитных волн цена микрочипа упала ниже одного доллара и появилась возможность объединить различные датчики и сенсоры в беспроводные сети, характеризующиеся малым энергопотреблением.

Объем информации, генерируемый столь обширной сетью электронных датчиков, невообразимо огромен, его сложно осознать. Однако по большому счету мы с этими

данными не соприкасаемся; они, как правило, обособлены и доступны лишь для отдельно взятого приложения, скажем, осуществляющего управление термостатом или шагомером.

Стоит только устранить эту обособленность — и компьютерные технологии вместе с системой передачи информации радикально изменятся. Как только появятся протоколы обмена данными между устройствами и приложениями (а такие разработки уже существуют), можно будет через приложения получать доступ к любому из датчиков, установленных в «умной среде», — будь то «умный дом» или «умный автомобиль». Как только это произойдет, человечество вступит в эру глобальной компьютеризации, наступление которой предсказывал Марк Вайзер (Mark Weiser) в журнале *Scientific American* еще четверть века назад.

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- В современном мире человек живет среди множества электронных датчиков, соединенных в сети, но о большей части генерируемых ими данных он и понятия не имеет; эти данные обособлены и доступны лишь для использования отдельным взятым приложением. Стоит только устранить эту обособленность, и тогда компьютерные технологии вместе с системой передачи информации радикально изменятся.
- Сложно прогнозировать, как эпоха повсеместных вычислений изменит жизнь людей. Вполне вероятно, что электронные датчики, окружающие нас повсюду, станут своеобразным продолжением нервной системы человека. Портативные вычислительные устройства могут стать, по сути, сенсорными протезами.
- Сенсоры и компьютеры позволят человеку виртуально перемещаться на большие расстояния и интерактивно «присутствовать» в отдаленных точках мира, что приведет к серьезному изменению наших представлений о том, что такое «частная жизнь» и «присутствие».

Как это работает

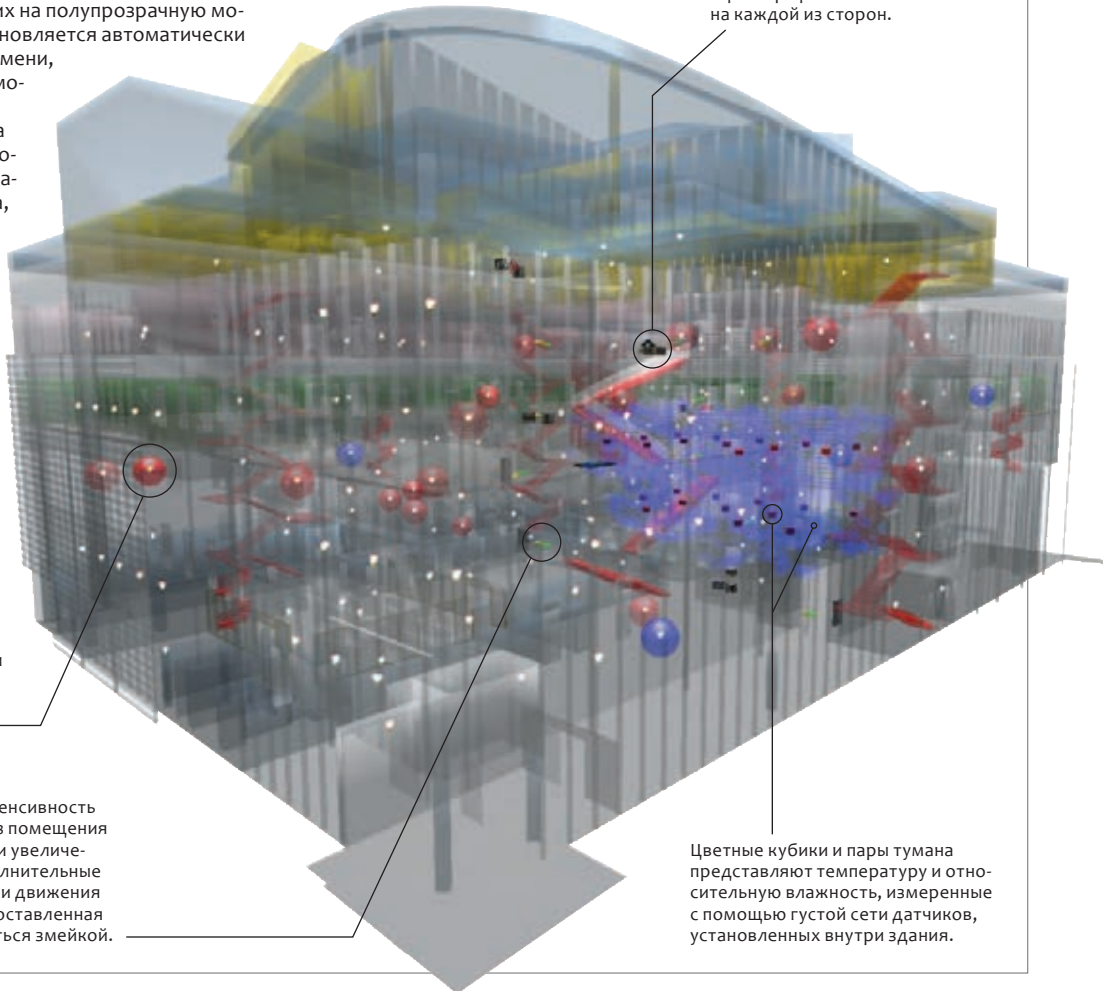
БРАУЗЕР ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Разработанное авторами статьи приложение *DoppelLab* считывает информацию с датчиков, установленных в медиалаборатории Массачусетского технологического института, и накладывает их на полупрозрачную модель здания. Браузер обновляется автоматически в режиме реального времени, при этом пользователи могут в любой момент времени войти в сеть откуда угодно и увидеть, что происходит в помещениях лаборатории. Температура, движение, звук и другие свойства изображаются с помощью иконок.

Значок «пламя», показанный в каждом из офисов, сообщает информацию о температуре в помещении: красный цвет — «тепло», голубой цвет — «прохладно». Если температура в офисе существенно отличается от установок термостата, то вокруг знака пламени соответствующего цвета появляется пульсирующая сфера, причем скорость пульсации характеризует отклонение температуры от заданного значения.

Знак «шар» обозначает интенсивность передвижения людей через помещения здания и уровень шума. При увеличении шума появляются дополнительные цветные шары. Если датчики движения среагировали, то строка, составленная из шаров, начинает извиваться змейкой.

Если человек, у которого установлены метки радиочастотной идентификации, приближается к кластеру датчиков в публичном пространстве, то появляется куб с фотографией этого человека на каждой из сторон.



Цветные кубики и пары тумана представляют температуру и относительную влажность, измеренные с помощью густой сети датчиков, установленных внутри здания.

Переход к глобальной компьютеризации вряд ли будет иметь поэтапный характер. Наоборот, по всей видимости, произойдет революционный сдвиг, сравнимый разве что с появлением Всемирной паутины. Первые признаки грядущих изменений можно наблюдать на примере таких приложений для смартфонов, как *Google Maps*, *Twitter* и прочих проектов, возникших на их основе. Как только информация, генерируемая датчиками, станет доступной для разного рода устройств, произойдет инновационный взрыв. Появятся новые высокотехнологичные компании-миллиардеры, специализирующиеся на сборе информации с датчиков, окружающих человека в «умной среде», и создании на ее основе новых поколений приложений.

Предсказывать, как повлияют глобальная компьютеризация и данные, поступающие от всяких «умных» гаджетов (различных портативных мобильных электронных устройств), на повседневную жизнь человека, так же трудно, как было сложно еще лет 30 назад предвидеть, насколько сильно Интернет изменит наш мир.

Вспомним, как в свое время преобразили нашу жизнь электронные средства коммуникации: еще в 1960-х гг. Маршалл Маклюэн (Marshall McLuhan) уверял, что они, особенно телевидение, все больше и больше становятся как бы продолжением нервной системы человека. Да уж, если бы только Маклюэн дожил до нынешнего дня! В наше время разнообразные датчики окружают нас практически всюду, а при помощи собираемой ими информации можно даже влиять на восприятие человеком окружающего мира. Как же теперь следует понимать выражение «человеческое восприятие»? Глагол «присутствовать» уже поменял свое значение: что же будет подразумеваться под словом «присутствие», когда способность человека к восприятию реальности расширится во времени и пространстве?

Визуализация сенсорных данных

Человек воспринимает мир с помощью всех своих органов чувств. Однако если говорить о цифровой информации, то большую ее часть он получает через маленький

плоский экран мобильного устройства. Неудивительно, что это информационное окошко представляет собой критический участок. Итак, появляются большие объемы информации, но и они нам могут пригодиться, если правильно их использовать. Именно поэтому наша исследовательская группа из медиалаборатории Массачусетского технологического института (МТИ) на протяжении многих лет работает над решением следующей задачи: как перевести информацию, собранную множеством разнообразных датчиков, на язык человеческого восприятия.

В свое время браузеры типа *Netscape* открыли нам доступ к большим объемам информации, содержащейся в Интернете, вскоре они также позволят нам переваривать потоки информации, поступающей от датчиков. К настоящему моменту лучший из инструментов для разработки такого браузера — игровой движок, позволяющий миллионам игроков непрерывно взаимодействовать друг с другом в постоянно меняющейся трехмерной среде. На основе движка *Unity 3D* мы разработали приложение под названием *DoppelLab*, которое поглощает потоки данных, собранных разными «умными» датчиками, а затем представляет информацию в графическом виде, накладывая ее на архитектурную модель здания, визуализированную в системе автоматизированного проектирования в области архитектуры и строительства. В нашей лаборатории приложение *DoppelLab* собирает информацию от устройств, установленных по всему зданию, и в режиме реального времени выводит результаты на экран компьютера. Пользователь может спокойно отслеживать, например, значение температуры в любой из комнат, перемещение людей в любой части здания и даже наблюдать за перемещением мяча на роботизированном, или «умном», столе для настольного тенниса.

DoppelLab способно не только визуализировать данные, но и собирать информацию о звуках, которые были записаны с помощью микрофонов, установленных в здании, а затем моделировать виртуальную звуковую среду. Для обеспечения конфиденциальности вся полученная аудиоинформация специальным образом защищается при передаче. В результате речь превращается в бессмысленный набор звуков, но по ней можно определить, в какой части дома происходит разговор и кто именно говорит. *DoppelLab* может быстро предоставить звуковую картинку любого временного промежутка в необходимом виде, помогая выявлять скрытые закономерности в жизни микросоциума.

На основе браузеров типа *DoppelLab* можно создавать коммерческие приложения, например использовать их в качестве виртуальных панелей управления, отслеживающих ситуацию в крупных зданиях, оборудованных датчиками. Раньше коменданту здания, чтобы обнаружить проблемы, скажем, в системе отопления, приходилось просматривать множество таблиц и графиков, вдумчиво изучать разные схемы, чтобы выявить anomальное изменение температуры. Но благодаря *DoppelLab* можно регулировать температуру и оперативно выявлять сбои в работе отопительной системы в любом помещении и на любом этаже. Более того, теперь с эксплуатацией инфраструктуры помимо коменданта здания могут ознакомиться проектировщики, конструкторы и жильцы. В какой части здания и в какое время обычно собираются жильцы? Каким образом архитектурные особенности здания влияют на способы взаимодействия между его жителями или работниками офиса?

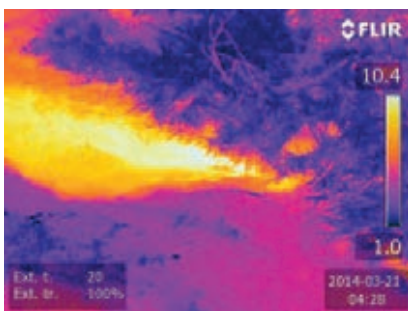
Наша группа создавала *DoppelLab* не с коммерческой целью, а для того, чтобы исследовать очень важный и интересный на наш взгляд вопрос: каким образом из-за глобальной компьютеризации изменилось понятие «присутствие».

Наша группа создавала *DoppelLab* не с коммерческой целью, а для того, чтобы исследовать очень важный и интересный на наш взгляд вопрос: каким образом из-за глобальной компьютеризации изменилось понятие «присутствие».

Переосмысление понятий

Датчики и компьютеры позволяют человеку виртуально перемещаться на большие расстояния и интерактивно «присутствовать» в отдаленных точках. Вот почему понятия «здесь» и «сейчас» в наше время начинают наполняться новым смыслом. Как изменился смысл понятия «присутствие»? Именно в этом мы и хотим разобраться с помощью *DoppelLab* в рамках проекта под названием *Living Observatory*, осуществляемого на опытном участке земли в местности Тидмарш-фармз. Проект призван обеспечить «реальное присутствие» для виртуальных посетителей, желающих побыть на лоне природы.

С 2010 г. с помощью государственных и частных экологических организаций 1 кв. км клюквенных болот на юге штата Массачусетс был преобразован в охраняемые прибрежные водно-болотные угодья. Один из со-владельцев болот, именуемых Тидмарш-фармз, — наша коллега Глорианна Дэвенпорт (Glorianna Davenport). Она работает в медиалаборатории МТИ и занимается темой «Кинодокументалистика будущего». Она увлеклась исследованием «умной среды», наполненной различными датчиками; теперь получается, что «авторами» фильма выступают уже сами эти устройства. Глорианна



С помощью тепловизоров, установленных в болотной воде, можно определить, где грунтовые воды (желтый) поступают в более холодные поверхностные воды. Температура поверхности воды почти равна температуре воздуха, однако грунтовые воды круглогодично сохраняют устойчивую температуру.

помогает нам разрабатывать сети датчиков, которые фиксируют экологическую ситуацию и дают возможность человеку прочувствовать на себе собранную ими информацию. Мы установили в Тидмарше сотни беспроводных устройств, измеряющих температуру, влажность воздуха, влагоемкость почвы, реагирующих на свет, движение, звук, регистрирующих сокодвижение в деревьях, а в некоторых случаях — уровень содержания различных химических веществ.

Благодаря низкому энергопотреблению датчики способны работать на батарейках в течение многих лет. Некоторые из них оснащены солнечными батареями, благодаря чему способны в автономном режиме фиксировать шум ветра, пение птицы, звуки падающих капель и шелест листьев. Наши коллеги из Массачусетского университета в Амхерсте, занимающиеся науками о Земле, установили в Тидмарше системы мониторинга окружающей среды, в том числе подводные волоконно-оптические датчики температуры, а также приборы для измерения содержания растворенного в воде кислорода. Затем вся информация будет поступать на наши серверы и заноситься в базу данных, доступ к которой будет открыт пользователям. Они смогут делать запросы и проводить обработку при помощи различных приложений.

Некоторые из этих приложений помогут экологам получить данные об экологической обстановке на болоте, другие будут предназначены для широких кругов пользователей. Наша группа разрабатывает браузер на базе *DoppelLab*, с помощью которого можно виртуально посещать Тидмарш с любого компьютера, подключенного к Интернету. Фоном будет цифровая визуализация болотистой местности, заполненная виртуальными деревьями и растительностью. С помощью игрового движка моделируются звуки и прочая информация, зафиксированная датчиками на болоте. Звук, поступающий от микрофонов, меняется в зависимости от того, где в виртуальном пространстве находится пользователь; он сможет парить над болотом и слышать все звуки или внимательно прислушиваться к происходящему в отдельно взятой его области, погружаться под воду и услышать звуки, зафиксированные гидрофонами. Представьте себе: оцифрованный ветер, зафиксированный датчиками на болоте, в реальном времени будет свистеть в ветвях виртуальных деревьев.

Living Observatory — это скорее демонстрационный проект, чем практический прототип. Но найти ему сферу применения несложно. Так, скажем, фермеры могут использовать подобную систему для мониторинга участков земли и отслеживать с помощью датчиков уровень влажности, содержание пестицидов и удобрений или же наблюдать за животными, которые там пасутся. Муниципальные службы смогут применять ее в чрезвычайных ситуациях — во время ураганов и наводнений, во время операций по поиску и оказания помощи людям, оказавшихся в экстремальных ситуациях. Словом, не будет преувеличением сказать, что данная технология войдет в нашу повседневную жизнь. Многие пользователи, прежде чем выйти на улицу, уже подыскивают себе

рестораны на сайте *Yelp*. Вскоре, прежде чем отправиться в ресторан, люди будут проверять число свободных мест на данный момент и уровень шума.

В некотором роде дистанционное присутствие средни телепортации. Иногда мы, находясь в поездках, подключаемся при помощи *DoppelLab* к медиалаборатории, поскольку хотим побывать в родных местах. Таким же образом и другие путешественники, будучи вдали от дома, смогут перенестись туда, чтобы побыть вместе с семьей.

Портативные электронные устройства подчас мешают, иногда даже раздражают, чего не скажешь о собственной сенсорной системе человека, с помощью которой мы можем оперативно переключаться, отвечая, если нужно, на входящие сигналы, или же фокусировать внимание на конкретной задаче

В дополнение к человеческим чувствам

С уверенностью можно сказать, что в наступающую эру компьютеризации будут доминировать портативные устройства, а это, на наш взгляд, позволяет создавать гораздо более естественные способы взаимодействия с сенсорными устройствами. По сути, переносные компьютеры плавно трансформируются в приложение к человеческим чувствам, т.е. станут «сенсорными протезами».

Исследователи долго экспериментировали со всякого рода портативными датчиками-сенсорами и исполнительными устройствами, закрепленными на теле человека; передачу сигналов от них к органам чувств через вспомогательные устройства мы называем сенсорным замещением. В недавно опубликованных исследованиях говорится, что благодаря нейропластичности (способности человеческого мозга изменяться под действием опыта) человек способен распознавать «сверхчувственные» воздействия через обычные органы чувств. Тем не менее по-прежнему существует огромный разрыв между данными, поступающими по сети датчиков, и непосредственным чувственным опытом человека.

Мы считаем, что необходимо исследовать феномен внимания, — в этом ключ к сенсорному протезированию. Как ведет себя человек, использующий гаджеты? Существующие ныне портативные электронные устройства, такие как очки *Google Glass*, могут действовать независимо, неожиданно для пользователя предлагая

различную информацию (скажем, *Google Glass* рекомендуют тот или иной фильм, когда человек проходит мимо кинотеатра). Подчас эти гаджеты мешают, иногда даже раздражают, чего не скажешь о собственной сенсорной системе человека. С ее помощью мы можем оперативно переключаться, отвечая, если нужно, на входящие сигналы, или же фокусировать внимание на конкретной задаче. В наших экспериментах мы пытаемся ответить на вопрос, способны ли портативные компьютеры, подражая мозгу, выполнять конкретную задачу и одновременно в фоновом режиме держать в поле зрения остальные элементы окружающей среды.

В ходе нашего первого эксперимента мы стремимся установить, сможет ли портативное устройство определить, на каком именно источнике звука сконцентрировал свое внимание пользователь. Мы хотели бы использовать эту информацию для того, чтобы владелец устройства настроился на работающие микрофоны и гидрофоны в Тидмарше таким же образом, как они настраиваются на различные природные источники звуков. Представьте, что вы внимательно смотрите на отдаленный остров, расположенный в море, и медленно начинаете различать слабые звуки, как будто обладаете великолепным слухом, позволяющим слышать на большом расстоянии. Представьте, что вы идете вдоль реки и можете слышать, что творится под водой, рассматривать деревья в мелких подробностях и слушать пение птиц, — в таком виде будет представлена цифровая информация. А это говорит о том, что установлена гибкая связь между органами чувств человека и информацией, исходящей от сетей датчиков. Когда-нибудь, наверное, придет время, когда появятся сенсорные или нейронные имплантаты, обеспечивающие эту связь. Хочется надеяться, что эти устройства и предоставляемая ими информация, станут частью наших органов чувств, но не заменят их.

Мечта или кошмар?

Наверное, многие люди, включая авторов этой статьи, почувствовали, что в описанном выше мире таится опасность. Переосмысление понятия «присутствия» означает изменение отношений человека с окружающим миром, включая трансформацию взаимоотношений в социуме. Глобальная компьютеризация создает угрозу для конфиденциальности — это пугает еще больше. По нашему мнению, существует множество способов ликвидировать эти потенциальные риски и учесть их при создании технологических новшеств.

Десять лет назад в рамках одного из проектов нашей группы Мэт Лайбовиц (Mat Laibowitz) установил 40 камер и датчиков в медиалаборатории. Чтобы устройства можно было легко и просто отключить, он вставил в них громоздкие выключатели собственной конструкции. Однако в современном мире, наверное, вокруг каждого из нас полно всяких камер, микрофонов и прочих приборов — не все успеешь выключить. Поэтому придется поискать какие-то другие решения, кроме выключателя.

Один из подходов заключается в том, чтобы сделать датчики, реагирующие на контекст и предпочтения

человека. Несколько лет назад Нань Вэй Гун (Nan-Wei Gong), работавшая в то время в нашей исследовательской группе, занялась исследованиями в этой области. Она создала электронный брелок с функцией радиомаяка, который информировал расположенные поблизости сенсорные устройства о тех или иных пользовательских предпочтениях конфиденциальности. На брелоке имелась большая кнопка с надписью «НЕТ»; при нажатии на которую пользователь обеспечивал себе полную конфиденциальность, поскольку все работающие в данном волновом диапазоне датчики тут же блокировались, а передача пользовательской информации кому-либо запрещалась.

Необходимо предусмотреть, чтобы любой из датчиков, расположенных в непосредственной близости от человека, реагировал на пользовательские предпочтения относительно конфиденциальности. Но создать такой протокол непросто как с технической, так и с юридической точки зрения. Тем не менее над этой проблемой уже работают группы разработчиков в разных странах мира. Можно, например, предложить, чтобы закон наделял пользователя правом собственности на данные, которые генерируются вблизи него, или преимущественным правом владения ими; и уже потом сам человек должен решить, следует ли запрещать передачу этой информации в сеть полностью или частично. Одна из целей проектов *DoppelLab* и *Living Observatory* состоит в том, чтобы установить, как предпочтения конфиденциальности работают в безопасном пространстве отдельно взятой незасекреченной научно-исследовательской лаборатории. Будем стараться решать проблемы по мере их появления. И, как показали недавние открытия бывшего сотрудника АНБ Эдварда Сноудена, во главу угла нужно ставить прозрачность, а угрозы для частной жизни следует урегулировать в законодательном порядке и в ходе открытого обсуждения. Если же эти условия не будут соблюдаться, то, по нашему мнению, лучшей защитой против системного вторжения в частную жизнь станет доступное аппаратное и программное обеспечение с открытым исходным кодом.

И все же могу себе представить, какие новые впечатления ожидают человека в мире, наполненном разными датчиками. Мы смотрим в будущее с оптимизмом и считаем, что вполне возможно разрабатывать технологии, которые проникнут в нашу жизнь и даже в человеческое тело. Благодаря этим технологиям человек наконец-то оторвется от экрана смартфона и окинет взглядом окружающий его мир, чтобы стать к нему чуточку ближе. ■

Перевод: И.В. Ногаев

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Rainbow's End. Vernor Vinge. Tor Books, 2006.
- Metaphor and Manifestation: Cross Reality with Ubiquitous Sensor/Actuator Networks. Joshua Lifton et al. in *IEEE Pervasive Computing*, Vol. 8, No. 3, pages 24–33; July–September 2009.
- The Computer for the 21st Century. Mark Weiser in *Scientific American*, September 1991.

Н очевидное
невероятное

ежемесячный научно-информационный журнал

В мире науки

ИНТЕРНЕТ-ПОРТАЛ

НАУЧНАЯ РОССИЯ

www.sci-ru.org

Для всех, кто живет
на планете
ЗЕМЛЯ!

Вся Вселенная в НАНОМАСШТАБЕ

XII Международная конференция по наноструктурированным материалам (NANO 2014), прошедшая с 13 по 18 июля в Москве, стала самой крупной и лучшей в истории этого научного форума. Впервые ее провели в России. И впервые на конференции так много выступлений касалось биотехнологий наряду с докладами по неорганическим материалам. «NANO 2014 — важнейшее событие в области нанотехнологий, за которыми будущее», — отмечает ректор МГУ Виктор Садовничий. В том, что Москва стала хозяйкой конференции, заслуга и Московского университета, предоставившего площадку, и репутации российских ученых, работающих в этой сфере. Энергия молодых ученых также сыграла роль в эффективности мероприятия. Так что нанотехнологии — еще и лучшая сфера приложения сил молодого поколения. «В мире науки» подготовил краткий обзор десяти самых интересных докладов NANO 2014.



Сэр **Гарольд Крото**, рыцаря-бакалавра Британской империи, работающего в Университете штата Флорида (США), специально представлять не нужно: лауреат Нобелевской премии по химии 1996 г. (совместно с Робертом Керлом и Ричардом Смолли) за открытие новой формы углерода — фуллеренов,

в которых атомы углерода собраны в «мячики» C_{60} , C_{70} и других размеров. Его доклад назывался «Углерод в наном мире и в космосе». Пусть сочетание не удивляет вас: ведь к открытию фуллеренов сэра Крото привел именно поиск длинных углеродных цепочек в атмосферах так называемых углеродных звезд (старых красных гигантов). Как говорил сам Крото в докладе, интерес к химии атмосферы и плазмы старых звезд привел к технологическим достижениям на наноуровне.

«Наука все еще держится на любопытстве, а не на целесообразности», — утверждал нобелевский лауреат.

В своем докладе он отдельно рассказывал и о том, как попытки моделировать атмосферу углеродной звезды в лабораторных условиях привели к случайному открытию одной из самых удивительных молекул XX в. — бакминстерфуллерена C_{60} , а от него к графену и нанотрубкам, а в итоге — ко всей нанореволюции. Удивительно и то, что в 2010 г. спектр бакминстерфуллерена был обнаружен в глубоком космосе инфракрасным телескопом NASA *Spitzer*. «История научного прогресса несет серьезное предупреждение тем, кто считает, что фундаментальная наука может регулироваться бюрократическими решениями. Открытие третьей формы углерода, фуллеренов, — лишнее тому подтверждение», — резюмировал ученый. Лекция сэра Гарри Крото была блестящим примером популяризации научных знаний.



Майкл Гретцель — директор лаборатории фотоники и интерфейсов в Федеральной политехнической школе Лозанны. Гретцель — фактически один из отцов-основателей современной солнечной энергетики, за изобретение сенсibilизированных красителями солнечных ячеек на основе диоксида титана («ячеек

Гретцеля») в 2010 г. он получил престижнейшую Технологическую премию тысячелетия.

Доклад самого цитируемого гостя *NANO 2014* назывался «Сбор и хранение энергии солнечного света в мезоскопических системах конверсии солнечной энергии».

Разумеется, доклад был посвящен собственным работам Гретцеля: солнечным батареям на основе красителей и полупроводниковых частиц на мезоскопических (мезоуровень — промежуточный между наноуровнем и макроуровнем) оксидных пленках как альтернативе традиционной полупроводниковой солнечной энергетике.

Гретцель рассмотрел последние достижения в этой области: например, ячейки на основе порфириновых красителей, которые сумели достичь конверсионной эффективности в 13% (отношение выработанной электроэнергии к энергии, пришедшей на солнечную панель) или твердотельные мезоскопические ячейки, основанные на «органических перовскитах», в частности $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$, в которых удалось достичь эффективности 17,9% с возможностью дальнейшего увеличения этого показателя. Подобные материалы открывают возможность создания новых поколений сверхэффективных и очень дешевых гибких солнечных батарей для повсеместного внедрения солнечной энергетики.



Жан-Мари Тараскон — всемирно признанный специалист из французского Коллеж де Франс. Он по праву считается крупнейшим авторитетом в области электрохимической энергетики и новых материалов в этой области. Его доклад назывался «Положительные

и отрицательные аспекты достижения наноуровня в области литий-ионных батарей».

Перезаряжающиеся литий-ионные аккумуляторы приводят в действие большую часть сегодняшней портативной электроники. Электродные реакции в этих системах основаны на обратимом встраивании и удалении ионов лития в материал «хозяина» с сопутствующим добавлением/удалением электронов. Эти аккумуляторы хорошо проработаны и массово используются.

Развитие данной области жестко лимитируется ограничениями, которые связаны со свойствами традиционных материалов, но определенные перспективы возникают при вторжении в нанообласть. К сожалению, традиционные литий-ионные системы пока невозможно эффективно применить в электромобилях, ветряной или солнечной энергетике, хотя альтернатив литию нет, поскольку это самый легкий и «маленький» по размерам ионов щелочной металл. По словам Тараскона, сейчас современное материаловедение готовит качественный прорыв в этом направлении.

Зная о таких потребностях, ученый рассмотрел возможные альтернативы, среди которых — использование наноматериалов, нанокompозитов и т.д.

В докладе французский ученый подробно освещал как положительные, так и отрицательные эффекты «ухода в нано» в области литий-ионных батарей. По словам Тараскона, в этом направлении есть много работ, однако «нано» не всегда означает «лучше», если дело касается электродов, и поэтому многие нановарианты следует пока использовать с осторожностью.



Джеймс Тур стабильно входит в десятку лучших химиков мира. Он занимает сразу несколько профессорских должностей, в том числе и в Университете Райса. Тур хорошо известен своими работами в области наноглеродных материалов — графена, нанотрубок и их производных. Его пленарный доклад был

посвящен именно этой теме и имел общее название «Синтез и применение углеродных наноматериалов».

В этом докладе обсуждались несколько новых путей к выращиванию, подготовке и манипуляциям с графеном, графеновыми нанолентами и нанотрубками. Тур рассказал о новых способах их применения в материалах и электронике. Кроме этого, новыми путями становятся использование оксида графена для сорбции радионуклидов в экологии, мезопористого углерода для фиксации углекислого газа и использование графитовых материалов для создания проводящих буровых жидкостей для нефтедобычи. При этом многие свои разработки он сделал в сотрудничестве с выпускниками факультета наук о материалах и химического факультета МГУ. Доклад Тура в очередной раз показал, насколько широко возможно использование новых форм углерода и сколько открытий в этой области ждет нас в будущем.



Кристофер Мюррей — профессор факультета химии и наук о материалах Пенсильванского университета (США), всемирно признанный специалист по уникальной форме строения вещества — коллоидным нанокристаллам и сверхрешеткам. Его пленарный доклад имел длинное название «Строительство из искус-

ственных атомов: программирование сборки полифункциональных нанокристаллических тонких пленок с точным контролем формы и размера частиц».

Коллоидные нанокристаллы (NC) — весьма удивительные структуры. Они, по сути, представляют собой кристаллическую решетку, в узлах которой находятся не атомы, ионы или молекулы, а отдельные наночастицы. Такие нанокристаллы — идеальные стандартные строительные блоки для мезомасштабных (находящихся посередине между наномиром и макромиром) вещей. В них можно точно управлять структурой и поверхностью, настраивать их магнитные, электронные и оптические свойства. Из коллоидных нанокристаллов можно собирать самые разнообразные тонкие пленки с заранее заданными свойствами. В качестве примеров Мюррей приводит транзисторы, термоэлектрические, магнитные материалы и катализаторы, созданные на основе коллоидных нанокристаллов. Его лекция, по признанию многих участников, была не только фундаментально интересной, но и одной из самых красивых на конференции.



Чад Миркин — легенда мировой нанонауки, он тоже занимает сразу несколько профессорских позиций, в том числе в американском Северо-Западном университете, а также пост директора в Международном институте нанотехнологий. Чад Миркин — признанный авторитет в области супрамолекулярной химии, нанoeлектроники, биодиагностики; как говорят, его неоднократно номинировали на Нобелевскую премию,

а в 2009 г. он стал лучшим химиком мира с точки зрения цитирования его работ (согласно данным *Web of Science*). В этом году он приехал на конференцию не только сделать пленарный доклад, но и получить престижную премию Американского химического общества как лектор и ведущий автор журнала *ACS NANO*. Это событие впервые стало сателлитным мероприятием конференции.

Его доклад «Наноструктуры сферических нуклеиновых кислот как межклеточные зонды и регуляторы активности генов» созвучен с сообщением Александра Кабанова: Миркин исследует способы «молекулярных путешествий» по организму. В частности, вместо мицелл Миркин рассматривал очень интересные частицы — сферические нуклеиновые кислоты (SNA). Это, например, наночастицы золота, которые сверху покрыты нуклеиновыми кислотами. Опыт показывает, что такие частицы свободно проникают во все известные типы клеток, при этом они оказываются защищены от ферментативного разложения и гидролиза. Чем плотнее упакованы аминокислоты, тем легче «шарик» проникает в клетку.

В своем докладе Миркин рассмотрел свойства этих нуклеиновых кислот, направления их применения (межклеточные зонды и регуляторы работы генов), способы их получения и возможные родственные структуры.



Густав ван Тенделу — ведущий специалист в области электронной спектроскопии, глава группы «Электронная микроскопия для наук о материалах» (*Electron Microscopy for Materials Science, EMAT*) при Антверпенском университете в Бельгии. У ученого давние связи с Московским университетом, и он может

считаться наставником целой плеяды талантливых выпускников МГУ, как, впрочем, и достаточно многие ведущие исследователи, приехавшие на *NANO 2014*.

Доклад ван Тенделу «Получение трехмерных изображений структур наноматериалов» начинался с того, что технологии сегодня вышли на уровень отдельных атомов и дальнейший прогресс в нанотехе возможен только при полном понимании процессов, идущих на атомном уровне. Разумеется, лучший инструмент для этого — электронная микроскопия. Именно при помощи просвечивающего электронного микроскопа были получены первые изображения отдельных атомов, хотя с помощью сканирующей зондовой микроскопии человек научился манипулировать отдельными атомами (вспомним надпись *IBM*, выложенную из 35 атомов ксенона). Однако в последнее время возникла необходимость понимания трехмерной структуры наночастиц и наноструктур, а традиционная электронная микроскопия может дать только «плоское» изображение. Ван Тенделу рассказал, как его группе удалось расширить принципы электронной томографии на наночастицы и получить первые 3D-изображения наночастиц с атомным разрешением. Это важнейший прорыв в изучении наноструктур, особенно частиц с небольшим (около 35–50) количеством атомов.



Дмитрий Гольдберг представил Национальный институт наук о материалах, расположенный в японском научном центре в Цукубе. Его доклад назывался «Двумерный нитрид бора и наноструктуры дихалькогенидов металлов».

Термин «халькогениды» известен только химикам. Если галогениды (от др.-греч. *hals* — «соль») — это соединения металлов с соединениями VII группы таблицы Менделеева: фтором, хлором и т.д., то халькогениды (от др.-греч. *chalkos* — «руда») — это соединения металлов с элементами VI группы: кислородом, серой, селеном, теллуrom и т.д. Доклад Гольдберга посвящен их собственным работам с удивительными наноструктурами нитрида бора и дихалькогенидов металлов.

Оказывается, эти структуры (нанолисты) способны на очень нетривиальные вещи. Самое удивительное — это «распускание», или «растегивание», нанотрубок. Тонкие углеродные трубки разрезаются по всей своей длине и разворачиваются в углеродные наноленты — еще одну интереснейшую наноформу углерода. Гольдберг рассказал об использовании электронной микроскопии для изучения разнообразных электрических, механических и оптических свойств неорганических наноллистов, в которые организуются структуры нитрида бора и дихалькогенидов. Он также коснулся темы их применения для того, чтобы получить самоочищающиеся несмачивающиеся поверхности. Это может быть важным, например, для разработки антиобледенительных покрытий в авиации. На настоящий момент Дмитрий Гольдберг — один из самых цитируемых ученых Российской Федерации.



Академик РАН **Александр Асеев** на конференции *NANO 2014* представил Сибирское отделение РАН. Его пленарный доклад — «Наноструктурированные полупроводники для опто- и наноэлектроники».

Исследования поверхности и свойств полупроводниковых материалов начались в далеких 60-х гг.

XX в. и стали основой современного прорыва в электронике. Тогда уже было ясно, что эти исследования — ключевые для получения структур с новыми свойствами, с которыми не сталкиваются в природе, от тонких пленок до наноразмерных слоев, квантовых точек и проводов. Все эти структуры создаются при помощи молекулярно-пучковой эпитаксии (*MBE, molecular-beam epitaxia*), одной из главных технологий в современной полупроводниковой физике. Эта технология позволяет выращивать гетероструктуры, т.е. структуры из слоев разного состава с идеально гладкими (на уровне одного атома) границами слоев.

В своем докладе Александр Леонидович обсудил свойства новых гетероструктур, полученных этим методом,

которые стали основным материалом для современных светочувствительных элементов в новых инфракрасных системах.



Александр Кабанов — выпускник Московского государственного университета, руководитель совместной лаборатории химического дизайна бионаноматериалов в МГУ, созданной в рамках мегагранта МОН РФ. Область его интересов — доставка лекарств с использованием наноматериалов. Его пленарная лекция называлась «Полимерные мицеллы для доставки лекарств».

Об этих исследованиях заговорили четверть века назад. Мицелла (от лат. *misa* — «крупница») — это крошечная частица, долгоживущая оболочка из молекул поверхностно-активного вещества.

Сегодня технология подобной транспортировки препаратов уже вышла на уровень клинических испытаний: почти дюжина препаратов проходят испытания разной стадии, а один продукт — *Genexol-PM*, представляющий собой противораковый препарат паклитаксел в полимерной мицелле, — уже разрешен для терапии рака в Южной Корее. У таких препаратов есть много достоинств по сравнению с обычными препаратами химиотерапии. Главное — это возможность доставлять к опухоли большие дозы токсичных препаратов (а все химиотерапевтические агенты — это безусловный яд) в сочетании с меньшей токсичностью для организма. Кроме того, такие препараты обладают гораздо большей эффективностью за счет адресной доставки к опухоли.

Однако такими «простыми» случаями исследования не ограничиваются. Многие работы сконцентрированы на использовании мицелл для поставки терапевтических ферментов (нанозимов) к месту болезни, например в мозг. Так, в опытах на лабораторных животных подобные нанозимы «загружались» в макрофаги, которые доставляли их в места воспаления и «выпускали» в работу. При этом проверялся весьма широкий спектр заболеваний — болезнь Паркинсона, грипп, повреждения спинного мозга и т.д.

В работах самого Кабанова рассматривается еще одна интересная структура — полимерная мицелла с магнитными частицами, так называемыми *SPION* (суперпарамагнитными наночастицами оксидов железа). Подобные конструкции гипотетически позволяют удаленно передвигать мицеллы к месту назначения под действием внешнего магнитного поля.

В работах самого Кабанова рассматривается еще одна интересная структура — полимерная мицелла с магнитными частицами, так называемыми *SPION* (суперпарамагнитными наночастицами оксидов железа). Подобные конструкции гипотетически позволяют удаленно передвигать мицеллы к месту назначения под действием внешнего магнитного поля.

Подготовили Мария Молина и Алексей Паевский

Редакция журнала «В мире науки» выражает благодарность академику А.Р. Хохлову и ученому секретарю А.А. Семенову за предоставленные материалы



Алексей Хохлов:

«Вы задумывались, почему раньше строили одноэтажные дома, а теперь небоскребы?»

Проректор МГУ им. М.В. Ломоносова Алексей Хохлов, председатель оргкомитета NANO 2014, беседует с нашим корреспондентом о масштабах конференции и о том, какие направления в этой области науки обещают человечеству в ближайшем будущем переворот в науке и жизни

— **Алексей Ремович, расскажите о том, что представляет собой эта конференция, каково ее значение.**

— Международные конференции по наноструктурированным материалам — это очень большие форумы, которые проходят в разных странах мира, выигравших право проведения конференции. Они собирают элиту мировой науки. В 1992 г. состоялась первая такая конференция — в Канкуне, в Мексике, и с тех пор раз в два года форум проходит в разных городах мира. Его значение и научный уровень постоянно растут, как и число участников. Обычно несколько городов борются за честь принять следующую конференцию. Четыре года назад было принято решение о проведении XII конференции в Москве, при этом мы конкурировали с Марселем и Торонто.

В этом году поставлен рекорд — к нам съехалось более 1 тыс. ученых из 57 стран. Из зарубежных стран больше всего участников было из США, Германии, Франции.

— **Отбор принимающего города прямо как для Олимпиады.**

— Да, как на Олимпиаду, надо за четыре года подавать заявку на конкурс. Решение принимает Международный комитет по наноструктурированным материалам, который включает ведущих ученых в этой области. Точно так же мы собрались в Москве и приняли решение, что через четыре года конференция по наноматериалам будет в Гонконге. А через два года она пройдет в Квебеке.

— **Чем Москва оказалась лучше Марселя и Торонто?**

— В частности, работы в области материалов, в области физической химии и механики материалов в России традиционно очень сильны, это одна из наиболее развитых у нас областей науки. Коллеги знали, что здесь хорошая наука и что мы можем удачно организовать подобную конференцию. За счет этого и был сделан выбор.

С точки зрения организационных возможностей: у нас не так давно появилась новая мощная инфраструктура. Так, кампус МГУ получил новые современные корпуса, где есть и главный зал для пленарных заседаний, и больше десятка расположенных рядом залов, где проводятся параллельные секционные заседания.

Кроме того, считается, что такие конгрессы должны проходить на разных континентах. Очевидно, что форум привлекает к себе внимание людей, которые работают в этом регионе. Тем самым происходит экспозиция идеи этой конференции на весь мир.

— **Каково состояние российской науки в области нанотехнологий? Есть ли у нас современное оборудование?**

— Не совсем верно так оценивать. Когда говорят о нанотехнологиях, почему-то всегда думают о наноэлектронике. Для нее нужно специальное оборудование. Но область нано- состоит из трех основных частей: наноэлектроника, наноматериалы и нанобиотехнологии.

Что такое наноуровень? Субнано- — это организация материала на уровне атомов. А есть уровень

организации материала в масштабах от 1 до 100 нм. Многие свойства материала зависят не от того, какие атомы присутствуют, а от того, какова структура на более высоком, надмолекулярном, иерархическом уровне. Алмаз прозрачен, а наноструктурированный алмаз имеет кластерную, многооболочечную структуру. Он непрозрачен, у него меняются оптические и электропроводящие свойства. Но его все равно называют наноалмазом, поскольку это sp^3 — гибридные атомы углерода, связанные друг с другом определенным образом.

Чтобы получать другой популярный наноматериал, наноструктурированный титан, нужны специальные печи, приспособления для интенсивных пластических деформаций, то, что разрабатывает сопредседатель оргкомитета нашей конференции профессор Руслан Валиев. В результате таких воздействий возникает специфическая ультрамелкозернистая структура, а материал приобретает уникальные механические характеристики. Так можно делать и корпуса современных атомных субмарин, и сверхпрочные бронжилеты, и велосипедные рамы, и гвозди для шивки костей.

— Напоминает закалывание металла.

— В определенном смысле закалывание — это тоже изменение структуры. Вы увеличиваете температуру и стараетесь сделать металл более монокристаллическим. А при наноструктурировании идея состоит в том, чтобы дать новые свойства тому же самому титану.

— Нанобиотехнологии были представлены на конференции в значительном объеме. Как биотехнологии относятся к наноструктурированным материалам?

— Сама по себе живая клетка существует благодаря особой организации биологических макромолекул. Поэтому все биологические материалы, в том числе и то, из чего состоит ваше тело, кости, мышцы, — это фактически наноструктурированные материалы.

Интересно, что доминирующей тенденцией до сих пор на этих форумах были неорганические материалы — до нашей московской конференции. На этот раз, подготавливая форум в Москве, мы старались пригласить больше людей, работающих в области органических материалов. У нас были секции по гибридам — системам, где есть и неорганические, и органические соединения, а также специальная секция по биологическим наноструктурам.

— Какова самая популярная тема в наноструктурах?

— Есть расхожая точка зрения, что люди занимаются только модными вещами. Интерес к тем или иным темам иногда подогревается событиями вроде Нобелевской премии, присужденной в данной области, как в случае с графеном. Но наука развивается независимо от этих наносных моментов. Изучение структуры вещества на наноуровне — магистральное направление развития современной науки.

До XX в. мы в основном смотрели на макроскопические свойства веществ — на уровне, где все можно увидеть глазами. XX в. принес развитие квантовой механики, атомной физики, ядерной физики, это масштаб меньше нанометра. Но между нано- (10^{-9}) и микро- (10^{-6}) есть очень

большая область, ответственная за свойства материалов и явления жизни. А изучать эту область сложнее, чем макро- и микро-, потому что здесь очень много сложнейших взаимодействий. Сегодня есть экспериментальные методы, с помощью которых можно исследовать такие масштабы: малоугловая, рентгеновская дифракция, нейтронное рассеяние, электронная, сканирующая зондовая микроскопия и т.д. Кроме того, сейчас есть компьютеры. Многие вещи можно теоретически понять и описать с помощью методов компьютерного моделирования. В частности, на NANO 2014 состоялось очень много докладов по компьютерному моделированию наноматериалов.

На нынешней конференции было представлено много докладов не только по нашумевшему в СМИ графену, но и по фуллерену, графеновым лентам, нанотрубкам.

Нанотрубки, кстати, — интересная вещь. За открытие фуллерена была присуждена Нобелевская премия (профессору Гарри Крото, который участвовал в работе NANO 2014). За графен тоже дана Нобелевская премия (Андрею Гейму и Константину Новоселову). А вот по нанотрубкам не было. Потому что нанотрубки открыли еще в 1952 г. в Институте физической химии АН СССР. Это была работа профессоров Л.В. Радужкевича и В.М. Лукьяновича, которая опубликована в статье «О структуре углерода, образующегося при термическом разложении окиси углерода на железном контакте» (*Журнал физической химии*. 1952. Т. 26, № 1. С. 88–95). Они работали в годы, когда контакты между СССР и другими странами были минимальными. Статью не перевели на английский. Все случилось на заре электронной микроскопии, но в статье уже были описаны нанотрубки. Японские ученые открыли нанотрубки примерно через 40 лет. Только потом выяснилось, что в 1952 г. была опубликована работа советских ученых по нанотрубкам.

— Если говорить о практическом применении: насколько мы приблизились к тому, чтобы получить нечто, работающее в наших гаджетах?

— Между исходной идеей и практическим результатом обычно проходит лет 15, не меньше. Поэтому если речь о графене, то еще рано говорить о применении в гаджетах. Но важно, чтобы материал был востребован.

Вы задумывались, какой самый распространенный материал на Земле? Больше всего производится цемента, потому что люди строят дома. Почему сейчас строят небоскребы, а раньше были какие-то одноэтажные хижины? Новые технологии позволяют возводить здания, которые раньше не могли существовать.

Сейчас наноструктурированные материалы активно используются в строительстве. Да и технологии «умного дома» тоже завязаны на эту область научных исследований — на крыше у нас солнечные батареи, окна «умные», теплоизолирующие, преобразующие энергию света, меняющие уровень пропускания света. Мы даже не замечаем, но материалы, из которых все делается, претерпевают существенные модификации. И эти модификации базируются на научных направлениях. ■

Беседовала Мария Молина



Александр Асеев:

«Многие
мировые
открытия впервые
состоялись
в России»

Наноструктурированные материалы и технологии в России появились десятки лет назад. Пионером полупроводниковых нанотехнологий был академик РАН Жорес Алферов, а первооткрывателем одноэлектронных технологий — профессор МГУ Константин Лихарев. Еще раньше фундаментальные работы по квантовой электронике Николая Басова и Александра Прохорова привели к созданию первых лазеров. Другими словами, у оргкомитета NANO 2014 были веские причины для проведения этой крупнейшей международной конференции в России.

В пленарной части программы выступил председатель СО РАН академик Александр Асеев, рассказавший о наноструктурированных полупроводниках для опто- и наноэлектроники.

— Александр Леонидович, расскажите, пожалуйста, о сути своего доклада.

— Полупроводниковые наноструктуры — не только очевидные и масштабные приложения, но и путь к новой физике. Приложения — это СВЧ-транзисторы в сотовых телефонах, системах связи и управления, матричные фотоприемники инфракрасного диапазона, высокочувствительные сенсоры газовых потоков, магнитных полей и биологических молекул, миниатюрные вертикально-излучающие лазеры. А совсем новая физика — это, например, интерферометры счетного количества электронов и источники одиночных фотонов и фотонных пар, «запутанных» по квантовым состояниям. Каскад открытий в этой области связан с технологией эпитаксиальных наноструктур на основе соединений теллурида ртути и системы кадмий-ртуть-теллур. Среди таких открытий — квантовый эффект Холла в двумерной

электронно-дырочной системе в теллуриде ртути, электронный транспорт в двумерном полуметалле, наблюдение двумерного топологического изолятора и открытие безмассовых фермионов. И все это работы Института физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, о которых в докладе я рассказывал более подробно.

Для меня было честью выступить на NANO 2014, но огорчило, что от России был лишь один выступающий. Это не соответствует масштабу и уровню работ в области наноструктурированных материалов в институтах РАН, российских университетах и Курчатовском научном центре. Конференция проводилась в Москве, где уровень исследований достаточно высок, — пленарных докладов от России могло быть больше.

— Каков вклад России в развитие нанотехнологий?

— Технологий всегда предшествуют научные исследования, результаты которых у российских ученых

очень яркие. Далеко не всем известно, что многие открытия впервые состоялись у нас, а потом уже за рубежом. Так, в начале XX в., через несколько лет после смерти изобретателя радио Александра Попова, ученым Гильермо Маркони и Фердинанду Брауну была вручена за то же изобретение Нобелевская премия. В 1947 г. Уильям Шокли, Уолтер Браттейн и Джон Бардин получили Нобелевскую премию за изобретение полупроводникового транзистора. Но за 25 лет до этого русский ученый Олег Лосев изобрел первые в мире приборы твердотельной полупроводниковой техники — кристадин и светодиод. Лосев первым показал, что полупроводниковый кристалл может усиливать и генерировать высокочастотные радиосигналы, и обрел мировую известность.

Сегодня статьи российских ученых регулярно печатают в таких журналах, как *Nature* и *Science*. В этом году там было опубликовано исследование с участием сотрудников Института физики полупроводников СО РАН, посвященное открытию фермионов Дирака (безмассовых элементарных частиц) в квантовых ямах на основе теллурида ртути, а также трехмерных фермионов Кейна (*Брюс Кейн — изобретатель первого твердотельного квантового компьютера, основанного на ядерном магнитном резонансе. — Примеч. ред.*). Между прочим, грядущей осенью ИФП СО РАН исполняется ровно полвека.

— Вы долгое время были его директором и знаете все направления работы института. Основная их часть связана с нанотехнологиями и наноматериалами?

— Давайте посмотрим на статистику. Три научных учреждения: МГУ, Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН и Курчатовский научный центр — возглавили список тех мест, где активнее всего в России ведутся исследования в области нанотехнологий. Это отмечено в результатах проекта НЭИКОН по заказу Минобрнауки РФ в 2012 г. после анализа 383 тыс. публикаций, относящихся к области нанотехнологий. Использовались несколько критериев, в частности, количество публикаций по нанотехнологиям за пять лет в расчете на одного сотрудника и средний индекс цитирования организации. К числу прорывных исследований института относятся работы по сверхпроводимости тонких пленок, выполняемые под руководством Т.И. Батуриной. Эти работы неоднократно печатались в *Nature* и серьезно взбудоражили мировое сообщество исследователей в области физики конденсированного состояния. Наиболее яркий результат — обнаружение нового состояния с абсолютным нулем проводимости, названного сверхизолятором.

— Какие из научных работ ИФП получили практическую реализацию?

— Многие разработки реализованы. Благодаря прикладным работам, в частности для предприятий ОПК России, институту удалось сохранить свое конструкторское бюро, которые у большинства других институтов в 1990-х гг. разрушились. В филиале ИФП СО РАН, Конструкторско-технологическом институте прикладной микроэлектроники (КТИ ПМ), разработаны малогабаритные тепловизоры. Специальная система охлаждения

позволила значительно уменьшить габариты и вес приборов, а особая оптика сняла необходимость в тяжелых объективах с большим фокусным расстоянием. Кроме того, на основе полученных в институте наноструктурированных полупроводниковых материалов создано семейство матричных фотоприемников дальнего инфракрасного диапазона для тепловизионных систем — в результате были разработаны системы ночного видения нового поколения.

Впервые в России в ИФП СО РАН создана линия связи для передачи конфиденциальных данных на основе технологии квантовой криптографии. Она использует в качестве носителя информации одиночные фотоны в определенных квантовых состояниях, поэтому попытка их перехвата сразу будет обнаружена адресатом. Сейчас разработана также экспериментальная установка квантовой криптографии для протяженных оптоволоконных линий связи.

Соединение кадмий-ртуть-теллур — это основной материал современной микрофотозлектроники. В ИФП создана технология выращивания наноструктур с заданным распределением состава и электронных свойств по толщине структуры. На основе соединения создано семейство матричных фотоприемников инфракрасного диапазона дальнего видения.

— Эти прикладные работы в основном значимы для обороны и безопасности. А в мирных целях нанотехнологии применяются?

— Конечно. Например, биосенсоры для медицины, позволяющие быстро и качественно анализировать различные вещества, создавать миниатюрные диагностические системы для практической медицины. Они могут использоваться для ранней диагностики. Эта работа ведется совместно с Институтом химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН и Институтом биомедицинской химии им. В.Н. Ореховича РАН.

Одним из важных результатов последних лет стали разработка и создание комплекта высокоточных мер вертикальных размеров в диапазоне 0,31–31 нм с погрешностью менее 0,05 нм. После проведения испытательного комплекта внесен в государственный реестр средств измерений. ИФП изготавливает малые серии тест-объектов для калибровки атомно-силовых микроскопов производства компании *NT-MDT*.

Но надо понимать, что терроризм и коррупция нигде не исчезают и в мирное время. Борьба с этими язвами современности — первостепенная задача государства. Усовершенствовав системы слежения, можно было бы предотвращать многие неразрешимые сегодня проблемы. Одно из предсказаний писателя Артура Кларка относится к созданию в XXI в. системы слежения всех за всеми. Эта, казалось бы, утопическая фантазия не лишена здравого смысла и могла бы в ряде случаев послужить на благо людей и государства. Как бы ни пафосно это звучало, но ведь в этом и есть миссия науки — сделать жизнь людей лучше. ■

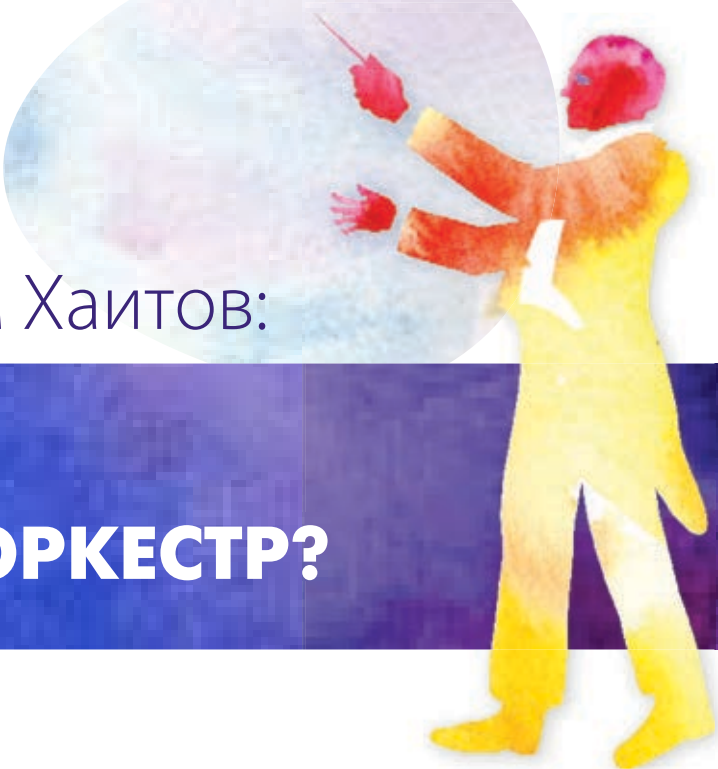
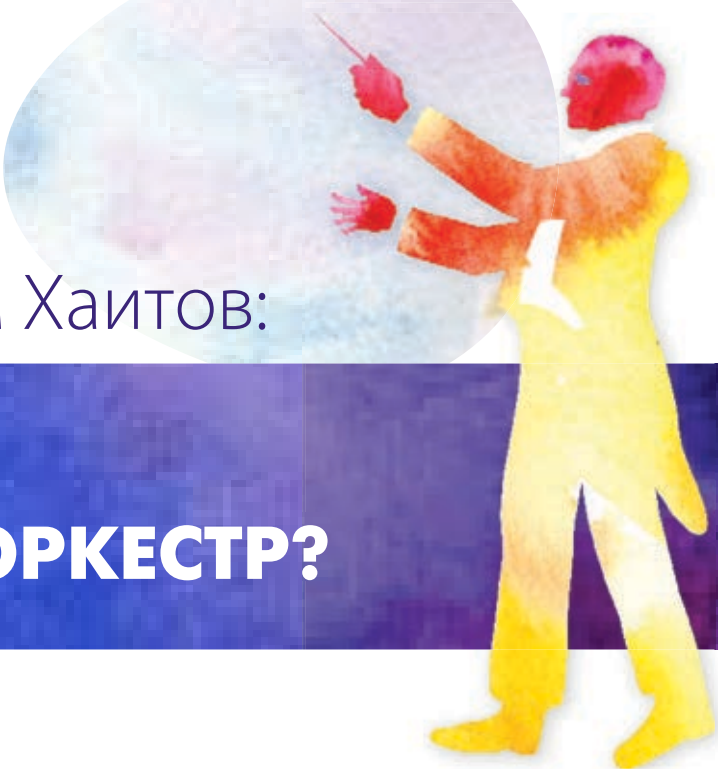
Беседовала Мария Роговая





Академик Рахим Хаитов:

О ЧЕМ ИГРАЕТ ИММУННЫЙ ОРКЕСТР?



Однажды я спросил у академика Рэма Викторовича Петрова о том, чем он будет гордиться. Понятно, что речь шла о его научных достижениях. Этот ученый создал свою школу, написал множество монографий, статей. Его имя известно во всем мире.

«И все же, — настаивал я, — что следует выделить?» Он ответил так: «Наша научная эпопея началась с нуля и завершилась созданием новых лекарственных препаратов. Горжусь также созданием принципиально новых синтетических вакцин, которые мы задумали и реализовали вместе с Виктором Кабановым и Рахимом Хаитовым».

С той беседы прошло почти 20 лет, но она запомнилась. Более того, когда речь заходила об иммунологии, я обязательно вспоминал трех ее богатырей — Петрова, Кабанова и Хаитова. Ничего не могу поделать, но именно картина Васнецова и слова Рэма Викторовича слились воедино навсегда.

А может быть, художественные образы более точно передают суть происходящего и в науке?

Теперь опять мне было суждено вернуться к картине Васнецова: академик Петров порекомендовал обязательно встретиться с академиком Рахимом Хаитовым и поинтересоваться у него последними событиями в ГНЦ «Институт иммунологии».

Понятно, что академик Петров имел в виду проблему отцов и детей, но не в традиционном («осуждающем») смысле, а совсем в другом: учиться у нас не только иммунологии, но и преемственности.

«Я рад, что так случилось», — подвел итог Рэм Викторович и тем самым соединил прошлое с будущим. «Только страсти и только великие страсти могут поднять душу до великих дел. Без них конец всему возвышенному как в нравственной жизни, так и в творчестве», как говорил Дидро.

Почему прошлое так актуально сегодня?

Этому и была посвящена наша беседа с Рахимом Мусаевичем Хаитовым.

Я поделился своим впечатлением об институте. Заметно, как он меняется в лучшую сторону. Рахим Мусаевич пояснил:

— В первую очередь занимаемся лабораториями. Там — самое современное оборудование. На это идут все средства, в том числе и внебюджетные.



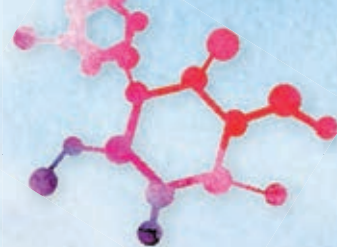
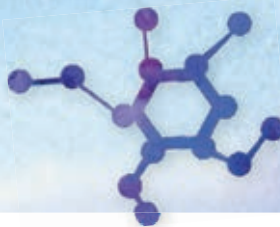
СПРАВКА

Рахим Мусаевич Хаитов

✓ Доктор медицинских наук, профессор, академик РАН и РАМН, директор ГНЦ «Институт иммунологии» ФМБА России, президент Российской ассоциации аллергологов и иммунологов, заслуженный деятель науки РФ.

✓ Лауреат Государственных премий РФ и премий Правительства РФ, лауреат премии Ленинского комсомола, премий им. И.И. Мечникова РАН и им. А.А. Богомольца РАМН, награжден отечественными и зарубежными орденами и медалями.

✓ Автор более 500 публикаций в ведущих мировых и отечественных журналах, 17 монографий и трех учебников.



— А вы их получаете регулярно?

— К счастью! Реальная польза от них видна, достаточно пройтись по лабораториям. Там, где бухгалтерия и коммунальные службы, пока, к сожалению, неважно. Но постепенно и там наведем порядок.

— Не сомневаюсь. Коллегам по академии следовало бы брать пример с вас. Я имею в виду премии.

— Кстати, многие академики именно так и поступают. Например, В.Л. Янин, Ж.И. Алферов, Е.М. Примаков, Л.Д. Фаддеев и др. В академии существует такая традиция. Жалко, что о ней не рассказывают общественности.

— Обществу, к сожалению, навязывается представление, будто бы наши академики чуть ли не нахлебники, стяжатели и жулики. Но не будем об этой глупости. Поговорим об иммунологии. Наш общий товарищ и друг Рэм Викторович Петров сказал мне, что высшее достижение, которым он гордится, имеет тройное авторство, и назвал фамилии — вашу и академика Кабанова. Вы так же считаете?

— Конечно. Я с Рэмом Викторовичем всю жизнь. Мне было 24 года, приехал в Москву, попал в Институт биофизики в лабораторию Петрова. И с тех пор мы вместе. Много лет прошло. Мы работали в разных направлениях — в области фундаментальной иммунологии, в смежных науках и т.д. Опубликовано много статей, написано много книг, но главное достижение в нашей жизни — конечно, то, что мы сделали вместе. Это оригинально, создано впервые в мире и крайне нужно людям. Это вакцина, о которой все знают.

— Название «Гриппол» на слуху. Сколько человек ею уже воспользовалось?

— На сегодня — более 200 млн. Это целое семейство препаратов, которые называются синтетическими вакцинами. Каждый год ими пользуется 30–35 млн человек, и вакцина вошла в «календарь прививок». Это очень большое достижение.

— Помню, вокруг вашей вакцины шла ожесточенная борьба, и потребовалось немало усилий, чтобы, как говорится, пробить ее, внедрить в производство.

— Самая большая сложность — это придумать новую вакцину. В то время применялись живые ослабленные вакцины. А это опасно, т.к. они могли, как говорят вирусологи, скреститься с другим патогенным вирусом, например вирусом птицы или свиньи, а это страшная вещь, приводящая к летальному исходу. В таких вакцинах было много лишних, ненужных веществ, которые давали побочные эффекты, осложнения, в том числе и аллергию. Был и другой тип вакцин — убитые, разрушенные. Тоже много осложнений. И, наконец, третий метод лечения — применение отдельных белков. Из них делали вакцины. Но они оказались слабыми, не давали нужного иммунитета. Таким образом, у всех существующих методов вакцинации были определенные недостатки, и нужна была некая «приставка», которая усиливала бы иммунитет, т.е. защиту от инфекции. И мы стали думать, как сделать вакцину абсолютно нового типа. Мы провели огромное количество экспериментов с веществами, усиливающими иммунитет. Поиски велись в разных направлениях, и нам повезло. Рэм Викторович Петров оказался знаком с Виктором Александровичем Кабановым, химиком-полимерщиком.

— Выдающимся химиком и прекрасным человеком! Я имел счастье знать его.

— Мы гордимся, что знали его и работали вместе. Благодаря Виктору Александровичу я познакомился с основами химии и понял, насколько это многообразная и удивительно интересная наука. Он захватывающе рассказывал о химии, увлекал ею. Мы начали встречаться втроем — Кабанов, Петров и я, размышляли, как использовать те молекулы, которые Кабанов синтезировал

у себя на кафедре. Это самые разные полимерные соединения. Размышляли, какой именно полимер надо сделать, чтобы использовать его для вакцины. И вновь опыты, эксперименты, поиски. Мы нашли в его лаборатории стимуляторы, которые усиливали иммунитет. И самое главное: Кабанов мог взять белок от вируса гриппа, любого другого вируса или бактерии и химически соединить с нужным полимером. Получалась некая структура с необходимыми заданными свойствами. Раньше было так: вакцина — это белок, смешанный со стимулятором. В мире не было ни единой вакцины, в которой стимулятор был бы химически встроен в молекулу, образующую новую конструкцию.

— **Что-то техническое слышится в вашем рассказе.**

— Так и есть. Говорю несколько упрощенно, но суть в том, что мы занимались именно конструированием вакцины. Как только были получены первые экспериментальные данные, они были достойно оценены научной общественностью. Статьи публиковались в лучших журналах, коллеги начали ссылаться на наши исследования, мы выступали на конференциях и симпозиумах. И...

— **...возникла оппозиция, которая придерживалась мнения, что этого не может быть, потому что не может быть никогда?**

— Приблизительно так. Дело в том, что обычно сначала получают вещество, а затем ведут его исследования. Так было принято всегда. Мы пошли от обратного: конструируем вещество, предварительно проведя все фундаментальные исследования. Мы знали все о механизме действия вещества, о том, почему идет мощный иммунный ответ, как работают клетки, что делают клетки-киллеры и как они появляются.

— **То есть вы шли в мир вакцин осмысленно, не наугад?**

— Конечно. Но надо было сделать вакцину, которую можно ввести человеку. А для этого необходимы клинические испытания. Однако существовало одно препятствие, и весьма существенное. В лаборатории Кабанова делались полимеры, которые использовались в технике, промышленности. В частности, он создал полимеры для фиксации почв и пыли.

— **Они широко применялись во время чернобыльской аварии.**

— Эти полимеры он синтезировал быстро, и они были весьма эффективны. Однако они токсичны, не распадаются, и нужно было доказать, что наши полимеры обладают совсем иными свойствами. Они безвредны для человека и распадаются в организме. К тому времени уже образовался Институт иммунологии, и у нас появились иные возможности, т.е. можно было вести масштабные исследования. Рэм Викторович был директором института, а я его первым заместителем. Главная наша задача состояла в том, чтобы сделать вакцину абсолютно безвредной. Как известно, любое лекарство обладает побочными действиями...

— **Вы замахнулись на святая святых фармацевтики: сделать так, как они считали невозможным?**

— Надо было создать полимер, который полностью бы разлагался в организме и выводился из него. Кабанов и его ученик профессор Аркадий Васильевич Некрасов придумали еще один полимер, впитавший все лучшие качества полимеров, с которыми экспериментировали Кабанов и мы. Это был совершенно нетоксичный препарат. Более того, он оказался детоксикантом. Его можно было применять для снятия токсичности.

— **Образно говоря, вы превратили неживую материю в живую?**

— Да, вы вводите его в организм, и он может распадаться через час, через сутки, через неделю, т.е. тогда, когда вам это нужно. Это лекарство, которое мы называем иммуностимулятором. Оно применяется при многих заболеваниях, когда имеются слабости иммунной системы. Популярный препарат. На основе этого полимера мы и сделали вакцину «Гриппол». Проверили ее на безопасность, а потом прошли масштабные клинические исследования. Сначала в отдельных больницах, а потом в те времена можно было договариваться с Министерством обороны, и мы этим воспользовались. Испытания прошли в воинских частях. Результаты были блестящими. Испытания показали, что вакцина очень эффективна, надежно защищает от гриппа — лучшая из всех существующих.

— **И тогда началась атака на вас?**

— Да буквально травля! Говорили, что вакцина плохая, вредная и внедрять ее нельзя.

— **Я разбирался тогда в этой ситуации — это были заказные материалы, кстади, их хорошо оплачивали западные фармацевтические компании, и мы в «Правде» тогда активно поддержали вас.**

— В мире лекарственных препаратов идет жесткая конкуренция, слишком большие деньги там вращаются. Но наш «Гриппол» выдержал, хотя множество комиссий проверяли его. В конце концов было признано, что это одна из лучших вакцин в мире.

— **Вы не только академик РАН, но и были академиком медицины. Как и Рэм Петров. Почему же было такое недоверие?**

— Многие наши и зарубежные кампании делают вакцины. «Гриппол» — серьезный конкурент, и это все понимали.

Слово о биобезопасности

Высокий уровень развития фундаментальной иммунологии и прикладных иммунологических исследований индуцировал в последние годы формирование ряда отечественных приоритетных направлений в создании принципиально новых подходов к конструированию методами иммунной нано- и биотехнологии эффективно действующих лекарственных и профилактических средств, значимых для проблемы биомедицинской безопасности населения страны. Один из них связан с разработкой приемов создания конъюгированных полимерсубъединичных нановакцин против социально значимых инфекций. Примеры — противогриппозная вакцина «Гриппол» и вакцина против ВИЧ/СПИДа «ВИЧРЕПОЛ».

— **Знаю, что вы были «рабочей лошадкой», которую «прикрывал» Петров.**

— У нас был коллектив, клиника. Это очень хорошая база. В нашей клинике не только лечат людей, но и испытывают новые препараты.

— **Сейчас у вас много наработок по новым вакцинам?**

— У нас большая программа «Вакцины нового поколения», по которой мы много сделали. Например, вакцину против СПИДа. Правда, это еще кандидат в лекарства, но эксперименты продолжаются. Я упомянул об этой вакцине, т.к. убежден, что мы добьемся успеха: экспериментальные данные обнадеживающие. Сделаны вакцины против дифтерии, брюшного тифа и др. Но, повторяю, «Грипполом» мы гордимся в первую очередь, ведь эта вакцина разрешена и для детей, и для людей пожилого возраста. У этих групп населения иммунная система слабая. У первых она еще не созрела, а у вторых она постепенно угасает. Для детей и пожилых наша вакцина оказалась крайне эффективной.

— **То есть вы работаете в самых сложных областях здравоохранения, там, где нужно сохранить жизнь, и там, где ее хорошо бы продлить?**

— Это верное замечание. Есть очень тяжелые больные, у которых дефицит иммунитета. Они рождаются с генетическими дефектами. Им вакцина тоже помогает. Облучение, ожоги, стрессы, опухоли, врожденные поражения и т.д. — множество больных, у которых подавлен иммунитет. Они нуждаются в вакцине, и они ее получают. Разве этим можно не гордиться? Мы продолжаем работать в этой области. На подходе новые вакцины, в частности против гепатита С, который не менее опасен, чем СПИД. К сожалению, многие формы гепатита С не поддаются лечению, а больных — миллионы. Эта болезнь наступает, и мы делаем все, чтобы остановить и победить ее.

— **Давайте вернемся в прошлое. Небольшая группа ученых в Институте биофизики распахнула дверь в новый мир, который именуется «иммунология». Ведь так это было?**

— Хорошо сказано: закрытая дверь. Иногда употребляют сравнение «черный ящик», но «закрытая дверь» лучше, точнее. Мы знали, что на входе и что на выходе, но о происходящем внутри — в той самой «темной комнате» — мы не знали. И это были, наверное, самые интересные годы в моей жизни.

— **А если точнее?**

— Семидесятые. Мы знали, что на защите организма стоят клетки, белки, которые нейтрализуют вирусы, а как они образуются, не знали. Были первые исследования у нас и за рубежом, которые позволили «увидеть» механизмы взаимодействия внутри клеток и их между собой, образование антител и клеток-киллеров. Оказалось, что это колоссально сложный оркестр, огромное количество самых разнообразных клеток играют в нем свои партии, и все это регулируется чрезвычайно тонко, как будто у главного дирижера есть несколько первых скрипок и у каждой из них своя роль. Игра оркестра строго контролируется, малейший сбой сразу ликвидируется —

вступает в дело иммунная система. Сотни вариантов клеток, не говоря уже о миллионах молекул, вырабатывающих антитела, участвуют в игре иммунологического оркестра. Как же трудно это представить, а тем более познать! И как это интересно.

— **В одной из ваших монографий есть сравнение иммунной системы с государством. Ею так же трудно управлять?**

— Да, у системы есть своя периферия, отдаленные районы, министерства, ведомства, отделы и департаменты — в общем, все структуры, которые присущи государству.

— **Но сравнение с оркестром мне нравится больше.**

— Мне тоже. В общем, если система иммунитета работает четко и слаженно, то человек не заболевает, а если такое и случится, то он быстро справится с недугом.

— **Значит, вы не только записываете ту музыку, что играет оркестр, но и пишете для него свою?**

— Мы научились определять, где происходит сбой, какая из структур «фальшивит». У нас в институте прекрасное оборудование, хорошие приборы, которые автоматически исследуют клеточные структуры — определяют, где они избыточны, а где нужных клеток недостаточно. Мы смотрим, как меняются функции клеток, какие молекулы они вырабатывают. Эти данные используются как для диагностики, так и для лечения.

— **То есть можно говорить в переходе на принципиально новый уровень лечения больных?**

— Безусловно.

— **В таком случае перенесемся в Самарканд. Удивительно красивый город, в котором вы родились...**

— ...и который я очень люблю.

— **Итак, в 1967 г. вы окончили медицинский институт. Как же вы попали в Институт биофизики, который находится в Москве и который в те годы был очень секретным заведением?**

— В институте уже на втором курсе я начал заниматься научной работой. Изучал влияние радиации на регенерацию тканей. При кафедре хирургии был кружок, в котором рассматривались разного рода радиационные поражения. Мне досталась тема, связанная с облучением. На улице Ленина — наш «Бродвей» в Самарканде, где мы гуляли и встречались, — был книжный магазин. Захожу, вижу книжку «Иммунология острого лучевого поражения». Купил. Автор — Рэм Викторович Петров. Я много читал. И, быть может, были книги, которые были актуальнее, важнее и нужнее, но эта поразила меня — простотой и глубиной, увлеченностью и новизной, прекрасным языком.

— **Еще бы: автор ее — не только будущий академик, но и член Союза писателей СССР.**

— Это была первая его книга, он вложил в нее сердце и душу.

— **Как и во все следующие.**

— Безусловно. Книга меня потрясла, я прочитал ее от корки до корки несколько раз. Я влюбился в иммунологию, заболел ею. Решил, что после окончания вуза поеду в Москву, найду автора книги и буду работать

у него. Тем не менее работу в кружке продолжал, изучал радиационные поражения. Однако после шестого курса отпросился у родителей и поехал в Москву. Отец и мать — медики, а потому прекрасно меня понимали. Никого знакомых в Москве не было, мотался по общежитиям, бывал в разных институтах. Однако цель была четкой: найти Петрова и попасть в его лабораторию. В конце концов так и случилось. Если чего-то очень хочется добиться, то надо быть настойчивым — и тогда победишь. Сначала я попал в лабораторию микробиологии. Но там уровень был приблизительно такой же,

— Цветок иммунологии?

— Именно. Ребята смотрят на них равнодушно, а меня трясет от волнения — это ведь не просто мыши, а знак того, что рядом идет большая наука. Это генетически чистые животные, у них по одной линии все гены одинаковые, и на этих мышах можно ставить разные эксперименты — пересаживать клетки, кожу, что угодно. В один прекрасный момент я набрался храбрости и пришел к Петрову. Сказал, что хочу работать у него. Мне было 24 года. Потом он вспоминал, что к нему пришел парнишка без телефонных звонков и рекомендаций, попро-



как в Самарканде. Мне было неинтересно. И здесь мне «повезло» — я сломал ногу, и пришлось ехать в Самарканд. Там достал из архива свою работу, которую делал в кружке. Привел все в порядок. Пока нога заживала, защитил диссертацию. Вернулся в Москву уже кандидатом наук. Кстати, диссертацию я защитил всего через шесть месяцев после окончания института. Это в назидание молодым: очень важно начинать заниматься наукой еще на студенческой скамье. Итак, я в Москве, вновь в институте. Ребята стоят в коридоре, курят. Мимо несут клетки с мышами. Вижу: это не простые мыши, не белые обычные, а черные, серые, рыжие, желтые.

сился на работу. Петров подумал, как от него избавиться, т.к. мест не было. Но парнишка был так настойчив, что Петров сдался. Отвел его в маленькую шестиметровую комнату, где стояли микроскоп и необходимое оборудование, и сказал, что привез из Англии особых мышей — носителей генетических маркеров. Работу с ними никто не может наладить в лаборатории уже три месяца. Попробуйте, сказал он, получится — возьмем на работу, нет — извините. И опять помог кружок в институте. Там я научился все делать своими руками. Я понял, почему в лаборатории ничего не получалось: здесь работали иммунологи, в отличие от меня морфологией они

не занимались. Не через три месяца, а через три недели я все наладил, сделал сотни фотографий. Самые удачные съемки я сделал ночью, прыгал от радости до потолка. Хотел даже позвонить Петрову, еле-еле дождался утра. Показываю пленку, но никто не верит — ни Петров, ни сотрудники. И тогда решили еще раз меня проверить: дадим ему закодированных мышей с метками — у одних есть, у других нет, у некоторых две метки и т.д. Я подумал, что дадут пять-шесть штук и я быстро с ними разберусь. А мне приносят 30 мышей. Каждую нужно облупить, пересадить клетки костного мозга, посмотреть клетки разных органов и везде поискать клетки с метками — сколько их, какова пропорция и т.д. В общем, работа грандиозная и каторжная. Две недели у меня ушло на эти исследования, я все сделал. Принес результаты. Собирается вся лаборатория. Торжественно открывается сейф, из него достается коробочка, в которой находятся коды. Я думаю, хорошо бы получилось процентов девяносто — это достаточно высокая степень точности. Тишина. Результат: 100%! И Петров сразу сказал: теперь ты у нас работай и учи сотрудников. Вот и учу до нынешнего дня. Кстати, в 28 лет я был уже доктором медицинских наук — самым молодым доктором в Советском Союзе.

— Во время присуждения премии Ленинского комсомола, а я входил в комитет по премиям, этот факт упоминался, и он сыграл определенную роль в том, что выбор пал на вас. Хотя, конечно, главными были качество и новизна исследований. У академика Петрова много учеников. Какое главное качество у него как наставника?

— Умение вызывать интерес к работе. Он никогда никого не заставлял, не принуждал. Понимал, что надо заинтересовать человека, и тогда тот придет к успеху. Для меня лучшие годы в науке, а значит и в жизни — те, что я провел в лаборатории Петрова в Институте биофизики. Был полностью занят научной работой, ничем другим не занимался. И наша наука стремительно развивалась. Там было всего 15 человек, а после создания института в моей лаборатории уже стало 40. Это были молодые люди, и я перенял у Петрова систему работы с ними — никогда не жалеть времени и сил для них. Это окупается с лихвой.

— С годами интерес не снизился?

— А разве есть что-то увлекательнее, чем наука? У нас есть «Семинар директора» — творческая встреча у меня

Слово о биобезопасности

Другое направление характеризуется разработкой аллерготропинов — препаратов для лечения аллергий на основе очищенного и химически модифицированного аллергена, конъюгированного с синтетическим полиэлектролитом стимулирующего действия. Испытания аллерготропинов «Тимпол» на больных аллергией к пыльце тимopheевки, «Подпол» на больных аллергией к пыльце полыни, «Берпол» на больных аллергией к пыльце березы показали хорошие результаты. Совершенно очевидно, что разработанные приемы создания аллерготропинов могут использоваться для получения специфически разных аллерготропинов.

в кабинете. Каждый вторник мы собираемся здесь, приходят все, кому это интересно, никого специально не приглашаем, не обязываем — просто встречаемся. Вывешивается информация: семинар у директора, посвященный такой-то теме. Делается научный доклад, научные сотрудники рассказывают о полученных результатах, происходит обсуждение. Зал всегда полон, потому что такая форма дискуссии нравится всем.

— А у вас уезжают за границу?

— В 1990-е гг. уехали многие молодые. Но все доктора наук остались, а это основной костяк института.

— Встречаете своих за рубежом?

— Случается. Да и постоянные контакты с ними, с некоторыми работаем вместе. Связи не прерываются. Некоторые приезжают, чтобы поработать здесь, потом уезжают назад. Наши сотрудники стажировались в лучших научных центрах мира. Идет нормальный процесс международного обмена, который присущ мировой науке. И мы не выпадаем из него.

— Теперь пора поговорить о «блате в науке». Именно так в последнее время в узких кругах говорят о событиях в вашем институте. Говорят, директор по благу «проталкивает» своего сына на свое место.

— Такие разговоры меня не удивляют, но я предпочитаю не эмоции, а дело. Это мой принцип, поэтому я рекомендовал коллективу избрать директором вместо меня моего сына.

— В таком случае я прошу оценить его как ученого, как доктора наук, на некоторое время избавившись от «родительской составляющей».

— Когда готовили справку о нем, я обратил внимание, что стаж работы у него 20 лет. Откуда, ведь ему только 35? Посмотрел документы. Оказалось, что в институте он начал работать, еще будучи школьником. Устроился здесь лаборантом. Потом под влиянием сотрудников и моим поступил во Второй медицинский институт. Учился там и продолжал работать у нас, ставил эксперименты. После окончания вуза к нам пришел уже младшим научным сотрудником. И через полтора года защитил кандидатскую диссертацию. Он свободно владеет английским. Подал на конкурс в Европейскую академию аллергологии и клинической иммунологии. Выиграл грант. Это была двухлетняя стажировка в Англии. Уехал в Лондон. Я решил, что навсегда. Он проработал там два года и вернулся. Сказал, что там хорошо, интересно, что он многому научился, но здесь лучше, и потому он будет работать здесь. Мы дали ему лабораторию, поскольку он действительно многому научился в Лондоне и теперь мог реализовывать свои идеи и модели. Защитил докторскую. Подготовил ряд учеников. Получил звание профессора. И когда мне исполнилось 70, я предложил коллективу избрать нового директора — моего сына. А разве династия в науке — это плохо?

— Напротив. Я знаю немало династий в науке и могу сказать о них только хорошее.

— Мой отец медик, мать — медик, многие в моей семье стали и были врачами. Да, исподволь я готовил сына в руководство, требовал, чтобы он занимался не только

научной работой, но и общественной. Он выбран в ряд отечественных и европейских организаций, связанных с иммунологией. Главное — коллектив поддержал его кандидатуру единогласно. Люди ведь прекрасно знают, достоин человек ими руководить или нет. Честно говоря, я очень горжусь, что так случилось и что у меня есть достойная смена, а я остаюсь научным руководителем Института иммунологии. Надеюсь, что вернусь в то славное время, когда чистая наука для меня была всем. Я надеюсь сделать еще многое, у меня есть ряд проектов по новым вакцинам и лекарствам, и на это потребуются не один год интенсивной работы.

— **Подведем некий итог. Вы пришли в иммунологию в 1960-е гг., тогда все только по-настоящему начиналось. Прошло полвека. Казалось бы, многое познано, изучено. Вам сейчас труднее или легче, чем тогда?**

— Раньше, в советское время, мы получали деньги сверху. Если наши проекты были успешными, если нас понимали в правительстве — а нас понимали, — то все шло гладко, надежно и уверенно. Особо о финансировании мы не заботились. Потом пришли 1990-е — страшные годы. Надо было выживать, и на науку времени почти не оставалось. Думали круглые сутки о деньгах, чтобы была зарплата, чтобы оплатить коммунальные расходы, как привезти и оплатить реактивы и т.д. Я всеми способами выбивал деньги в ведомствах и министерствах. Сейчас ситуация изменилась, появилась грантовая система. Наш институт имеет статус федерального государственного бюджетного учреждения науки, следовательно, базовое финансирование у нас стабильное. Мы автоматически получаем деньги на минимальную зарплату и коммунальные расходы, а остальное зарабатываем. Есть лаборатории, которые работают очень успешно. Кстати, Муса Хаитов — чемпион по грантам, у него их больше всего. Итак, если человек творческий, работает лучше других, то для него ситуация гораздо лучше, чем в прошлом. Он может заработать большие деньги, и это его деньги, которые он тратит на свое подразделение.

— **Думаю, что вам легче, чем другим. Аллергия завоевывает людей, она наступает, а бороться с ней эффективно можете только вы. Значит, и цена иммунологов повышается?**

— Да, это так. Аллергию называют «чумой XXI века». Если в начале прошлого века от аллергии страдал лишь 1% населения, то сейчас цифра увеличилась до 40%. И это в каждой стране. Появилось много новых аллергенов и провоцирующих факторов. Раньше аллергия была только на пыльцу растений, на какие-то компоненты пищи, на некоторые бытовые условия. Сейчас появились новые лекарства, продукты питания, страшно загрязнена окружающая среда, промышленность и химия — все это новые аллергены, а еще больше — провокаторы аллергии. Так что работы нам хватает.

— **Остается пожелать, чтобы ее было поменьше.**

— В свое время медики победили чуму — ужасное заболевание, от которого страдало все человечество. Убежден, что и «чуму XXI века» мы в конце концов победим.

Профессор Муса Хаитов: «ТРУДНО, НО СПРАВИТЬСЯ МОЖНО!»

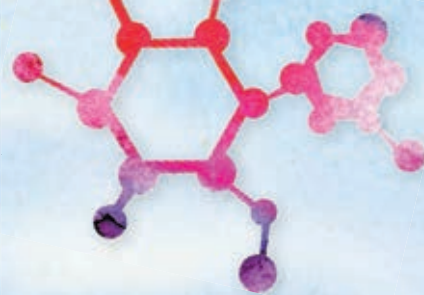


Так случилось, что продолжение разговора об иммунологии произошло буквально через несколько минут. В одной из лабораторий Института иммунологии мы встретились с сыном академика.

Кабинет у Мусы Рахимовича небольшой (я сразу вспомнил шестиметровую комнату его отца в Институте биофизики, с которой начиналось его восхождение в науке). По стенам развешаны дипломы, грамоты, разные свидетельства. Это пришло с Запада: с уважением относитесь к хозяину — он человек заслуженный. Я не стану перечислять все свидетельства научной компетенции хозяина кабинета, обращусь к основным.

— **Есть «старая» иммунология и есть «новая». Вы к какой относитесь?**

— Так делить науку нельзя, или, по крайней мере, сложно. Одно перетекает в другое, и порой невозможно



СПРАВКА

Муса Рахимович Хаитов

✓ Доктор медицинских наук, профессор, возглавляет лабораторию молекулярной иммунологии и руководит отделом нанобиомедицинских технологий в ГНЦ «Институт иммунологии» ФМБА России.

✓ Лауреат золотой медали им. И.М. Сеченова, премии Правительства РФ, победитель конкурса и обладатель премии Алферовского фонда за лучшую научно-исследовательскую работу в области естественных наук.

✓ Автор более 140 публикаций в ведущих научных изданиях и одной монографии.

определить, где «старое» и где «новое». Появляются новые направления, развиваются, другие уходят на второй план — в общем, обычная жизнь науки.

— **В таком случае расскажите нам, дилетантам, что такое иммунология?**

— Определения давать не буду — оно известно, скажу только, что для меня это самая важная наука, которой я занимаюсь большую часть жизни.

— **Как известно, для одних бог, для других природа дали нам жизнь и умение ее защищать от разных напастей. Что ими сделано неправильно? Что вы хотели бы исправить?**

— Поправить, наверное, ничего не хочу, а вот усилить некоторые системы защиты организма от новых вирусов, которые появляются, — безусловно. Да и для некоторых «старых» еще не придуманы эффективные меры противодействия, так что работы много. Например, в последние годы в России ухудшилась эпидемиологическая ситуация, что привело к росту и широкому распространению ряда инфекционных заболеваний. У некоторой части населения проявляется иммунодефицитное состояние. Установлена связь вирусных инфекций и новообразований. Одновременно возникает лекарственная устойчивость у ряда возбудителей болезней, поскольку широко применяются антибактериальные и лекарственные препараты.

— **Чем интенсивней и больше мы лечимся, тем хуже?**

— Возбудители болезней к ним приспособливаются, поэтому в создании лекарств надо переходить на более высокий уровень, а из этого следует, что нужно уходить глубже в мир живого.

— **Как часто возникает новая опасная болезнь?**

— Об этом много пишут в прессе. Практически ежегодно среди людей начинается паника, т.к. медики предупреждают о глобальной пандемии. Наука приобрела умение достаточно быстро реагировать на такие опасности и предупреждать их. Помните наступление птичьего гриппа? Им пугали всех, а сейчас

и не вспоминают. Процесс появления новых вирусов и создание вакцин — динамический. Идет борьба, и пока мы в ней выигрываем.

— **А можно ли немного опередить события, т.е. создавать вакцины, способные бороться с вирусами, которым еще суждено появиться?**

— Это возможно. Мне кажется, такой подход правильный. В нашем институте и создаются подобные препараты, которые позволяют повысить защитные функции организма — в том числе и от тех вирусов, которым еще предстоит проявить свою суть.

— **В вашей монографии написано: «Новые принципы создания и применения лекарств». Что вы имеете в виду?**

— Мы создаем специфическое «оружие», которое может блокировать тот или иной ген, наиболее важный для жизни вируса, и тем самым нейтрализовать его вредное действие. На мой взгляд, это перспективное направление в иммунологии.

— **Весьма популярный пример из инженерной генетики: берете ген, вживляете его в картошку, и колорадский жук от нее бежит со всех своих ног. Вы делаете подобное?**

— Только наоборот. Мы не внедряем ген, а блокируем существующий, тем самым обезвреживая вирус.

— **Но это переход медицины на принципиально новый уровень. К чему же вы хотите прийти?**

— К новым эффективным препаратам, в первую очередь к лекарствам против разных респираторных заболеваний. Кроме хорошо известного гриппа их сейчас насчитывается около 200. Та же самая простуда, которая, как говорится, лекарствами лечится неделю, а без них семь дней, весьма опасна своими последствиями. У многих людей она приводит к тяжелым осложнениям — бронхитам, пневмониям. Все может закончиться даже летальным исходом. Это вирусы, и их много. Они настолько изменчивы, что разработать какой-то общий препарат, который бы их все блокировал, невозможно. Значит, нужен новый подход, необходимы новые направления. Этим мы и занимаемся.

— **И далеко прошли по этому пути?**

— Достаточно далеко. Один препарат находится на стадии доклинических исследований, а второй готовится к ним.

— **Это интересно?**

— Конечно. Изначально мне было важно не только заниматься так называемой чистой наукой, но и обязательно прийти к какому-то результату. И сейчас такая возможность появилась. Это интересно и очень важно.

— **Наука, наука, а теперь еще и директорство — это же безумно тяжело? Но приятно, что все проголосовали единогласно?**

— Приятно, но очень ответственно. У нас в лаборатории — хороший сплав опытных и заслуженных специалистов и молодых. Важно сохранить эту традицию во всем институте.

— **Справитесь в новой должности?**

— Постараюсь. И новые препараты надо делать, и задачи приводить в порядок.

— **Хватит ли мужества войти в кабинет отца или академика Петрова и сказать им, что они не правы, если они, на ваш взгляд, действительно ошибаются?**

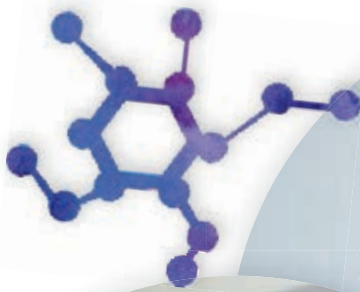
— Это невозможно! Чтобы они ошибались. У нас разногласий нет, решения всегда принимались коллегиально. Так и должно быть в будущем. Школа академика Петрова — это ведь эпоха в истории нашей науки.

— **Спасибо. Теперь за нее я спокоен. Успехов вам!**

Слово о биобезопасности

Третье направление — создание лечебных препаратов на основе антисмысловых технологий с использованием интерференции РНК. Это принципиально новое направление сформировалось на стыке ряда дисциплин — молекулярной генетики, молекулярной биологии и молекулярной иммунологии. На основе разрабатываемой технологии ведется синтез препаратов, обеспечивающих торможение процесса активации генов. Значимость этих разработок для биомедицинской безопасности велика, поскольку позволяет создавать препараты, не обладающие побочным действием, эффективные в терапии не только инфекционных и аллергических болезней, но также в лечении целого ряда других социально значимых заболеваний — нервной и сердечно-сосудистой систем, глаз, злокачественных новообразований, нарушений метаболизма, рассеянного склероза, бронхиальной астмы, ревматоидного артрита и др.

*Подготовил Владимир Губарев
Художница Варвара Гранкова*



Мазен Хейрбек и Рене Хен



БОЛЬШЕ

нейронов,



МЕНЬШЕ

тревоги

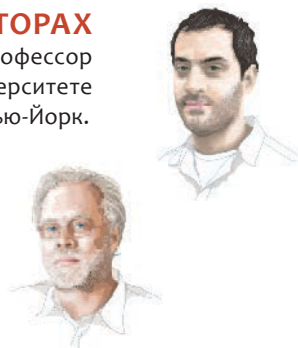
Во взрослом мозге ежедневно возникают новые нейроны, с помощью которых мы отличаем одно воспоминание от другого. Это открытие стало ключом в поисках новых способов лечения тревожных расстройств



ОБ АВТОРАХ

Мазен Хейрбек (Mazen A. Kheirbek) — ассистент-профессор клинической нейробиологии в Колумбийском университете и научный сотрудник Института психиатрии штата Нью-Йорк.

Рене Хен (René Hen) — профессор психиатрии, нейробиологии и фармакологии в Колумбийском университете и директор отделения интегративной нейробиологии психиатрического факультета Института психиатрии штата Нью-Йорк. С тех пор как Хейрбек пришел в докторантуру к Хену в 2009 г., они вместе изучают участие новообразованных нейронов зубчатой фасции в формировании памяти и поддержании эмоционального состояния.



ИИ

а протяжении веков представление о том, что во взрослом мозге нейрогенеза не происходит (новые нервные клетки не появляются), было центральной догмой нейробиологии. Даже заложивший в конце XIX в. ее основы гистолог из Барселоны Сантьяго Рамон-и-Кахаль, проведя десятилетия за скрупулезными наблюдениями и тщательными зарисовками микропрепаратов нервных клеток и их соединений, заключил, что во взрослом мозге «нервные пути фиксированы, окончательны и неизменны, все может погибнуть, но ничто не восстанавливается».

Поэтому, когда в 60-х гг. Джозеф Олтман, работавший в то время в Массачусетском технологическом институте, написал серию статей о возникновении новых нейронов в мозге взрослых морских свинок, его открытие было проигнорировано. В общем, это не вызывает удивления, поскольку, если мыслить логически, то добавление новых нейронов в уже полностью развитый мозг должно стать катастрофой. В конце концов, если мозг хранит информацию в виде специальной сети нервных связей, то случайное добавление новой клетки может парализовать его способность правильно кодировать и извлекать информацию и таким образом исказит воспоминания.

Но логика отступает перед результатами экспериментов, и в 1990-х гг. появилось множество новых данных. При внимательном изучении мозга грызунов, обезьян и даже людей ученые находили доказательства того, что в течение всей жизни новые нейроны продолжают образовываться в двух областях мозга, одна из которых задействована в восприятии запахов, а другая — гиппокамп — участвует в обучении, памяти и эмоциональных реакциях.

Исследователи пытаются понять, каковы функции новорожденных нейронов. Их роль в обонятельной системе пока не ясна, а вот гиппокамп уже начал приоткрывать свои секреты. Во многих исследованиях показано, что

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Чтобы воспоминания не путались, мозг должен кодировать различающиеся особенности событий.
- Этот процесс позволяет нам отличать опасные ситуации от схожих с ними, но не опасных. У людей с нарушениями этой способности повышена склонность к тревожным расстройствам.
- В обсуждаемом нами процессе задействована область мозга, в которой образуются новые нейроны. Новые формирующиеся клетки, по-видимому, критически важны для различения ситуаций.
- Вмешательства, усиливающие появление новых нейронов, могут оказаться подходящим способом регуляции настроения и, возможно, методом лечения таких состояний, как посттравматическое стрессовое расстройство.

молодые клетки могут помогать записывать воспоминания таким образом, чтобы они не сливались одно с другим. Это может открыть новую страницу в лечении различных тревожных расстройств, в том числе посттравматического стрессового расстройства (ПТСР), поскольку у людей, страдающих от таких расстройств, наблюдаются проблемы с различением того, в каких ситуациях есть основания для страха, а в каких нет.

Причуды памяти

По сути, память — это запоминание и воспроизведение информации. Удивительно, как живые и детальные воспоминания могут быть вызваны мимолетным взглядом, запахом или вкусом. Вкус пирожного, смоченного в чае, немедленно переносит героя романного цикла Марселя Пруста «В поисках утраченного времени» в воскресное утро его детства: «И как только я вновь ощутил вкус размоченного в липовом чаю бисквита, которым меня угощала тетя <...>, в то же мгновение старый серый дом фасадом на улицу, куда выходили окна тетиной комнаты, пристроился, как декорация, к флигельку окнами в сад, выстроенному за домом для моих родителей (только этот обломок старины и жил до сих пор в моей памяти). А стало появиться дому <...> — весь Комбре и его окрестности — все, что имеет форму и обладает плотностью — город и сады, — выплыло из чашки чаю» (*По направлению к Свану*», пер. Н.М. Любимова).

Одна из наиболее важных функций гиппокампа — это способность восстановить полное воспоминание по отдельным сенсорным стимулам. Сохранение тех деталей события, которые отличают его от всех остальных, — другая, не менее важная функция этого отдела мозга, которую, по-видимому, и обеспечивают новые нейроны. Благодаря такой способности мы в большинстве случаев можем вспомнить, где припарковали машину сегодня утром, и не искать ее там, где оставляли вчера или на прошлой неделе.

Сохранение деталей чрезвычайно важно не только для организованного хранения воспоминаний, но и для управления поведением человека — например, чтобы направить его туда, где он в последний раз видел автомобиль. При вызывании определенных воспоминаний задействовано поле СА3 гиппокампа, а разделение воспоминаний при хранении обеспечивается зубчатой фасцией.

Поскольку именно в зубчатой фасции появляются новые нейроны, мы стали выяснять, какую роль они играют в разделении воспоминаний. Стволовые клетки, порождающие новые нейроны, размещены в субгранулярной зоне — тонком клеточном слое в этой части гиппокампа. Новорожденные клетки затем мигрируют в остальную часть зубчатой фасции, где встраиваются в уже существующие нейронные цепи. У мышей новые клетки могут составлять до 10% всех клеток зубчатой фасции. Недавно было проведено исследование, в котором с помощью радиоуглеродного метода определили «дни рождения» нейронов. Оказалось, что у человека их выработка продолжается до старости с постоянной скоростью примерно 1,4 тыс. в день.

Мухи отдельно, котлеты отдельно

Чтобы выяснить, задействованы ли новые нейроны в разграничении воспоминаний, мы начали эксперименты на мышах: блокировали возникновение новых нейронов или, наоборот, увеличивали их число, повысив выживаемость клеток. Нашей задачей было понять, влияют ли эти воздействия на способность животных различать похожие ситуации.

Как и многие другие исследователи, мы использовали метод условных рефлексов, разработанный русским физиологом Иваном Петровичем Павловым в начале 1900-х гг. Павлов обнаружил, что сочетание звонка колокольчика с кормлением собаки приводит к формированию ассоциации звука с пищей и животное начинает выделять слюну, когда слышит звонок. За последние 100 лет эту простую форму обучения часто использовали при изучении нейронных механизмов памяти.

В ходе экспериментов мышей обучали, что при попадании в незнакомое место они получают слабый удар током по лапам. После нескольких предъявлений у животного формировался рефлекс, и, попадая в новое место, мышь испуганно замирала в ожидании удара током.

Далее, для того чтобы проверить способность животных различать ситуации, их сажали в разные клетки. «Электрическая камера» была квадратной с серебристыми стенками, синим освещением и отчетливым запахом аниса, другая камера могла иметь тот же цвет и форму, но пахнуть бананом или лимоном. Сначала животные пугались. Но поскольку удара током не было, они вскоре обучались различать эти две ситуации, неподвижно замирали в «электрической камере» и спокойно вели себя в другом похожем месте.

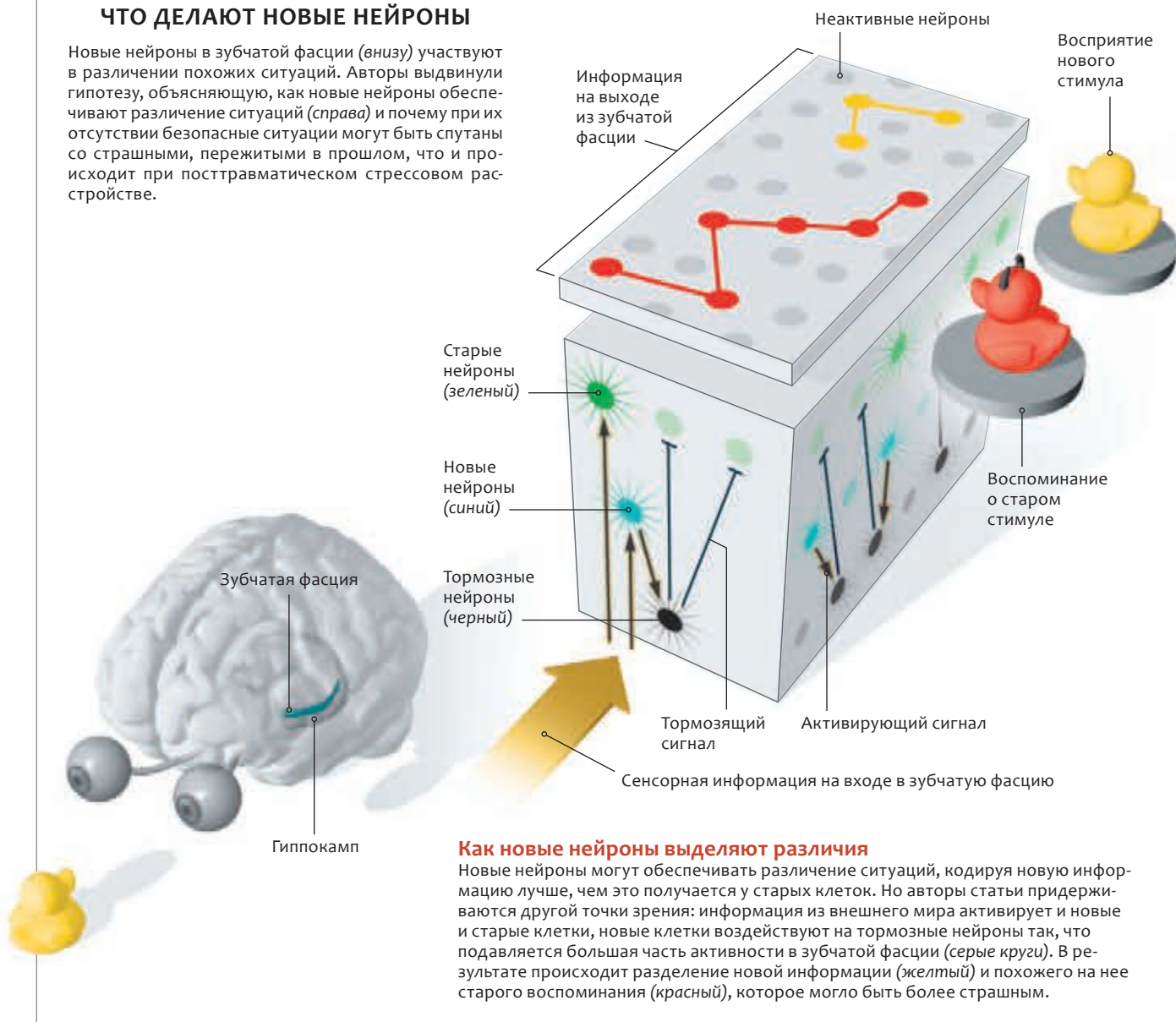
Мы предположили, что если возникновение новых нейронов необходимо для разделения ситуаций, то подавление нейрогенеза в зубчатой фасции ухудшит эту способность. Так оно и получилось. Животные, у которых блокировалась выработка новых нейронов, проявляли страх в обеих ситуациях, несмотря на то что многократно бывали во второй камере и она всегда оставалась безопасной. Не имея возможности дифференцировать ситуации, мыши распространили свой страх на все места, похожие на то, где они получали удар током.

С другой стороны, в эксперименте мы можем увеличить количество новых нейронов в зубчатой фасции у мышей, выключив ген, вызывающий гибель ненужных молодых клеток. Оказалось, что грызуны с более развитой зубчатой фасцией лучше различали неблагоприятное и нейтральное место и быстрее успокаивались в безопасной ситуации. Это значит, что образование новых нейронов действительно важно для способности различать похожие воспоминания.

В других лабораториях были получены схожие результаты. Исследования группы во главе с Фредом Гейджем (Fred H. Gage) из Института биологических исследований Солка, чья работа вызвала взрыв исследований нейрогенеза в 1990-х гг., и Тимоти Басси (Timothy Bussey) из Кембриджского университета показали, что ликвидация новых нейронов в мозге взрослых мышей ухудшает

ЧТО ДЕЛАЮТ НОВЫЕ НЕЙРОНЫ

Новые нейроны в зубчатой фации (внизу) участвуют в различении похожих ситуаций. Авторы выдвинули гипотезу, объясняющую, как новые нейроны обеспечивают различение ситуаций (справа) и почему при их отсутствии безопасные ситуации могут быть спутаны со страшными, пережитыми в прошлом, что и происходит при посттравматическом стрессовом расстройстве.



Как новые нейроны выделяют различия

Новые нейроны могут обеспечивать различение ситуаций, кодируя новую информацию лучше, чем это получается у старых клеток. Но авторы статьи придерживаются другой точки зрения: информация из внешнего мира активирует и новые и старые клетки, новые клетки воздействуют на тормозные нейроны так, что подавляется большая часть активности в зубчатой фации (серые круги). В результате происходит разделение новой информации (желтый) и похожего на нее старого воспоминания (красный), которое могло быть более страшным.

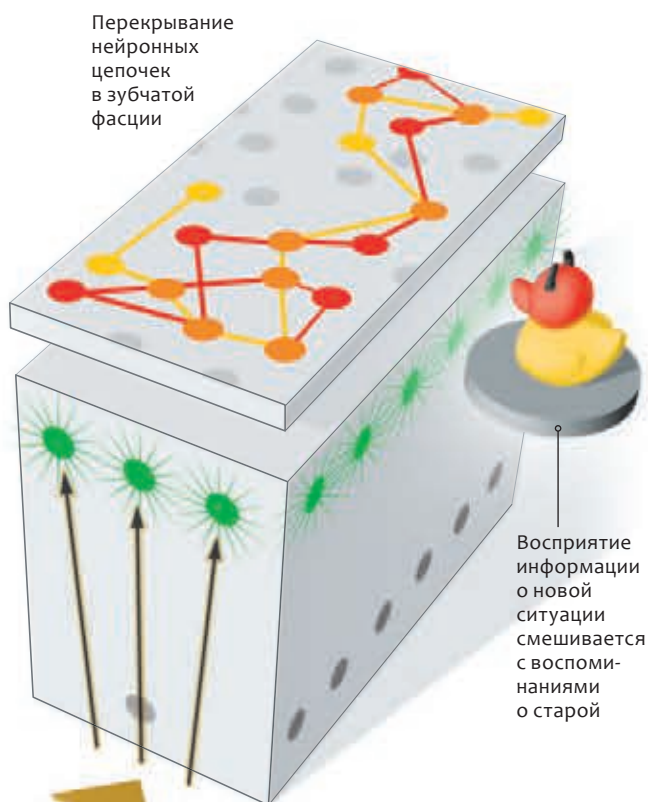
их способность различать близко расположенные объекты, относится ли это к выбору правильного рукава в лабиринте или касания носом правильной картинки на сенсорном экране. Кроме того, в лаборатории Басси в дальнейшем было показано, что усиление нейрогенеза улучшает выполнение задачи с касанием изображения на экране. Судзуми Тонегава (Susumu Tonegawa) из Массачусетского технологического университета вместе со своими коллегами при помощи условнорефлекторного метода, аналогичного тому, который использовали мы, подтвердили, что при отсутствии новых нейронов мыши не способны различать опасную и безопасную ситуации.

Лучше меньше, да лучше

Последствия нарушения или усиления нейрогенеза у людей пока не изучены. Но если появление новых нейронов

в мозге человека важно для различения ситуаций, можно было бы ожидать, что проблемы различения будут связаны с некоторыми нарушениями в зубчатой фации, где образуются нервные клетки. И действительно, такая связь у людей была обнаружена. Регистрируя активность мозга с помощью МРТ, Майкл Ясса (Michael Yassa) из Университета Джонса Хопкинса и Крейг Старк (Craig Stark) из Калифорнийского университета в Ирвайне показали, что у людей с нарушенной способностью различать схожие объекты наблюдается повышенная активность в зубчатой фации.

Хотя на первый взгляд странно, что речь идет о повышении активности, а не о снижении, на самом деле это вполне логично. Если бы каждая ситуация вызывала активацию большого количества нейронов в зубчатой фации, например 95 из 100, то воспоминания сливались бы



Перекрытие нейронных цепочек в зубчатой фассии

Восприятие информации о новой ситуации смешивается с воспоминаниями о старой

Без новых нейронов возникает путаница

Согласно нашей гипотезе, при отсутствии новых нейронов не работает эффект торможения в зубчатой фассии. В этом случае многие клетки активируются и на новые сигналы, и на воспоминания о предыдущем опыте. В результате нейронные представления событий излишне перекрываются, что приводит к неуместному слиянию двух событий.

друг с другом, становились неразличимы. Вместо этого зубчатая фассия подчеркивает различия между событиями за счет избирательной активации отдельных, не пересекающихся групп нейронов. Поэтому если сегодня при парковке автомобиля активировались, например, пять из 100 нейронов, то вчерашние события задействовали другие пять.

Мы предположили, что новые нейроны могут обеспечивать разделение событий за счет управления общей активностью зубчатой фассии. Новые клетки взаимодействуют преимущественно с тормозными нейронами. Когда сигнал приходит на эти клетки, они подавляют активность других нейронов в зубчатой фассии. Такая связь подтверждается исследованиями на мышах, у которых был выключен нейрогенез. У этих грызунов не образуется новых нейронов и наблюдается

спонтанная повышенная активность в зубчатой фассии. Таким образом, подтверждается предположение, что новые клетки нужны для контроля уровня нейронной активности.

Если нейрогенез участвует в разделении событий и у человека, это сможет пролить свет на причины тревожных расстройств, таких как ПТСР. Психологи уже давно подозревали, что чрезмерное обобщение воспоминаний способствует возникновению тревожных расстройств, которые характеризуются сильным, иногда разрушительным страхом при отсутствии в окружающей среде непосредственной угрозы. Такое неадекватное обобщение может быть следствием снижения способности отличить ситуацию, в которой было травмирующее событие, от похожих, но безобидных. Например, когда во время пикника внезапно раздается громкий звук, люди с нормальной способностью различать ситуации вздрогнут от неожиданности, но быстро поймут, что парк — не зона боевых действий, и продолжат еду. Ветеран войны с нарушенной способностью различать ситуации может связать хлопок автомобиля с воспоминаниями о поле боя и в результате испытать полномасштабный приступ паники.

Экспериментальные данные поддерживают предположение о связи между проблемами с различением ситуаций и тревожными расстройствами у людей. Например, Шмуэль Лиссек (Shmuel Lissek) из Миннесотского университета вместе со своими коллегами показал, что люди, страдающие от панических расстройств, имеют склонность пугаться при виде объекта, идентичного тому, который ассоциируется с легким ударом током по запястью.

В пользу идеи, что недостаточный нейрогенез может способствовать возникновению тревожных расстройств, свидетельствуют и результаты исследований антидепрессанта прозака. Этот препарат снижает беспокойство у людей и животных. Получавшие его мыши намного меньше нервничают и смелее ведут себя в новой обстановке. Было обнаружено, что такое действие препарата зависит от образования новых нейронов. В 2003 г. мы опубликовали в *Science* работу, в которой показано, что если заблокировать нейрогенез, то прозак теряет противотревожные свойства. Затем один из авторов статьи (Рене Хен) вместе с коллегами из Колумбийского университета выявил, что для подавления депрессивного поведения с помощью прозака у макак также необходим нейрогенез.

Кроме того, мы начали изучать роль новых нейронов непосредственно у человека. Исследуя мозг умерших людей, мы выяснили, что лечение клинической депрессии антидепрессантами вызывает увеличение числа стволовых клеток, из которых формируются новые нейроны в зубчатой фассии. Но еще предстоит выяснить, действительно ли нейрогенез необходим, чтобы антидепрессанты работали при лечении депрессии и тревожности у людей.

Облегчить страдания

Появляется все больше свидетельств того, что зубчатая фассия и образующиеся там нейроны играют важную роль в различении ситуаций и в способности

антидепрессантов снижать тревожность. Поэтому мы предполагаем, что многим людям, страдающим от депрессии, ПТСР и возрастного снижения когнитивных способностей, может принести пользу вмешательство, направленное на усиление нейрогенеза во взрослом мозге. Один из способов усилить нейрогенез у взрослых животных — это физические упражнения. В конце 1990-х гг. Гейдж показал, что даже доступ к колесу для бега увеличивает число нейронов у взрослых мышей. Однако физическая активность и антидепрессанты типа прозака, вероятно, влияют на поведение и нейронную активность через укрепление и увеличение числа нервных связей.

Более целенаправленное применение методов усиления нейрогенеза применимо и для борьбы с нарушением способности разделять ситуации, которое, как мы считаем, и вызывает панику в некоторых случаях ПТСР и при других тревожных расстройствах. Среди средств, стимулирующих образование новых нейронов в зубчатой фации у взрослых мышей, перспективным кажется P7C3, повышающее выживаемость новообразованных клеток. В совокупности с нашими исследованиями, в которых показано уменьшение тревожности у мышей при снижении смертности новых нейронов, все это позволяет надеяться, что развитие методов фармакологической стимуляции нейрогенеза поможет людям, страдающим от тревожных расстройств.

Хотя Рамон-и-Кахаль не предполагал, что во взрослом мозге могут возникать новые нейроны, он понимал, что это могло бы иметь большой терапевтический потенциал. В 1914 г. в своей книге «Дегенерация и регенерация нервной системы» он писал: «Возможно, в будущем наука отменит это суровое ограничение».

Перевод: М.С. Багоцкая

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Гейдж Ф. Мозг, восстанови себя // ВМН, № 12, 2003.
- Increasing Adult Hippocampal Neurogenesis Is Sufficient to Improve Pattern Separation. A. Sahay, K.N. Scobie, A.S. Hill, C.M. O'Carroll, M.A. Kheirbek, N.S. Burghardt, A.A. Fenton, A. Dranovsky and R. Hen in Nature, Vol. 472, pages 466–470; April 28, 2011.
- Neurogenesis and Generalization: A New Approach to Stratify and Treat Anxiety Disorders. M.A. Kheirbek, K.C. Klemenhagen, A. Sahay and R. Hen in Nature Neuroscience, Vol. 15, pages 1613–1620; December 2012.
- Adult Neurogenesis in the Mammalian Hippocampus: Why the Dentate Gyrus? L.J. Drew, S. Fusi and R. Hen in Learning and Memory, Vol. 20, No. 12, pages 710–729; December 2013.

Журнал «**НАУКА** из первых рук» и его английская версия **SCIENCE First Hand** теперь доступны в электронном виде для **iPad, iPhone** и мобильных устройств на базе **Android**

Выходят:
русская версия – 6 раз в год
английская версия – 3 раза в год
www.sciencefirsthand.ru

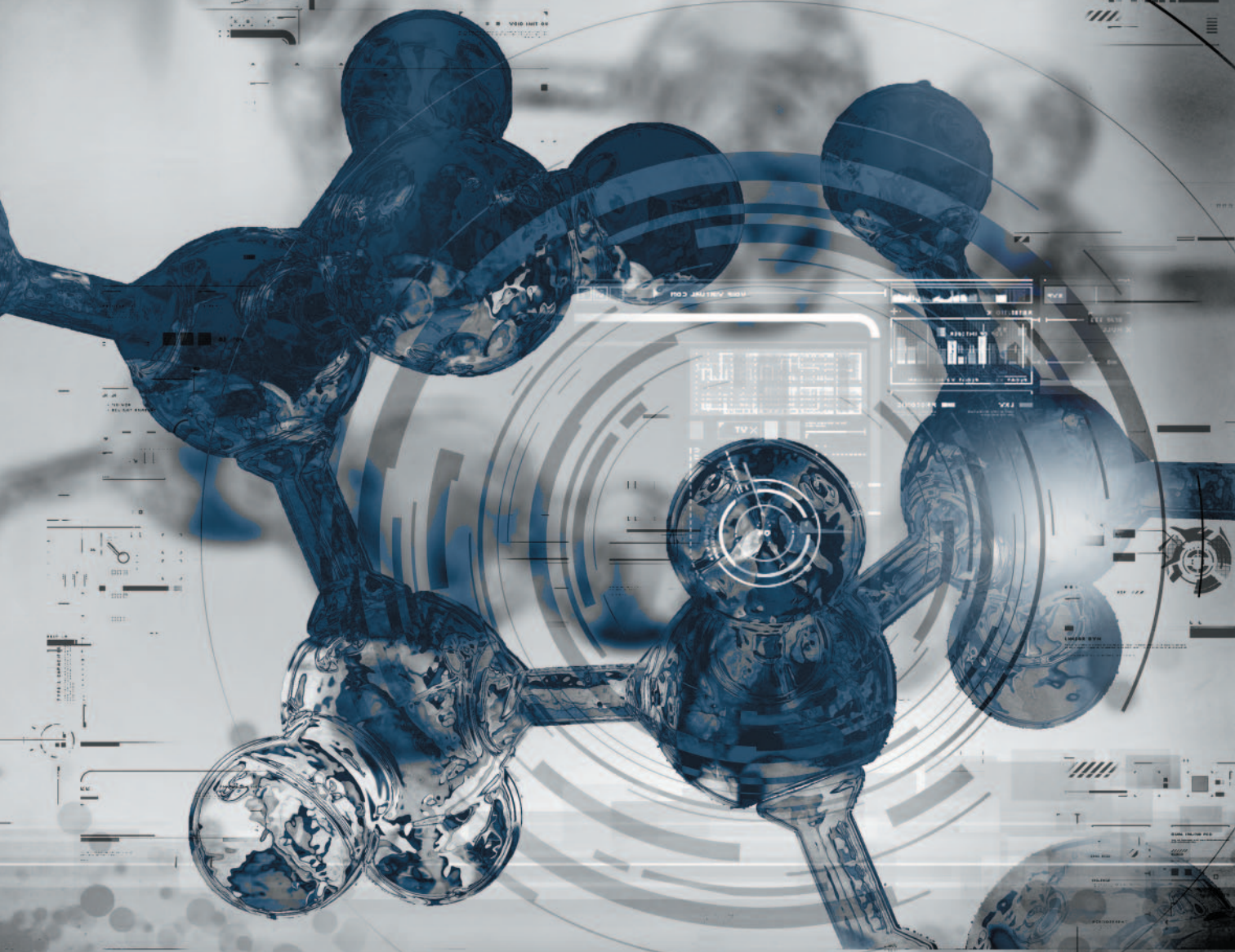
Познавательный журнал для curious людей

Загрузите в App Store

Загрузите на Google play

Приложения Вы можете установить прямо сейчас!

Реклама

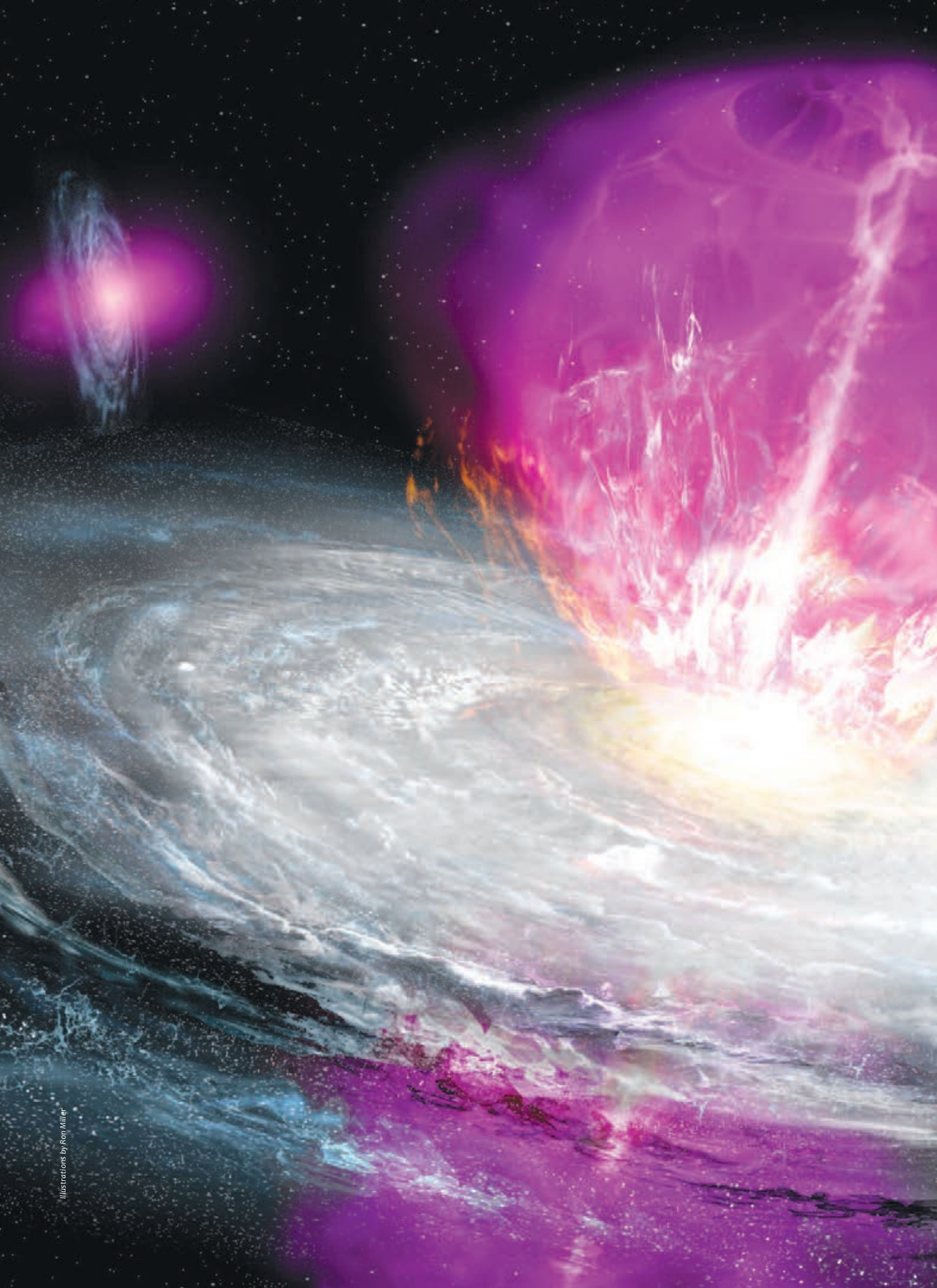


ПРОСТО О
СЛОЖНОМ



2.0

НАУКА 2.0
ТЕЛЕКАНАЛ





Дмитрий Малышев, Мэн Су и Дуглас Финкбейнер

Гигантские пузыри Млечного Пути

На десятки тысяч
световых лет
протянулись
светящиеся лепестки
от плоскости диска
нашей Галактики. Их
обнаружили недавно,
и ученым только
предстоит разгадать
их тайну

ОБ АВТОРАХ

Дмитрий Малышев — постдокторант в Стэнфордском университете и Национальной ускорительной лаборатории SLAC, член группы Космического гамма-телескопа Ферми.

Мэн Су (Meng Su) — постдокторант, участник программ им. Эйнштейна и им. Паппалардо в Массачусетском технологическом университете и в Институте астрофизических и космических исследований им. Кавли при МТИ.

Дуглас Финкбейнер (Douglas Finkbeiner) — профессор астрономии и физики в Гарвардском университете и сотрудник Института теории и вычислений Гарвард-Смитсоновского астрофизического центра.



Вясную ночь, вдали от городских огней, на небе можно увидеть красивейшую кружевную арку, точно сплетенную из мириад звезд, — это вид с ребра диска нашей родной галактики Млечный Путь. С древних времен люди дивились на темные облака, плывущие на молочно-белом фоне, и всего 400 лет назад Галилео Галлей, наведя телескоп на небо, обнаружил, что это молоко — свет бесчисленных звезд.

Устройство нашей Галактики было вновь пересмотрено благодаря использованию телескопа совершенно нового типа. Были открыты колоссальные структуры, возвышающиеся над галактическим центром и простирающиеся в космос на десятки тысяч световых лет. Эти светящиеся лепестки долго оставались незамеченными, потому что оказались видны только в гамма-лучах, для которых земная атмосфера непрозрачна.

Некоторые исследователи называют такие образования пузырями Ферми. Их природа загадочна, но ясно одно: они возникают благодаря бурным процессам в центральных областях нашей Галактики. Сверхмассивная черная дыра в центре Млечного Пути раскручивает горячий газ, в водоворотах которого зарождаются звезды, распускаясь, как нарциссы в плодородном питомнике. Звезды образуются в областях, богатых химическими элементами — этими «кирпичиками» для звезд новых поколений.

Пузыри Ферми были обнаружены почти случайно, но, будучи открытыми, стали предметом тщательных исследований: вполне возможно, что они смогут многое рассказать о рождении и эволюции нашей Галактики.

Нежданное открытие

Первые свидетельства непонимания астрофизиками деталей внутреннего устройства Млечного Пути пришли не с гамма-лучами, а с радиоволнами микроволнового диапазона. Шел 2003 г. — все исследователи космоса были заняты анализом радиоданных по анизотропии реликтового излучения, полученных космическим аппаратом WMAP. Рассматривался и вопрос о вкладе межзвездной пыли в эти радиокарты. Пыль, безусловно, представляет самостоятельный интерес для астрономов, однако в данном случае для исследователей ранней Вселенной эта пыль стала досадным паразитным сигналом, который было необходимо аккуратно задать соответствующей моделью, а затем постараться как можно точнее отделить и вычистить из космологических данных.

Из данных WMAP нужно было удалить не только пыль. Поскольку астрономы вынуждены наблюдать реликтовый фон, находясь внутри богатого своим собственным излучением Млечного Пути, то паразитным сигналом считается также и синхротронное излучение нашей Галактики. В 2003 г. уже существовали довольно эффективные методы по удалению указанных вкладов, однако даже после фильтрации оставался какой-то неутихоженный сигнал.

Источником неизвестного сигнала оказались центральные области Галактики. Одной из возможных его интерпретаций стало наличие в этих областях темной материи. Как известно, сведения о ее составе тоже до сих пор темны — на основе наблюдений установлено только то, что темная материя может взаимодействовать с обычным веществом посредством гравитации.

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Космический гамма-телескоп Ферми обнаружил массивные структуры, которые возвышаются над плоскостью диска нашей Галактики на десятки тысяч световых лет. Эти лепестки, распускающиеся из центра Млечного Пути, были названы пузырями Ферми.
- Астрономам не до конца понятен физический процесс, в результате которого образовались пузыри Ферми, но они полагают, что эти структуры — свидетели недавних бурных процессов, происходивших в нашей Галактике.
- Существуют два основных объяснения пузырей Ферми. Они могут быть раздутыми либо потоками частиц высокой энергии, идущих от центральной черной дыры нашей Галактики, либо ветром от формирующихся сверхновых.

В центре Млечного Пути предполагается избыток частиц темной материи, которые, взаимодействуя между собой, в принципе могли бы аннигилировать, т.е. порождать электроны и позитроны.

Темная материя остается недоступной наблюдениям, поскольку не подвержена электромагнитным взаимодействиям, но порожденные ею частицы (электроны) можно было бы в принципе зарегистрировать, поскольку они двигались бы в сильных магнитных полях по искривленным траекториям, порождая синхротронное излучение. Эти электроны, в свою очередь, могли бы взаимодействовать с окружающими фотонами, ускоряя их до сверхвысоких энергий (так называемое обратное комптоновское рассеяние).

Таким образом, если бы имели место процессы аннигиляции темной материи с рождением высокоэнергетических частиц, то с необходимостью должно было быть зарегистрировано и гамма-излучение, для чего было предложено использовать Космический гамма-телескоп Ферми.

Данные, полученные телескопом Ферми, были выложены в открытый доступ в августе 2009 г. Один из авторов этой статьи, Дуглас Финкбейнер, уже будучи профессором, и его молодой сотрудник Грегори Доблер (Gregory Dobler) начали работу по составлению карты Галактики в гамма-лучах. Ученые обнаружили избыток гамма-излучения в центральных областях Млечного Пути, что, по их утверждению, коррелировало с загадочным неучтенным сигналом в микроволновом излучении (исследователи назвали этот сигнал «микроволновой туман»). По результатам исследований была сразу же опубликована статья, в которой утверждалось, что и избыточное гамма-излучение, и «микроволновый туман» связаны с наличием в центральных областях нашей Галактики популяции электронов высоких энергий, однако об источнике таких электронов речи пока не шло, это оставалось загадкой.

В октябре того же года при подготовке иллюстраций к первой статье, но с учетом обновленных данных телескопа Ферми, авторы обратили внимание на четкие, хотя и слабые границы областей гамма-излучения, где обнаруживался резкий перепад сигнала. В астрономических наблюдениях подобные ступенчатые структуры обычно характеризуют переходные явления. Например, сверхновая порождает ударную волну с резкими границами, которые со временем сглаживаются и исчезают.

Если гамма-излучение было бы вызвано наличием темной материи, то все границы должны были быть давно сглаженными, потому что аннигиляция темной материи должна была идти уже миллиарды лет.

В ранних данных телескопа Ферми границы выглядели такими невнятными, что были интерпретированы как шум. Однако в новых данных такие структуры появились снова, что вызвало пристальное внимание исследователей. Удалось восстановить форму этой границы, и первоначальная интерпретация данных резко изменилась: гипотезу аннигиляции частиц темной материи сменила идея пузырей, которые были названы в честь открывшего их телескопа.

ПОЛЯ, НАПРАВЛЯЕМЫЕ КОСМИЧЕСКИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Стоит только астрономам обнаружить электромагнитное излучение, идущее из межзвездного пространства, они сразу же начинают работать в «обратном направлении», т.е. искать источник такого излучения. Существуют три основных источника электромагнитного излучения в нашей Галактике, и авторы статьи, исследуя пузыри Ферми, сталкивались со всеми.

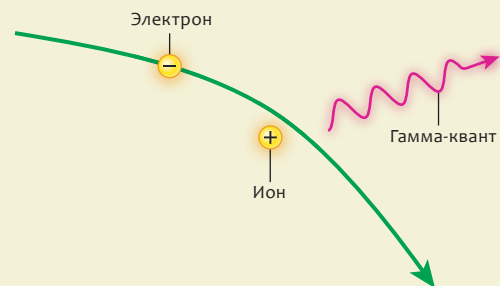
Синхротронное излучение

Когда заряженные частицы (например, электроны) изменяют направление движения, то они испускают излучение. В центральных областях Млечного Пути сильные магнитные поля закручивают электроны по кругу. Эти ускоренные частицы генерируют так называемое синхротронное излучение. Галактическое синхротронное излучение происходит в основном в микроволновом диапазоне.



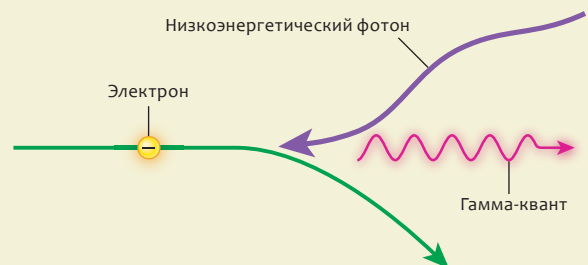
Тормозное излучение

Если обладающий большой энергией электрон проходит рядом с другой заряженной частицей, то электрон в большом количестве случаев будет замедляться, теряя энергию в этом процессе. Потеря энергии выражается в испускании фотона, множество которых и порождают тормозное излучение. В галактике это излучение гамма-диапазона.



Обратное комптоновское рассеяние

Электрон, летящий в Галактике, может столкнуться с фотоном. После такого столкновения фотоны окажутся гораздо более высокоэнергичными, чем до него. Обратное комптоновское рассеяние — один из важнейших механизмов формирования спектров рентгеновского и гамма-излучения объектов в Галактике.



Образование пузырей

Несмотря на то что никто не ожидал увидеть пузыри из частиц сверхвысоких энергий, которые бы простирались на десятки тысяч световых лет над плоскостью Млечного Пути, открытие не оказалось таким уж шокирующим.

Дело в том, что во многих других галактиках имеются пузыри, которые можно наблюдать как в рентгеновских лучах, так и на радиоволнах. Совершенствование гамма-телескопов, вполне возможно, позволит увидеть такие пузыри и в гамма-лучах.

Процессы образования пузырей в других галактиках во многом ясны ученым. В некоторых случаях они обязаны своему происхождению гигантским сверхмассивным (с массами около миллиарда масс Солнца) черным дырам, расположенным в галактических центрах. Галактическое вещество вблизи центра вовлекается во вращение вокруг черной дыры и падает в нее, внешнее напоминая хорошо известную картину водоворота, роль которого в Галактике выполняет, конечно, не вода, а газ и пыль. Последние своим стремительным вращением

создают сильные магнитные поля, которые в свою очередь порождают струи — выбросы излучения и космических частиц, расширяющих пузыри.

Ученым известно, что Млечный Путь также содержит сверхмассивную черную дыру в своем центре. Однако в нашей Галактике никогда не наблюдалось струй интенсивного излучения, идущего из ее ядра перпендикулярно ее плоскости (если подобные выбросы и существуют, то они, к счастью, направлены не в нашу сторону). Таким образом, у нас нет прямых свидетельств того, что именно в результате этого процесса раздуваются пузыри Ферми. Есть косвенный способ обнаружить следы таких струй: большое облако газа — Магелланов поток — находится высоко над галактическим центром. Если поток излучения будет обнаружен там, то это временно сделает электроны свободными в атомах в облаке. Электроны и ионы породят так называемое рекомбинационное излучение.

Именно это и было обнаружено астрономами. Возможно, около миллиона лет назад протекал период бурной аккреции (т.е. падения в результате вращения) вещества на центральную черную дыру нашей Галактики.

Как это работает



ТЕ, КТО НАДУВАЕТ ПУЗЫРИ

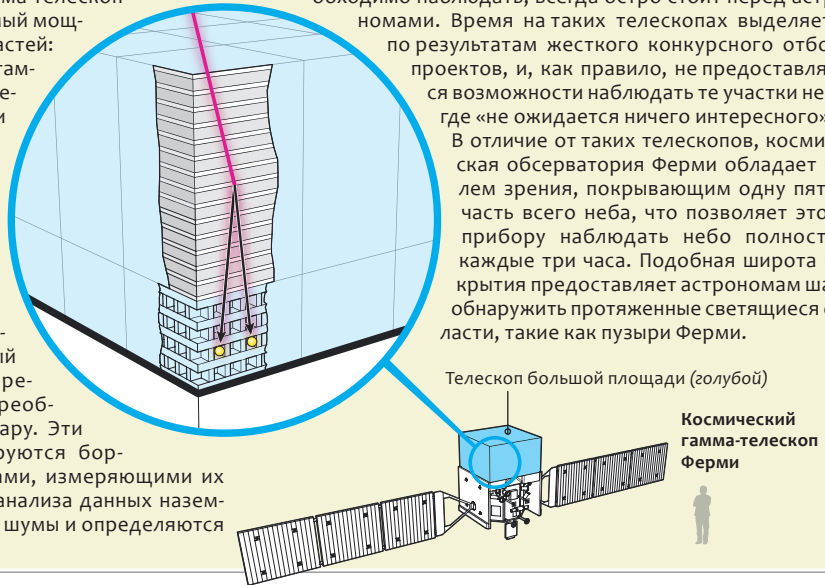
Центр Млечного Пути — это дом сверхмассивной черной дыры с массой в миллионы солнечных масс. В других галактиках похожие черные дыры создают вокруг себя аккреционные диски из газа и пыли, которые нагреваются при их вовлечении в бешеный водоворот вокруг галактического центра. Энергия выбрасывается в виде потоков излучения — струй (джетов) — перпендикулярно плоскости вращения аккрецирующего вещества. Эти струи и могут надувать пузыри Ферми. Однако в нашей Галактике астрономы не обнаружили таких сильных потоков излучения.

Телескоп Ферми

ГАММА-ГЛАЗ

Атмосфера Земли не пропускает гамма-излучение, которое обладает энергиями, в миллиарды раз превосходящими энергии видимого света. Единственный способ непосредственно зарегистрировать гамма-излучение — вынести приборы за пределы атмосферы. Космический гамма-телескоп Ферми на сегодняшний момент — самый мощный. Он состоит из двух основных частей: устройства слежения за всплесками гамма-излучения в режиме реального времени и Телескопа большой площади (LAT — Large Area Telescope) — наиболее чувствительного к гамма-излучению прибора высокого разрешения. LAT коренным образом отличается от любых оптических телескопов. У него нет зеркал, линз, фокальной плоскости. Работа этого телескопа больше напоминает принцип действия экспериментальной установки для задач физики частиц. Каждый входящий в прибор гамма-квант в результате столкновения с атомами преобразуется в электрон-позитронную пару. Эти частицы в свою очередь регистрируются бортовыми детекторами и калориметрами, измеряющими их энергию. В результате дальнейшего анализа данных наземными фильтрами удаляются фоновые шумы и определяются

направления прихода зарегистрированных гамма-квантов и их энергии. Все данные находятся в открытом доступе. Большинство телескопов могут отслеживать только малую часть неба, и вопрос о том, какой именно участок неба необходимо наблюдать, всегда остро стоит перед астрономами. Время на таких телескопах выделяется по результатам жесткого конкурсного отбора проектов, и, как правило, не предоставляется возможности наблюдать те участки неба, где «не ожидается ничего интересного». В отличие от таких телескопов, космическая обсерватория Ферми обладает полем зрения, покрывающим одну пятую часть всего неба, что позволяет этому прибору наблюдать небо полностью каждые три часа. Подобная широта покрытия предоставляет астрономам шанс обнаружить протяженные светящиеся области, такие как пузыри Ферми.



Аккреция и породила выбросы высокоэнергетического излучения и ультрафиолетовое излучение, которые «выбивали» электроны в Магеллановом потоке. Такие процессы также могли послужить основой для формирования пузырей Ферми.

Кроме того, галактики, подобные нашей соседке M42, имеют пузыри — побочные продукты интенсивного звездообразования в их галактических центрах. В звездной колыбели рождаются звезды самых разных размеров. Чем массивнее звезда, тем быстрее она сжигает свое ядерное топливо. Когда топливо исчерпывается, звезда коллапсирует (т.е. сжимается) и выбрасывает огромное количество энергии, срывающей внешние слои звезды в результате взрыва сверхновой, оставляя позади, в своих недрах нейтронную звезду или черную дыру. Сверхновые и создают «ветер» из частиц, который может «раздувать» пузыри вокруг галактического центра.

Известно, что в центральных областях Млечного Пути тоже происходило интенсивное звездообразование. Нескольким тысячам звезд вокруг центральной черной дыры всего около 6 млн лет — они еще младенцы в масштабах космического времени. Однако если бы среди них оказались очень массивные звезды, то 6 млн лет хватило бы для их эволюции и становления сверхновыми. Эти сверхновые могли бы управлять струями горячего газа из галактического центра, достаточно мощными для раздувания пузырей.

Следующие шаги

История пузырей Ферми оказалась тесно связанной с историей и эволюцией Млечного Пути. Пузыри смогли бы прояснить, как происходит аккреция вещества

на центральную черную дыру и как космические лучи высоких энергий взаимодействуют с межзвездным газом. Несмотря на то что такие структуры, как пузыри Ферми, существуют и в других галактиках, их изучение в нашей Галактике может и должно быть произведено гораздо более детально.

Для того чтобы извлечь из пузырей Ферми максимальную информацию, их изучают на всем спектре электромагнитных волн. Одна из самых удивительных их особенностей — то, что наиболее четко они видны в гамма-лучах и практически не заметны на других частотах. Есть надежда, что последние данные космического аппарата «Планк» по исследованию микроволнового излучения со всего неба предоставят новую недостающую информацию.

Возможно, полезным окажется и выявление структуры пузырей Ферми в рентгеновском диапазоне, однако такие исследования лежат пока за пределами имеющихся технологий. Дело в том, что пузыри — гигантские структуры, возвышающиеся над диском нашей Галактики, а почти все рентгеновские спутники имеют очень узкое поле зрения. Задача сродни попытке получить представление о горном хребте, глядя на него сквозь толстую макаронину. После открытия Галилеем того факта, что Млечный Путь составлен из звезд, понадобилось три столетия, чтобы понять, что наша родная Галактика — всего лишь одна из многих миллиардов галактик, рассеянных во Вселенной. Если повезет, то на разгадку тайны пузырей Ферми астрономы потратят все же немного меньше времени. ■

Перевод: О.С. Сажина





НЕФТЕГАЗА

К
АТОМУ



Н

ефть, газ и атом — три игрока на одном поле энергетики. С одной стороны, их можно и принято рассматривать как конкурентов, с другой — историческая ограниченность нефти и газа в конечном итоге дает возможность доминировать атомному ресурсу. Однако есть и третья сторона, которая большей частью остается скрытой от общественного внимания, — плодотворное сотрудничество атомной и нефтегазовой областей энергетики. Приподнять завесу тайны мы попросили представителей научного блока госкорпорации «Росатом»: академика РАН Валентина Пантелеймоновича Смирнова и руководителя проекта Алексея Руфатовича Мустафинова.

Не атомом единым

В.С.: Совместная работа нефтегазового комплекса и комплекса атомной энергетики во всем его многообразии — явление совершенно естественное. Эта работа приобретает особое значение в связи с ограничениями, возникающими на настоящем этапе, поэтому сегодня мы готовы к тому, чтобы наладить еще более тесные взаимодействия с нефтегазовой отраслью — между «Росатомом» и соответствующими предприятиями этой области.

Основная задача ЗАО «Наука и инновации» состоит в том, чтобы интегрировать разработки в сфере новой техники, в области направлений, специфичных для «Росатома», и управлять ими. Но не менее важно и предоставление наших возможностей нефтегазовому сектору. Сейчас руководством госкорпорации «Росатом» сформулирована задача формирования значительной части доходов атомной отрасли не только от строительства АЭС и продажи электричества, но и от продажи продуктов и технологий, которые возникли в процессе создания атомной энергетики, т.е. мы говорим о неядерном, о неэнергетическом применении технологий, разработанных в атомной промышленности и атомной науке. Наш потенциал использования существующих и создаваемых в настоящее время технологий оказывается достаточно высоким, и сегодня мы расширяем это поле деятельности. Прежде всего, это те возможности, которые мы получили при выполнении крупных проектов. Вы знаете, что атомный проект был комплексным, поэтому за те десятилетия, в течение которых существует эта отрасль, был накоплен значительный опыт в реализации масштабных проектов и в их программном обеспечении. Я думаю, что Алексей Руфатович мог бы сказать о том программном обеспечении, которое сегодня может быть использовано для нефтегазовой промышленности.

А.М.: Что касается программного обеспечения и комплексов в атомной промышленности: они требовались для решения разных задач, связанных с пористыми средами, с вопросами фильтрации. В какой-то момент те, кто формировал эти программные комплексы, поняли, что как в нефтяной, так и в газовой промышленности абсолютно схожие задачи и большая часть из них уже была реализована, в основном западными компаниями. Тем не менее, поскольку глубина проработки, математический аппарат, быстрота решений — все это свойственно атомной индустрии, нефтегазовые концерны заинтересовались такими комплексами, и в конце концов было принято решение о возможной коммерциализации проекта. Сегодня мы готовы формировать программные комплексы для решения технологических и расчетных задач для нефтегазового комплекса, связанных с разработкой любых видов месторождений. Конечно, еще рано говорить о том, что мы можем сразу заместить все те программные комплексы, на которых сегодня работает нефтегазовый сектор, но со временем эта задача абсолютно реальна и достижима.

В.С.: Предположим, появляется новый продукт, который, может быть, до сих пор был не очень известен и понятен для потребителя. И здесь возникает крайне важный вопрос: как обеспечить управление знаниями, которыми располагает отрасль, как обеспечить вовлеченность сотрудников, персонала в поиск нового, в работу над внедрением новаций? Возникает целая система управления знаниями. Я когда-то с юмором относился к этому направлению нашей деятельности, но через некоторое время понял, что это исключительно серьезно. Представьте себе, что вы сидите в обществе, где всем все, так сказать, до лампочки. Можете ли вы в такой ситуации ожидать какой-то эффективности? Можете ли обеспечить соответствующие доходы, соответствующую

продуктивность? Конечно, нет. Но когда вы пытаетесь активизировать персонал, внести в него творческую жизнь и заставить его работать, сделать это не так просто. Я не могу прийти к коллеге и сказать: «Слушай, ты должен прочитать эту статью и что-то извлечь из нее». На самом деле существует наука, как это делать, как использовать административные, моральные и материальные стимулы для того, чтобы достичь определенной эффективности. Мотивации ведь могут быть самыми разными, не обязательно только кулаком или рублем. И «Росатом» богат именно разработкой такой системы. Сейчас нашу систему по управлению знаниями уже начали использовать в ряде отраслей, например в Министерстве образования. В реализации такой системы, как показала международная конференция, которая у нас проходила менее года назад, мы находимся на очень хорошем уровне.



Нефтегазовые новации

Теперь о тех конкретных работах, которые в настоящее время научный блок «Росатома» ведет для нефтегазовой промышленности. Один из основных моментов, конечно, — это контроль и диагностика трубопроводов, и здесь у нас есть большой опыт, потому что и атомная энергетика — это сплошные трубопроводы. Зеленые будут на меня сейчас гневаться, но хочу заметить, что если в нефтяной области разорвется труба и разольется нефть, то ничего критически страшного не произойдет; однако если в аналогичной ситуации произойдет утечка радиоактивного содержимого атомных станций, то очистить территорию в зоне аварии будет намного сложнее. Поэтому у нас развиты такие системы, как, например, «Комплексная акустическая система мониторинга объектов нефтегазовой отрасли», разработанная ФГУП «ГНЦ РФ — ФЭИ», и мы работаем вместе с нефтегазовой промышленностью именно с точки зрения контроля трубопроводов. Надо сказать, что в этом контроле используются и стандартные системы, скажем, акустической диагностики, но есть и те области, которые специфичны для нас: области радиационных технологий, когда вы с помощью рентгеновских или изотопных источников можете контролировать, например, качество шва. Эта область будет развиваться и дальше.

Еще одно интересное направление, которым мы занимаемся (правда, пока в начальной стадии), — использование энергии радиоактивных или рентгеновских излучателей для конверсии веществ. Например, есть рентгеновский квант или частица, которая попадает в тяжелое вещество, и воздействие этой частицы будет приводить к тому, что разрываются молекулы, они становятся меньше. Одно из ярких применений такой возможности разрыва молекулярных связей — лечение раковых опухолей, ядерная медицина, которой мы

занимаемся очень активно — и именно потому, что мы обладаем возможностью создания таких ускорителей частиц. Кроме того, «Росатом» производит различные радиоактивные изотопы. Кстати, эти изотопы используются в том числе для уровнемеров в системах хранения той же нефти или каких-то других жидкостей. Если вы воздействуете таким интенсивным излучением, например, на нефть или на тяжелую нефть, что особенно важно, или на нефтяные остатки, то вы можете создать разрыв длинных молекул, и это приведет к тому, что мазут или гудрон можно превращать в бензин или дизельное топливо. Подобная радиационная технология

Радиоактивные изотопы используются для уровнемеров в системах хранения нефти или каких-то других жидкостей. Воздействие их интенсивного излучения, например, на нефть, тяжелую нефть или нефтяные остатки приводит к разрыву длинных молекул, что позволяет превращать мазут или гудрон в бензин или дизельное топливо. Подобная радиационная технология сейчас ждет своего применения



Валентин Пантелеймонович Смирнов

- ✓ Директор Института ядерного синтеза РНЦ «Курчатовский институт», академик РАН, член Европейской академии наук.
- ✓ Один из пионеров создания современной мощной импульсной техники. Идеолог и руководитель сооружения одного из крупнейших в мире генератора наносекундных импульсов «Ангара-5». Осуществляет научное руководство работами по импульсному термоядерному синтезу на основе Z-пинчей.
- ✓ Член Международного технического комитета ITER. Представитель России в Международном совете по термоядерной энергии МАГАТЭ.
- ✓ Автор и соавтор более 200 научных публикаций и обладатель ряда патентов.
- ✓ Лауреат государственных и правительственных премий СССР и РФ, международных премий.
- ✓ Сфера научных интересов: термоядерная энергетика, электрофизика, физика плазмы.

сейчас ждет своего применения. Есть области, где такое применение может быть вполне экономически оправданным и даст новые качества. Такие работы уже выполнялись, и я персонально в них участвовал. Это очень интересно.

Помимо технического интереса и создания определенных возможностей возникает вопрос в том числе и образовательного плана. Как вы знаете, обществу свойственна радиофобия, боязнь излучения, хотя на самом деле самые серьезные неприятности происходят из-за загрязнения атмосферы и нашего окружения отнюдь не радиоактивным излучением, а химией. Наиболее сложным моментом представляется именно убежденность людей в том, что вся опасность исходит от радиоактивного излучения. Не могу не обратить

внимания на то, что «Росатом» разрабатывает и создает системы, в которых никакого остаточного воздействия таких облученных веществ нет, — они отсутствуют, они чистые.

Другая часть связана с тем, что вы воздействуете этим излучением просто на газ. И, оказывается, здесь работают уже другие системы, другие реакции. Вы разрываете молекулы, а потом они начинают соединяться таким образом, что из малых молекул образуются более длинные. Таким образом, можно ставить вопрос о переводе газа в жидкость. Это важная проблема, особенно если мы вспомним, сколько газа мы сжигаем на нефтяных вышках. Сегодня мы проводим работы по созданию экономически приемлемых устройств для переработки попутных нефтяных газов. Не только мы одни работаем в этом направлении, работают и другие организации, но мы полагаем, что те системы, которые в настоящее время мы разрабатываем в «Росатоме», имеют определенное преимущество. Сегодня мы уже видим, что газовые компании — «Газпром», «Газпром нефть» — проявляют интерес к этим направлениям, и мы начинаем работать совместно.

Далее, с помощью воздействия излучения на смесь различных веществ вы можете получать новые образования. Например, говорят, что при преобразовании газа в жидкость можно получать такие вещества, которые практически отсутствуют в природе, но их потребительская ценность исключительно высока. Если говорить конкретно, то это вещества, которые, будучи обработаны излучением, хорошо пристаю к поверхности и меняют ее свойства. Например, один из наших институтов разработал такие радиационно-модифицированные полимеры, которые можно наносить на поверхность свинчиваемых труб. Опыт показал, что тогда количество свинчиваний, которое допускает то или иное соединение, увеличивается в несколько раз. Если говорить о бытовом применении, то, например, покрытие автомобиля таким веществом не меняет его цвета, но зато грязь практически не пристает к нему, т.е. мы можем говорить о направленном синтезе веществ.

Радиационные методы у нас развиваются, и у них, безусловно, большое будущее. Мы находимся в тесном контакте с академией наук, с Институтом физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН и с другими организациями. Я сам член академии, поэтому понимаю: для того чтобы мы достигали каких-то прорывных результатов, которые давали бы новые качества и не были бы связаны с покупкой технологий, «Росатому» нужно работать в непосредственном взаимодействии с представителями фундаментальной и прикладной науки РАН и других корпораций и российских компаний. На этом пути, конечно, есть трудности по охране интеллектуальной собственности, но для нашего направления, для блока управления инновациями, для гражданской и ядерной науки «Росатома» характерно очень аккуратное соблюдение авторских прав. Свои не отдаем и чужие не крадем. И это дает крайне интересные результаты.

Лазеры и нанотехнологии

В «Росатоме» и академии наук развивалась область лазерной физики и лазерных установок. Это интересная физика, фундаментальные задачи и множество прикладных вопросов, связанных, в частности, с обороной. Известно, что существует лазерное оружие, которое тоже нужно развивать. Это так называемое оружие направленного действия на новых физических принципах.

Из всего этого появляются интересные предложения для нефтегазовой промышленности. Известны проблемы, когда горят газовые или нефтяные скважины. В свое время на Южном Урале полгода горела нефтяная скважина. Каждый сутки сгорало \$70 тыс. Подойти невозможно — температура высокая, а чтобы потушить, нужно расчистить все вокруг скважины и потом туда в устье вставить пробку — это самый эффективный метод. Но старая технология состояла в том, что подвозили танк на несколько сот метров, и он делал до тысячи выстрелов, пытаясь раскидать эти металлоконструкции, потому что подойти к ним было невозможно. Помню, в то время меня просили сделать прицел, который бы работал в темноте, — орудие танка, чтобы он бил не в молоко, а прямо по системам. Такое предложение было сделано, но оказалось, что на самом деле эффективно другое — как в книге Алексея Толстого «Гиперболоид инженера Гарина». И был создан такой «гиперболоид» — установка МЛТК: лазер, который на расстоянии несколько десятков метров режет толстостенные металлические конструкции. Они падают, и тогда их можно растащить и подойти к скважине. Такая работа для лазерной системы по заказу «Газпрома» была сделана во ФГУП «ГНЦ РФ ТРИНИТИ». Любопытно, что когда институт успешно сдал «Газпрому» результаты своей работы по контракту, через месяц случился пожар на вышке и на скважине, и нужно было показать, что МЛТК работает. Проверили — успешно, и это уже было продемонстрировано не один раз.

Сейчас мы активно обсуждаем новую область, которая, может быть, станет исключительно важной, интересной, в том числе для нефтяных и газовых компаний. Это область аддитивных технологий, когда с помощью лазера и микро- и нанопорошков вы можете наращивать слой за слоем вещество и создавать практически готовые детали. Такое наращивание и использование возможности прижигания твердых металлов к поверхности очень важно также с точки зрения создания будущего бурильного оборудования. Мы помогаем производителям бурильного оборудования в упрочнении соединений конструкций, в частности бурильных долот.

Среди задач, которые тревожат наших коллег, есть одна довольно нестандартная. Дело в том, что ряд газовых месторождений в Сибири характеризуются высоким содержанием гелия. Гелий — это ценный продукт, его нельзя просто так выбрасывать, потому что он находит применение не только в шариках, которые запускают детишки, но и, например, в системах по созданию сверхпроводящих устройств. Известно, что при температуре жидкого гелия ряд веществ теряют свое сопротивление. Медицинские томографы, например, работают



Алексей Руфатович Мустафин

- ✓ В 1987 г. окончил Институт нефти и газа им. И.М. Губкина по специальности «Нефтепромысловая геология и разработка нефтяных и газовых месторождений». В 2000 г. получил степень *EMBA* (бизнес-администрирование и управление) в школе менеджмента (*UFSIA IPO*) Антверпенского университета (Бельгия).
- ✓ Восемь лет опыта руководства производственными компаниями, интеграции проектов по инжинирингу, бурению и капитальному ремонту, шесть лет опыта работ по управлению проектами в области разработки и геологии нефтяных и газовых месторождений, девять лет опыта работ по геологическому моделированию, интерпретации геологической информации.
- ✓ Участвовал в работе межотраслевого научного коллектива под руководством академика С.А. Христиановича (Институт проблем механики АН) по проблеме техногенных деформаций земной поверхности при разработке нефтяных и газовых месторождений. Руководил проектной группой по проектированию разработки одного из крупнейших месторождений Западной Сибири — Приобского нефтяного месторождения. Совместно с группой единомышленников создал с нуля многопрофильную сервисную компанию, специализирующуюся на инжиниринге, бурении скважин, капитальном ремонте скважин. Внедрил новую технику для бурения горизонтальных скважин в проекты в республике Коми.
- ✓ С 2014 г. — руководитель нефтегазовых проектов в компании ЗАО «Наука и инновации» (ГК «Росатом»), занимается маркетингом технологий ГК «Росатом» на нефтегазовом рынке.

Сегодня мы близки к тому, чтобы заключить с «Газпромом» контракт по тем идеям, которые существуют у наших институтов: как выделять гелий из потока газа и как его хранить. Если это удастся, то экономический эффект будет колоссальным, а сомнений в том, что мы достигнем успеха на этом пути, нет, потому что там все основано на тех принципах, которые нам сегодня известны

на жидком гелии. Сегодня мы близки к тому, чтобы заключить с «Газпромом» контракт по тем идеям, которые существуют у наших институтов: как выделять гелий из потока газа и как его хранить. Если это удастся, то экономический эффект будет колоссальным, а сомнений в том, что мы достигнем успеха на этом пути, нет, потому что там все основано на тех принципах, которые нам сегодня известны.

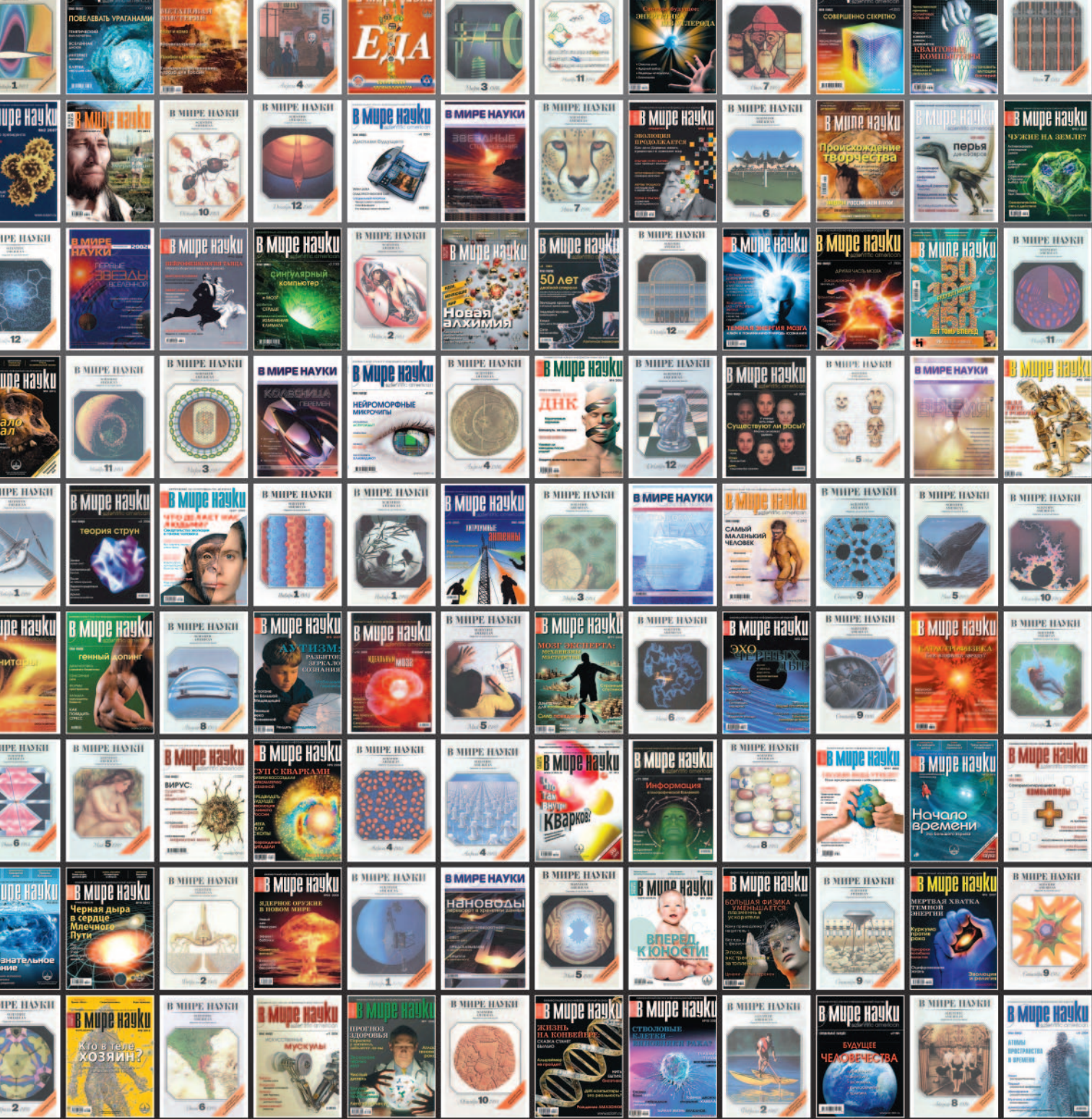
Обсуждая с квалифицированным персоналом нефтегазовой отрасли проблему взаимодействия и возможности нашего применения, мы, во-первых, должны быть крайне ответственны в том, что мы предлагаем, ведь совершенно понятно, что какую-то ерунду наши коллеги не примут; во-вторых, для нас это взаимодействие полезно, потому что оно формулирует те новые задачи, которые мы сами придумать не могли, но которые ясны — и здесь мы можем что-то найти. Например, вопросы, связанные с гидроразрывом пластов. Совсем недавно мы думали о том, что можно создать совершенно новую технологию, которая позволяет нам определять, где, как, на какой глубине происходит разрыв. Опыт по созданию подобных комплексов измерителей в свое время у нас был — в высокогорных условиях испытывались МГД-генераторы. Думаю, что впереди у нас есть возможность активного взаимодействия и взаимного проникновения опыта одного и другого сообщества во имя общего блага.

А.М.: Технология гидроразрыва — это направление, связанное с повышением нефтеотдачи пластов и добычи там сланцевого газа, что очень критично. Сегодня количество гидроразрывов, применяемое в нефтегазовых компаниях, довольно значительное, и одной из ключевых проблем стал не прогноз развития трещины, а мониторинг процесса и определение постфактум, куда она зашла. Почему? Возникающая трещина может соединить те скважины, которые при прогнозе развития этих трещин не учитывались. Поясню: чтобы из скважины пошло больше нефти, нужно сделать больше каналы, по которым идет нефть. Нефть обычно находится в пористой



среде — это поровые каналы определенного диаметра, соединенные друг с другом. При гидроразрыве, при насильственном раскрытии этих каналов образуются связывающие трещины, которые идут от десятка до сотен метров от скважины, и нефть под поровым давлением поступает в скважину. Нефтяные сервисные компании уже научились делать прогноз, но проблема мониторинга постфактум по ориентации трещин пока не решена. Для нефтяных компаний важно определить поле этих каналов, которые образовались, чтобы и учесть запасы, и оценить добычные способности. «Росатом» и наши институты имеют технологии, которые были апробированы тоже в пористых средах при постановке нескольких других задач, т.е. для атомной промышленности. И есть система датчиков, регистраторов, которые позволяют мониторить эти микросейсмические возмущения и определять направление таких трещин. Сегодня в рамках рабочих групп мы решаем задачу привязки традиционных, решенных задач к нуждам нефтяной и газовой промышленности — в частности, по гидроразрыву — и видим перспективы тесного сотрудничества нефтегазовой и атомной отраслей. ■

Подготовила Евгения Дмитриева



Хотите знать о науке больше?

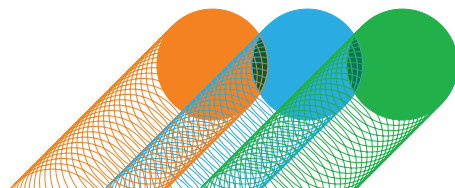
Полный архив выпусков журнала «В мире науки» — на сайте издания по адресу:
www.sciam.ru/projects/dvd-electronic-catalogue

ежемесячный научно-информационный журнал
В мире науки

АРХИВ







ФАБРИКА ТЕЛА

Нобелевские лауреаты из самых разных областей науки опубликовали на страницах журнала *Scientific American* 245 статей. Сегодня мы приводим выдержки из материалов, объединенных общей темой: функционирование организма человека. Такой выбор определяется предметом дискуссий 64-й по счету встречи в городе Линдау в Германии 38 ученых, удостоенных высшей научной награды, с их 600 молодыми коллегами, наиболее преуспевшими в областях исследований по физиологии и медицине.

Составитель: Феррис Джабр; иллюстрации: Сэм Фалконер

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Этим летом ставшая традиционной встреча нобелевских лауреатов со своими молодыми коллегами в Линдау (Германия) была посвящена медицине и физиологии.
- В честь этого события мы помещаем выдержки из статей некоторых ученых, удостоенных этой высшей научной награды, которые были опубликованы в разные годы на страницах *Scientific American*.
- Сами статьи касались работы разнообразных органов и систем человеческого организма — мышц, головного мозга, иммунной системы и многого другого.



Физиология

Эдгар Дуглас Эдриан (*Edgar Douglas Adrian*)

Опубликовано в сентябре 1950 г.
Нобелевская премия 1932 г.

Физиология занимается изучением процессов, протекающих в организме человека (или любого другого живого существа), и тем самым помогает врачам в их работе. Но что это за процессы и в каких терминах их описывать? Что касается последнего, то здесь за предыдущие полвека произошли большие изменения. Сегодня все более или менее сходится в одном: несмотря на то что физиология имеет дело с процессами, протекающими в живом организме, их описание в конце концов сводится к законам физики и химии.

В XIX столетии ситуация была не столь определенной. Физиологам приходилось исследовать структуру и функции многочисленных органов, не имея возможности количественно описывать протекающие в них процессы ввиду отсутствия соответствующих инструментов. Сегодня период беспомощности позади. Заимствовав новейшие методы исследований у точных наук, физиологи смогли составить представление об организации тела человека, и в настоящее время их интересы все больше смещаются в сторону изучения его биохимии и биофизики.



Исследование работы мышц

Альберт Сент-Дьердьи (*Albert Szent-Györgyi*)

Опубликовано в июне 1949 г.
Нобелевская премия 1937 г.

Мышца — это машина, и, как у любой машины, у нее должны

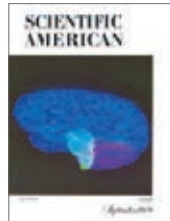


быть два основных элемента. Один представляет собой процесс с выделением энергии, например расширение пара в паровой машине, сжигание топлива в двигателе внутреннего сгорания или прохожде- ние электрического тока через обмотку электрогенератора. Работа может совершаться только в тех случаях, когда данные процессы идут в подходящих условиях, будь то цилиндр с поршнем или обмотка ротора. В любой мышце тоже

протекают процессы с выделением энергии и имеются соответствующие структуры.

Процессы — это химические реакции между определенными молекулами, их изучение — прерогатива биохимиков. Структуры — объект исследований анатомов: их инструменты — скальпель и световой или электронный микроскоп. Оба этих научных направления одинаково увлекательны и перспективны. Скорее всего, химические

НЕЙРОНАУКИ



Мозговые механизмы зрения

Дэвид Хьюбел и Торстен Визел (David H. Hubel, Torsten N. Wiesel)

Опубликовано в сентябре 1979 г.
Нобелевская премия 1981 г.

Кора головного мозга — слой нервной ткани толщиной примерно два миллиметра с множеством извилин и борозд — это наружная оболочка больших полушарий. В данной статье мы представим в общих чертах имеющиеся на сегодня сведения об одной из областей коры — зрительной зоне.

Начать лучше всего с прослеживания пути прохождения нервного импульса от сетчатки к коре. Выходной сигнал от каждого глаза передается головному мозгу через миллионы нервных волокон, собранных в зрительный нерв. Волокна — это аксоны ганглиозных клеток сетчатки. Значительная их часть доходит, не прерываясь, до двух групп клеток, расположенных глубоко в головном мозге и называемых латеральными колленчатными телами. Последние сообщаются с волокнами зрительного нерва через синапсы и посылают свои аксоны непосредственно в зрительную зону.

Изучением работы этой системы мы занимаемся с конца 1950-х гг., используя относительно простую методику: с помощью микроэлектродов регистрируем импульсы от одного из нервных волокон зрительного нерва и смотрим, как он меняется в зависимости от характеристик своего сигнала, подаваемого на сетчатку. Сигнал может иметь форму светового пятна разных размера, конфигурации, яркости и цвета, быть неподвижным или перемещаться. Обнаружилось, что

оба типа клеток — ганглиозные и колленчатые — лучше всего реагируют на округлое пятно света определенного размера, расположенное в определенной части поля зрения.

Первое из двух основных преобразований, осуществляемых зрительной зоной, состоит в переработке поступающей информации таким образом, что большинство ее клеток реагируют не на световое пятно, а на линии, ориентированные определенным образом. В зрительной коре имеется много типов клеток, различающихся по сложности ответа на зрительные стимулы, при этом они образуют некую иерархическую систему: «простые» клетки передают информацию более «сложным». Нервная клетка реагирует на раздражитель только в том случае, если свет попадает в определенную область поля зрения. Максимальная реакция наблюдается, когда линия — зрительный стимул, имеющий «правильный» наклон, — укладывается в эту часть или по крайней мере пересекает ее. Оптимальный наклон линии неодинаков для разных клеток; отклонение от него на 10–20° как против, так и по часовой стрелке приводит к значительному ослаблению реакции или даже к полному ее исчезновению.

Еще недавно казалось, что разобраться в работе миллионов нейронов, расположенных к тому же в разных слоях коры головного мозга, нереально. Но пришло время, и о функционировании зрительной зоны мы имеем общее представление: мы знаем, какие стимулы включают нейроны, а какие нет; нам известно, что существуют «колонки» нейронов, наделенных общими свойствами, — они максимально реагируют на линии одного и того же наклона, т.е. на один элементарный зрительный стимул. Такой успех вселяет надежду на то, что со временем свои секреты раскроют и другие зоны коры головного мозга.

реакции — источники энергии — сходны, по крайней мере у всех живых организмов. А потому исследование работы мышц помогает пролить свет на основы жизни. В свою очередь изучение строения мышц, несмотря на их специализацию, способствует прояснению фундаментальных процессов биомолекулярной архитектуры. Соответственно, мышцы — не какой-то частный биологический объект, а чудесный неповторимый материал, на примере которого можно понять, как функционируют все живые системы.



Молекулярные основы обоняния

Ричард Аксель (Richard Axel)

Опубликовано в октябре 1995 г.
Нобелевская премия 2004 г.

Анатомия носа и обонятельной системы в целом известна довольно давно. У млекопитающих, например, процесс восприятия запаха начинается в задней части носовой полости — в обонятельном эпителии. Исследование данной области с помощью сканирующего электронного микроскопа показало, что в ней имеются два типа клеток. Прежде всего, это миллионы нейронов, сигнальных клеток сенсорных систем, которые опосредуют прямую физическую связь между внешней средой и головным мозгом. Каждая нервная

клетка имеет тело, от одного конца которого к поверхности эпителия отходит дендрит, а от другого — аксон, идущий к головному мозгу. В обонятельном эпителии содержатся также нейронные стволовые клетки, из которых формируются обонятельные нейроны, причем процесс длится на протяжении всей жизни организма — в отличие от большинства других нейронов, которые после гибели не возобновляются.

Молекулы пахучего вещества, попав в нос вместе с вдыхаемым воздухом, связываются со специфическими белками — рецепторами, расположенными на выступающих из поверхностного отдела дендритов ресничках. Связывание «пахучей» молекулы с рецептором приводит

к возникновению электрического сигнала, который распространяется по аксону и достигает обонятельной луковицы, структуры, расположенной в передней части головного мозга. Здесь происходит первичная обработка обонятельной информации, которая поступает в более глубоко расположенные сенсорные центры головного мозга, отвечающие за мыслительные процессы и поведение. Где-то на этом пути возникает логическая цепочка, с помощью которой головной мозг идентифицирует запах, ограничивает его от других запахов и формирует эмоциональную и поведенческую реакцию.

Свои исследования по восприятию запаха мы начали с изучения структуры,

находящейся в самом начале сенсорной цепочки, — рецепторных белков. Но вместо того чтобы идентифицировать сами белки, я в сотрудничестве с Линдой Бак (Linda Bacc), работавшей в моей лаборатории, занялся поиском генов, которые эти белки кодируют. Найденные гены были амплифицированы, и мы смогли провести их детальный анализ. У семейства рецепторных генов обнаружилась особенность, благодаря которым они могут играть опосредованную роль в распознавании запахов. Во-первых, кодируемые ими белки сходны с описанными ранее рецепторными белками, молекулы которых семь раз пересекают мембрану нейрона. Рецепторы активируют сигнальные G-белки, а по данным Дорона Лансета (Doron Lanset) из Вейцмановского института и Рэндалла Рида (Randall R. Reed) из Медицинской школы при Университете Джонса Хопкинса, обонятельные рецепторы тоже используют G-белки для запуска каскада событий, приводящих к распространению электрического сигнала по сенсорному обонятельному аксону. Во-вторых, эти гены проявляют активность только в обонятельных нейронах, а во всех других клетках выключены.

И наконец, широкое разнообразие генов, кодирующих белки обонятельных рецепторов, соответствует столь же широкому разнообразию запахов. Проанализировав ДНК разных млекопитающих, в том числе человека, мы обнаружили примерно 1 тыс. генов, кодирующих 1 тыс. белков обонятельных рецепторов. (Каждый тип рецепторов присутствует в тысячах нейронов.) Из того, что ДНК человека содержит до 100 тыс. генов, следует, что примерно 1% из них приходится на долю тех, которые отвечают за восприятие запахов. Это самое многочисленное семейство генов из всех идентифицированных у млекопитающих. Столь большой объем генетической информации, связанной с обонянием, указывает на исключительно важную роль сенсорной системы в выживании и воспроизведении большинства млекопитающих.



Биологические основы научения и личности

Эрик Кэндел и Роберт Хокинс (Eric R. Kandel, Robert D. Hawkins)

Опубликовано в сентябре 1992 г.

Нобелевская премия 2000 г. (Эрик Кэндел)

Элементарные аспекты нервных механизмов, существенных для некоторых форм научения, сегодня можно исследовать на клеточном и даже молекулярном уровне. При некоторых формах научения требуется осознанное участие индивида. Такие формы обычно называют декларативными, или эксплицитными, — в отличие от недеklarативных, или имплицитных, когда процесс научения не осознается.

Эксплицитное научение происходит быстро, достаточно бывает одного обучающего стимула. Часто оно включает одновременное воздействие разных стимулов и хранение информации о каком-то событии, произошедшем ранее в данном месте в данное время. Таким образом, эксплицитное научение основано на запоминании случившегося ранее. В отличие от этого, имплицитное научение медленное, реализуемое через образование ассоциативных связей между многократно повторяющимися внешними воздействиями. Оно проявляется прежде всего через все более точное выполнение некоей задачи, при этом сам субъект не отдает себе отчета в процессе, а запоминающие системы не используют сведения общего характера, которыми располагает индивид.

Существование двух разных форм научения сразу поставило перед нейробиологами вопрос о том, как они представлены на клеточном уровне.

Канадский физиолог Доналд Хебб (Donald O. Hebb) предположил, что в основе ассоциативного научения лежит какой-то простой клеточный механизм. По его мнению, ассоциации могут возникать в результате совпадения нервной активности: «Когда сигнал от аксона клетки А <...> возбуждает клетку В и происходит это многократно или непрерывно, то в одной из клеток или в них обеих возникают метаболические изменения, например действенность клетки А в ее влиянии на клетку В возрастает. Совпадение активностей пресинаптического и постсинаптического нейронов играет ключевую роль в усилении связи между ними (так называемый препостассоциативный механизм)».

В 1963 г. Ладислав Таук (Ladislav Tauc) и один из нас (Эрик Кэндел) предложили другую модель, основываясь на результатах изучения нервной системы морской улитки *Aplysia*. Они обнаружили, что синаптическая связь между двумя нейронами может усиливаться без проявления какой-либо активности у постсинаптической клетки, когда на пресинаптический нейрон воздействует некий третий нейрон. Такой нейрон, названный модуляторным, усиливает высвобождение нейромедиаторов из окончания пресинаптического нейрона. Можно предположить, что данный механизм будет проявлять ассоциативные свойства, если электрические импульсы, известные как потенциалы действия, в пресинаптической клетке совпадут с таковыми в модуляторном нейроне (премодуляторный ассоциативный механизм).

Позже мы с коллегами получили экспериментальное подтверждение правильности нашей модели в опытах на *Aplysia*. А в 1986 г. Хольгер Вигстрем (Holger J.A. Wigström) и Бенгт Густафссон (Bengt E.W. Gustafsson) из Гетеборгского университета обнаружили, что препостассоциативный механизм действует в гипоталамусе, где он используется в тех типах синаптических изменений, которые важны для пространственного научения, одной из форм эксплицитного научения.

ИММУНОЛОГИЯ



Иммунная система

Нильс Ерне (Niels Kaj Jerne)
Опубликовано в июне 1973 г.
Нобелевская премия 1984 г.

По сложности функционирования иммунная система сравнима с нервной. Обе они имеют диффузный характер, т.е. распространяются на большинство органов и тканей. У человека суммарная масса элементов иммунной системы достигает одного килограмма.

Это примерно 1 трлн лимфоцитов и 100 млн трлн антител — молекул, которые ими вырабатываются. Специфическая особенность иммунной системы — способность к распознаванию образов, а ее назначение — «патрулирование» всех тканей тела и его защита.

Клетки и молекулы иммунной системы разносятся по всему организму с током крови и через стенки капилляров проникают в ткани. Обследуя их, они возвращаются

в сосуды лимфатической системы. Разветвленная сеть лимфатических сосудов обеспечивает циркуляцию не только лимфоцитов и антител, но и других клеток и молекул, а также межклеточной жидкости, омывающей все ткани тела, и возвращает свое содержимое обратно в кровоток, связываясь с подключичными венами.

Концентрация лимфоцитов наиболее высока в лимфатических узлах и в тех органах, где лимфоциты вырабатываются

и созревают: костном мозге, тимусе и селезенке. Элементы иммунной системы постоянно обновляются. За то время, пока вы читали данный абзац, в вашем теле образовалось 10 млн новых лимфоцитов и 1 млн трлн молекул антител. Это не было бы столь удивительным, если бы все они были идентичны, но дело обстоит как раз наоборот. Чтобы справиться с задачей распознавания образов, нужны именно миллионы разных молекул — точно так же для миллиона разных замков нужны миллионы разных ключей. Группа аминокислотных остатков в молекуле белка, гликопротеина или нуклеопротеина, распознаваемая специфическим антителом, называется эпитопом, а молекула, которая их содержит, — антигеном. По-видимому, нет ни одной крупной биологической молекулы, которая не была бы антигеном.

Иммунная и нервная системы уникальны в том отношении, что они способны адекватно реагировать на бесчисленное множество разнообразных сигналов. Обе они дихотомичны, т.е. их клетки не только получают, но и передают сигналы, а последние могут быть как возбуждающими, так и подавляющими.

Нервные клетки (нейроны) занимают фиксированное положение в головном мозге, спинном мозге и ганглиях. Друг с другом они общаются через длинные отростки — аксоны, создающие в результате нервную сеть. Чтобы аксон одного нейрона мог образовать синаптические связи с определенным набором других нейронов, нужно нечто другое, нежели распознавание эпитопов. Лимфоцитов в 100 раз больше, чем нервных клеток, и, в отличие от последних, они перемещаются практически свободно. Но лимфоциты тоже образуют связи друг с другом — прямые или через молекулы антител, ими высвобождаемые. Эти элементы способны к распознаванию образов и в свою очередь распознаются другими элементами, в результате чего образуется некая сеть. Иммунная система, так же как и нервная, реагирует на чужеродных агентов и обеспечивает

адаптацию к внешней среде. Обе они учатся на собственном опыте и формируют память, которая подкрепляется за время жизни организма, но не передается по наследству. Такие удивительные аналогии в работе двух систем, возможно, проистекают из сходства генов, которые кодируют их составляющие и регулируют их развитие и функционирование.



Пересадка кожи

Питер Медавар (Peter Medavara)

Опубликовано в апреле 1957 г.

Нобелевская премия 1960 г.

Реакция на трансплант — по своей природе иммунологическая: аналогичным образом организм реагирует на чужеродный белок, донорский эритроцит, патогенный микроорганизм и многое другое. В этом легко убедиться, проведя эксперимент на лабораторных животных. Если трансплант, взятый от одной мыши и пересаженный другой, отторгается, то реакция на второй трансплант от того же донора разовьется в два раза быстрее. Это означает, что организм реципиента иммунологически подготовился к повторной «атаке». Такая подготовка происходит и в том случае, если в первый раз мыши ввели клетки лимфатических узлов донора, отторгнувшего трансплант.

В большинстве случаев за иммунологическую реакцию отвечают антигена — специфические белки, атакующие чужеродные агенты. Они образуются в ответ на гомотрансплант (полученный от животного того же вида), но есть основание сомневаться в том, что атака на трансплант идет именно таким образом. Как ни парадоксально, но при высоких концентрациях циркулирующих антител

реакция ослабляется: транспланту дается какое-то дополнительное время для выживания.

Реальными атакующими агентами, по-видимому, выступают не антитела, а клетки, вырабатываемые лимфатическими железами. На это указывают эксперименты, поставленные Дж. Алджером (G.H. Algire), Дж. Уивером (J.M. Weaver) и Р. Преном (R.T. Prehn) из Национального онкологического института.

В одном из них гомотрансплант был заключен в пористую капсулу, а подопытной мыши перед этим введен гомотрансплант от того же донора. Если поры в стенках капсулы были достаточно велики, чтобы через них могли проходить клетки, то трансплант разрушался. В противном случае через поры проходили только молекулы жидкости, и с трансплантом ничего плохого не происходило.

Если за отторжение трансплантов ответственны клеточные структуры, а не антитела, это сразу объясняет, почему не отторгаются транспланты роговицы глаза. В роговице нет кровеносных сосудов, и трансплант оказывается недосягаем для клеток крови.

В головном мозге ситуация другая: там отсутствуют сосуды лимфатической системы, и никакие антигены, высвобождаемые трансплантом, не могут дойти до частей тела, где их настигли бы элементы иммунной системы. По-видимому, этим объясняется, почему гомотранспланты хорошо приживаются в головном мозге. ■

Перевод: Н.Н. Шафрановская


ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- В честь нобелевских лауреатов (биология; сост. Ф. Джабр) // ВМН, № 8, 2011.
- В погоне за Нобелем (физика; сост. Ф. Джабр и Д. Мэтсон) // ВМН, № 9, 2012.
- Нобелевская жатва (химия; сост. Ф. Джабр) // № 10, 2013.
- Сайт, посвященный встречам нобелевских лауреатов в Линдау: www.lindau-nobel.org



Эрик Ванс

БОГИ ИЗ КРОВИ И КАМНЯ



ПИРАМИДА ЛУНЫ в городе
Теотиуакан возле Мехико,
перекрывающая Дорогу
Мертвых

*Долгое время окутанная тайной,
древняя культура Теотиуакана наконец
начинает раскрывать свои секреты*

ОБ АВТОРЕ

Эрик Ванс (Erik Vance) — научный писатель, проживающий в Мехико. В его последней статье для *Scientific American* рассказывалось об усилиях Мексики сделать науку рентабельной.



Тде-то в XIV в. в горную долину Теотиуакана нашли дорогу представители народности мешика. Мешики, обычно именуемые сегодня ацтеками, пришли с севера. Этот гордый и воинственный народ быстро начал доминировать на Мексиканском нагорье, подчинив местные племена и основав здесь огромный город Теночтитлан (нынешний Мехико), которому вскоре предстояло стать столицей обширной империи. Представьте, как первый отряд храбрых и чувствовавших себя непобедимыми воинов вступает в это цветущее зеленое пространство, окруженное высокими горными склонами. Воинов-мешиков привели сюда легенды пришедших на эти земли ранее тольтеков о существовании в здешних горах мест (в каких-то 40 км от их нового города), где когда-то жили боги. Поворот дороги неожиданно открывает перед ними панораму этого «дома богов», и их бравада сменяется благоговейным почтением. По сторонам одной широкой улицы расположились остатки пирамид высотой с 20-этажный дом — настолько внушительных, что их вначале даже принимают за горы. Современные исследователи повсюду встречают здесь разрушающиеся дворцы, дома, рыночные площади и разные другие свидетельства давно исчезнувшей цивилизации, которая не оставила после себя ни названия, ни письменности, ни истории. Только лишь очень большой город — некогда блиставший великолепием, а ныне абсолютно заброшенный.

В конечном итоге мешики спланировали свой Теночтитлан по образцу этого города-призрака, а остатки здешних сооружений использовали как своеобразные летние резиденции для элиты. Они назвали древнюю широкую улицу Дорогой Мертвых, а две самые крупные пирамиды — пирамидой Солнца и пирамидой Луны. Самому же древнему городу они дали название Теотиуакан — «место, где рождаются боги».

В 1521 г. империя мешиков была разгромлена испанскими конкистадорами. В течение столетий Теотиуакан пребывал в состоянии постепенного разрушения. Когда в начале 1900-х гг. археологи впервые всерьез занялись здесь раскопками, они не лучше мешиков представляли себе, кто именно построил этот город. Многие считали его незначительным поселением, созданным какими-то разрозненными племенами, которые впоследствии были поглощены завоевателями. Однако современным ученым известно, что в действительности Теотиуакан намного старше и намного важнее, чем мог предположить кто-либо из этих ранних исследователей. Ведь здесь была столица могущественной империи, предшественницы всех горных цивилизаций региона, протянувшаяся более чем на тысячу километров. Эта империя соперничала с мощными государствами майя в Гватемале и Гондурасе и, вероятно, даже господствовала над ними.

Не располагая письменными текстами в качестве ориентиров, археологи долго не могли представить картину

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

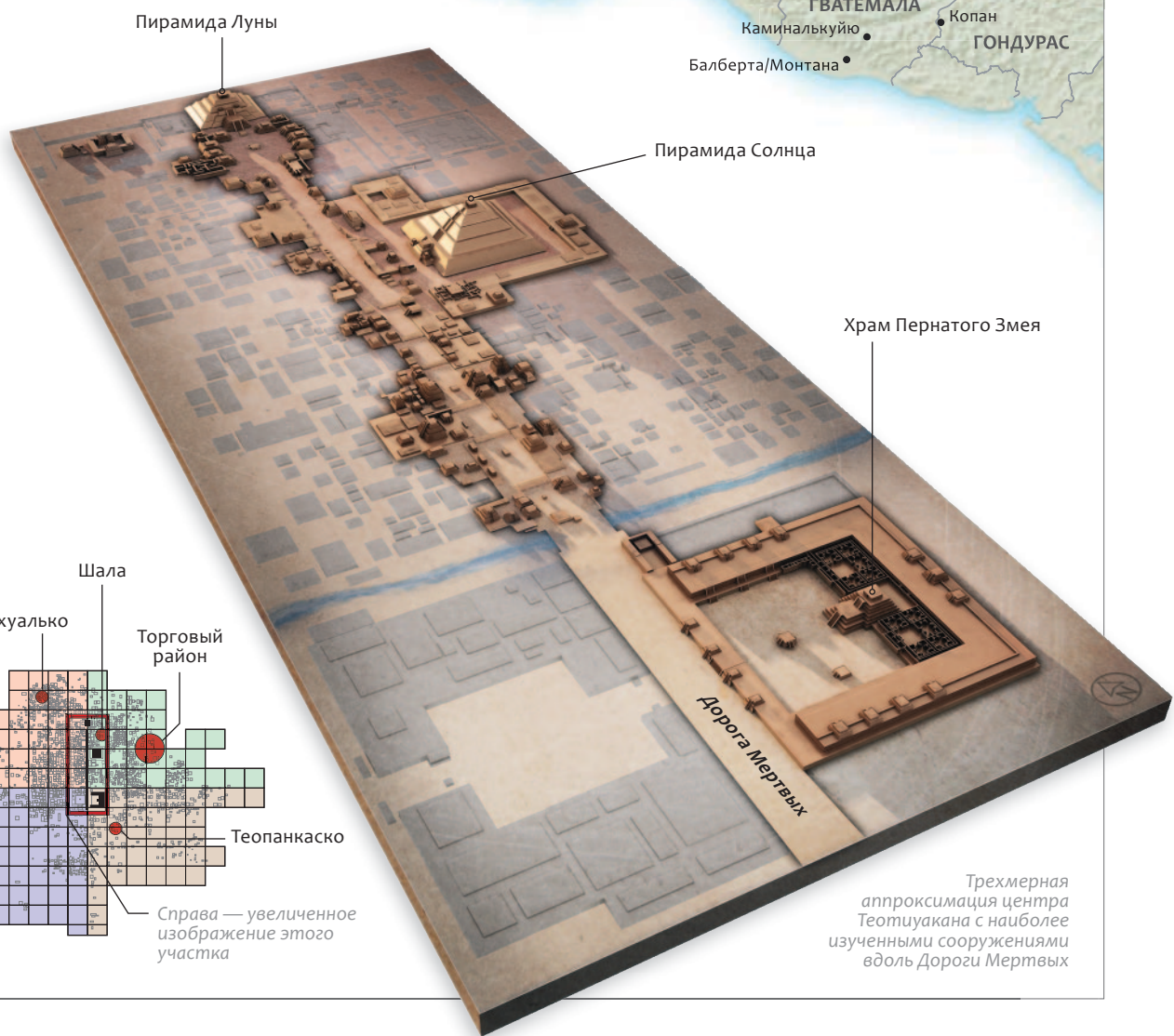
- Археологи десятилетиями безуспешно ломали голову над загадками древнего мексиканского города Теотиуакан и его общества.
- Недавние находки расширили понимание жизни этих людей и размаха их империи — это, в свою очередь, вызвало спор о ее политическом устройстве.
- По одной теории Теотиуакан управлялся единым всемогущим правителем, по другой — четырьмя могущественными семейными кланами, соперничавшими за господство.

Очертания и расположение территории

ГОРОД БОГОВ

Считавшийся одно время незначительным поселением, древний город Теотиуакан известен сегодня как столица огромной империи, некогда простиравшей свое влияние вплоть до западной части Гондураса. Археологические раскопки под его храмами и по соседству, в более мелких сооружениях,

включая дома местных жителей, уже помогают в понимании этого загадочного общества. Их результаты говорят о многообразном объединении людей, живших в этнически обособленных районах; последнее обстоятельство вызвало спор между археологами о том, кто правил в этом городе.



Трехмерная аппроксимация центра Теотиуакана с наиболее изученными сооружениями вдоль Дороги Мертвых

SOURCES: BASED ON WORK BY RENÉ MILLON (all maps); OBSIDIAN AND THE TEOTIHUACAN STATE: WEAPONRY AND RITUAL PRODUCTION AT THE MOON PYRAMID, BY DAVID M. CARBALLO, UNIVERSITY OF PITTSBURGH CENTER FOR COMPARATIVE ARCHAEOLOGY AND INSTITUTE DE INVESTIGACIONES ANTROPOLÓGICAS, UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, 2011 (map of Teotihuacan, central Mexico); "CORPORATE LIFE IN APARTMENT AND BARRIO COMPOUNDS AT TEOTIHUACAN, CENTRAL MEXICO," BY LINDA R. MANZANILLA, IN DOMESTIC LIFE IN PREHISPANIC CAPITALS: A STUDY OF SPECIALIZATION, HIERARCHY, AND ETHNICITY, EDITED BY LINDA R. MANZANILLA AND CLAUDE CHAPPELAIN, UNIVERSITY OF MICHIGAN MUSEUM OF ANTHROPOLOGY, 2009 (small locator map); Maps by XNR Productions, Illustrations by José Miguel Mayo

жизни населения Теотиуакана. Впрочем, после расчистки и прокладки туннелей под храмами, а также после тщательных раскопок в местах более мелких сооружений по соседству им удалось найти некоторые общие ответы на вопросы. Теперь им виделось молодое полиэтническое общество с мощными социальными слоями, включавшими купцов, мелких торговцев и ремесленников со всего Мексиканского нагорья.

Гораздо менее понятно, каким было политическое устройство Теотиуакана. На этот счет возникли две гипотезы. Согласно одной, в этом городе правил некий воинственный монарх, непререкаемый и непоколебимый, который железной рукой управлял своей империей. По мнению других, здесь существовало некое торговое государство, где несколько могущественных семейств боролись между собой за влияние, но никак не могли взять верх, а потому прибегали к изощренной политической игре. Сейчас ускоренно реализуются две исследовательские программы, призванные уладить спор и дать ответ на этот вопрос. Единодушие, впрочем, наблюдается пока в одном: Теотиуакан был не местом рождения богов, а городом, где люди сами создавали их из крови и камня — и где впоследствии сами сбросили этих богов на землю.

Неуловимый правитель

Разобраться с политическим устройством исчезнувшей культуры непросто. Представьте, что вы оказались в Вашингтоне через 1,4 тыс. лет после его разрушения и теперь пытаетесь понять его жителей. Почитали ли они Авраама Линкольна? Жили ли они в военном государстве? Совершали ли причудливые ритуалы возле Зеркального пруда? Кто из их руководителей или священников обитал наверху Мемориала Джорджа Вашингтона? Такого рода вопросы относительно Теотиуакана на протяжении более 35 лет задавал себе профессор Сабуро Сугияма (Saburo Sugiyama) из Университета префектуры Аичи в Японии.

Над городом Теотиуакан возвышаются три основных сооружения: наиболее высокое — пирамида Солнца, второе по высоте — пирамида Луны в конце Дороги Мертвых и расположенное по одну сторону с пирамидой Солнца самое небольшое из этих сооружений — Храм Пернатого Змея. (Последний часто называют также Храмом Кецалькоатля — из-за внешнего сходства с мексиканским божеством, возникшего под влиянием этого более раннего изображения.) Хотя посвященное Пернатому Змею сооружение уступает другим по размерам, многие предполагают, что оно имеет наибольшую значимость, поскольку служило резиденцией могущественным правителям или жрецам. Размещенное в самом центре древнего города, это сооружение состоит из двух пирамид, которые окружены площадью и невысоким стеновым комплексом.

В 1989 г. Сугияма и археолог Рубен Кабрера Кастро (Ruben Cabrera Castro) из мексиканского Национального института антропологии и истории раскопали новые, крайне важные свидетельства истории Теотиуакана: останки 18 человек, которые были ритуально принесены в жертву и погребены возле этого храма. Вскоре



В скульптуре и настенных изображениях Теотиуакана представлены пернатый змей (вверху) и ягуар (внизу). По одной из теорий этим городом правили четыре семейных клана; сильнейшими были клан пернатого змея и клан ягуара.

эти же двое исследователей обнаружили новые закопанные тела, а позднее, при расчистке туннеля под храмом, нашли еще скелеты — их оказалось в общей сложности значительно более сотни. Найденные кости принадлежали в основном мужчинам, по-видимому, воинам из других земель, что заставляло предположить существование некоего воинственного общества, где власть обеспечивалась обсидиановым лезвием (обсидиан, или вулканическое стекло, — твердый материал для изготовления украшений, инструментов, оружия; в Южной Америке такое острое оружие использовалось жрецами для жертвоприношений. — Примеч. пер.).

Сугияма стал мысленно воссоздавать Теотиуакан, каким тот был в период своего расцвета. Он представил себе безжалостного монарха, правившего в этом городе и располагавшего безграничной властью. «Этот город был создан, материализовался исключительно благодаря силе. Ведь невозможно внушить кому-то свои идеи простыми словами: "Давайте-ка построим здесь какие-нибудь дома", — размышлял он. — Чтобы убедить людей, требуется именно сила».

Сугияма сидит в своей лаборатории в небольшом городке, в непосредственной близости от Теотиуакана. В этом домике собрано более 2 млн артефактов, найденных за десятилетия с того дня, когда он начал раскопки. Сабуро — спокойный и задумчивый человек, его легко представить бродяжничающим хиппи, каким он был в 1970-е гг., когда покидал свою родную Японию ради путешествия по миру. Однако если речь заходит об археологии, найдется немного столь же честолюбивых и увлеченных людей, как он.

В 1998 г., раздосадованный тем, что никак не удается найти гробницу или какие-то иные прямые свидетельства существования правителя, Сугияма решил поискать их под огромной пирамидой Луны, проложив туда туннель. Это был амбициозный проект, но он давал наилучшую возможность понять структуру власти того общества; именно здесь следовало искать гробницу. Подобно любому большому городу, Теотиуакан строился поэтапно. Как считают антропологи, начиная со 150 г. до н.э. в этом месте зеленой долины происходило объединение различных племен, создавших своего рода союз. Свой город они возводили неравномерно — то в одном, то в другом месте. Проложенный Сугиямой туннель помог установить, что пирамида Луны, одно из первых крупных местных сооружений, была построена в 100 г. до н.э.

Однако это строительство не стало окончательным. При прокладывании своего туннеля в период с 1998 по 2004 г. Сугияма обнаружил следы семи предшествующих вариантов пирамиды, строившихся один поверх другого, по принципу классической куклы-матрешки. Четвертый вариант (построенный, согласно радиоуглеродному датированию, в начале III в. н.э.) представлял собой весьма основательную переделку созданного ранее. Это было время развития, возможно даже рождения империи.

Хотя Сугияма все еще не нашел никаких следов правителей Теотиуакана, его открытия прекрасно вписывались в общую картину набиравшего силу города. Происходило это под знаменем самого правителя или нет, но со строительством Теотиуакана началось распространение этим городом своего влияния. Примерно в 725 км к юго-востоку от Теотиуакана на территории нынешнего мексиканского штата Чьяпас лежат руины городка Лос-Орконес, построенного примерно в то же время. Даже при таком удалении от Теотиуакана здесь отчетливо видны следы этого влияния — на них указывает Клаудиа Гарсиа де Лаурье (Claudia Garcia-Des Lauriers) из Политехнического университета штата Калифорния в Помоне, проводившая в том месте раскопки: «Главная площадь целого города спланирована таким образом, что здесь почти в точности повторяется движение человека по Дороге Мертвых и его последующий выход на большое открытое пространство, — это выглядит вполне убедительно. Налицо попытка сделать намек на Теотиуакан».

Хотя сходные черты едва различимы, опытный глаз видит их, отмечает Гарсиа де Лаурье. Учитывая его городскую планировку и стиль его гончарных изделий,

Лос-Орконес был либо военным аванпостом, либо близким торговым партнером Теотиуакана. Любопытно, что улица этого города, олицетворяющая, по предположению Гарсиа де Лаурье, Дорогу Мертвых в Теотиуакане, также никуда не ведет — она внезапно упирается в огромный камень. Подобный тупик приобретает смысл, если предположить, что люди, совершавшие поездки в свой исконный город, пытались создать здесь его уменьшенный вариант. «Он действительно очень напоминает Мекку в исламском обществе, — говорит Сугияма о Теотиуакане. — Сюда, наверное, совершались паломничества».

В последние годы похожие города обнаруживались по всей Мексике. Сегодня ученые полагают, что Теотиуакан контролировал намного более обширный регион, чем кто-либо мог предположить до открытия этого разрушенного города, — его владения занимали значительную часть современной Южной Мексики и распространялись на территорию Гондураса. По мере расширения земель Теотиуакана сюда активно поступали товары — такие как известняк, перья — из самых дальних концов мезоамериканского мира. Как следует заметить, в восточных джунглях, где правили легендарные короли майя, ученые обнаружили упоминания о некоем загадочном городе в горах на западе, где жителей так же много, как тростника на болоте. Многие предполагают, что этим западным городом и был Теотиуакан, который, по всей видимости, сумел подчинить своему влиянию даже такой крупнейший город древних майя, как Тикаль в Гватемале. По материалам из Копана, другого города майя в Гондурасе, здешний правитель был убит пришельцем из Теотиуакана, который стал править вместо него.

Подобной империи, рассуждает Сугияма, требовался сильный, харизматический правитель. Он отчетливо представляет себе такого правителя, жившего примерно в 219 г. н.э. и контролировавшего осуществление монументальных строительных проектов — создававшего империю, которой предстояло просуществовать 500 лет.

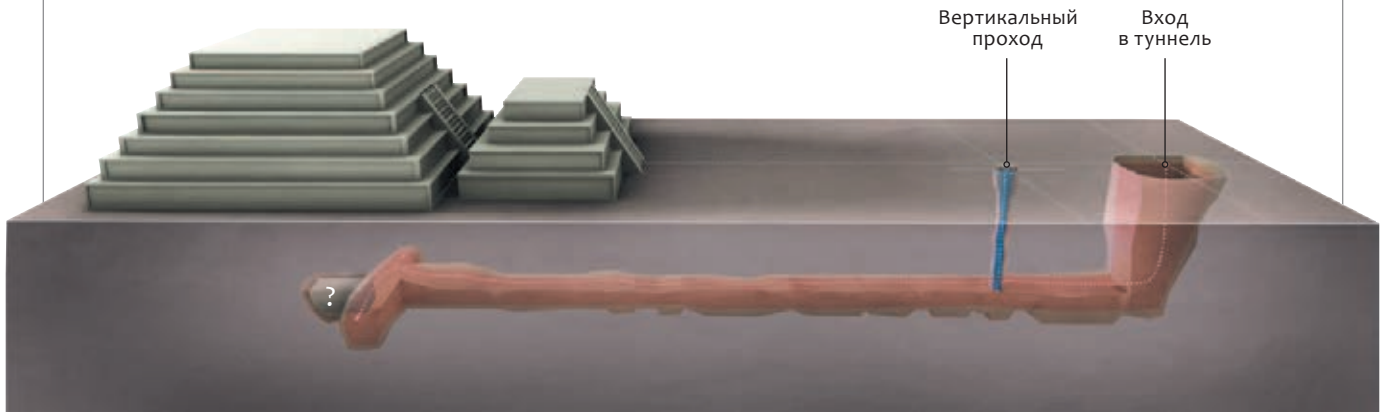
В конце концов внутри четвертого варианта пирамиды Луны Сугияма обнаружил «след» этой империи — выложенные в определенном порядке скелеты 12 человек (скорее всего, пленных), а также более 50 животных, включая волков, ягуаров и орлов. Их размещение напоминает миф о сотворении мира; здесь же присутствуют множество ножей, которые расположены в виде круглого циферблата солнечных часов, отбрасывающих тень на север. «Мы вновь получили очень сильное подтверждение характера того государства: обезглавленные тела, ножи, — подводит итог Сугияма. — Но мы опять не нашли могилы правителя».

В городах древних майя почти в каждом достойном хозяйстве было принято хоронить хозяина под крыльцом или непосредственно в доме, причем это место бережно охранялось и украшалось сосудами с ценными камнями и специями. Тем не менее в Теотиуакане вплоть до нынешнего дня не удалось обнаружить захоронения ни одного правителя.

ТУННЕЛЬ В ПРЕИСПОДНЮ

При расчистке секретного туннеля, найденного под Храмом Пернатого Змея, в нем было обнаружено несколько боковых камер, где находилось множество всевозможных ритуальных предметов — от масок и оружия до загадочных пиритовых зеркал. Археолог Серхио Гомес Чавес из мексиканского Национального института антропологии и истории, который

открыл вертикальный проход в туннель, вот-вот доберется до последней большой камеры под центральной частью храма. Пока эта камера считается наиболее вероятным местом для гробницы правителя Теотиуакана. Ее обнаружение помогло бы разрешить спор о политическом устройстве этой мощной цивилизации.



Монархия или корпоративное общество?

Несмотря на неудачу в поисках правителя, Сугияма по-прежнему убежден, что, подобно Древнему Египту, Теотиуакан был монархией с богоподобным верховным правителем и с военным аппаратом, державшим под контролем все полиэтничное население. Другие специалисты придерживаются иной точки зрения. «Невозможно, чтобы в полиэтничном обществе правил один человек. Ведь там все время совершались бы государственные перевороты, — настаивает археолог Линда Мансанилла (Linda R. Manzanilla) из Национального автономного университета Мексики. — В Теотиуакане существовало корпоративное общество, и это противоположность тому, что было у майя».

На основании результатов собственных раскопок Мансанилла утверждает, что Теотиуакан управлялся не единым верховным правителем, а четырьмя могущественными семейными кланами, борющимися друг с другом за господство — примерно как в американском телесериале «Игра престолов». Если предлагаемая Сугиямой интерпретация Теотиуакана напоминает Древний Египет, то вариант Мансаниллы имеет что-то общее с Римской республикой — мощным древним государством, где верховную власть осуществляло народное собрание (комиции). Правители Теотиуакана были лишь номинальными фигурами, которые контролировались активными силами все тех же четырех кланов, символически представленных в скульптуре и настенных изображениях Теотиуакана: койот, пернатый змей, ягуар и орел. Каждый из этих кланов господствовал в четверти города и имел своих представителей в административном центре, где были созданы специальные отдельные подразделения. Сильнейшими были клан пернатого змея и клан ягуара, не случайно самые

богато украшенные храмы — пирамида Солнца и Храм Пернатого Змея — расположились по одну сторону Дороги Мертвых.

И сторонники Мансаниллы, и сторонники Сугиямы считают утверждения другой стороны необоснованными. Как могло произойти, что после десятилетий исследования одного и того же объекта эти два археолога пришли к абсолютно разным выводам? Причина отчасти в том, что Мансанилла смотрит на Теотиуакан через совсем другие очки. Сугияма всю свою карьеру видел в Теотиуакане некий эквивалент Мемориала Джорджа Вашингтона; Мансанилла, в свою очередь, занималась в прошлом раскопками в Джорджтауне: в основе ее представлений о Теотиуакане лежит 20-летний опыт археологических исследований в домах простых местных жителей. Так, в 1990-е гг. она вела раскопки в Остойахуалько, жилком комплексе ремесленников на северо-западе Теотиуакана, — в том районе, где, по ее расчетам, господствовал клан орла. В отличие от жилых комплексов майя, имевших лишь одно место поклонения богам, здесь можно было найти множество такого рода мест, относившихся к самым разным религиозным традициям. Для Мансаниллы именно эта полиэтничность представляет собой характерную особенность Теотиуакана. Она видит некую территорию, которая могла процветать лишь благодаря контролю богатых иностранных землевладельцев над ведущими сюда торговыми путями и над доставкой по ним товаров, что обеспечивало быстрое развитие всей территории. При наличии столь большого числа мощных группировок единственному властителю было бы очень трудно держать в своих руках все население. С началом консолидации земель этого города в 150 г. до н.э., говорит Мансанилла, отдельная группировка не имела бы монополии на ресурсы, как некоторые

правители майя. Она указывает, что для создания империи правителям Теотиуакана требовалось получать налоги с провинций. Каждый выступавший в качестве плательщика налогов влиял на процесс осуществления власти. Причем имевшие контроль над самыми богатыми территориями — например, Храм Пернатого Змея — располагали наибольшей возможностью воздействовать на принятие решений.

Подобное вынужденное разделение власти хоть и редкость для древнего мира, но не что-то совсем уж небывалое. Древняя Греция и Древний Рим, несомненно, в течение многих лет были республиками. В 2000 г. до н.э. древний город Мохенджо-Даро в долине реки Инд, на территории современного Пакистана, также, похоже, делил власть с городом Хараппа; в свою очередь, древний город Тиауанако в нынешней Боливии вплоть до 1000 г. н.э. делил власть с расположенным севернее городом Уари.

Разделение власти с городом, который не удалось завоевать, отличается, впрочем, от соправления внутри города. Мансанилла признает, что большинство древних цивилизаций имели только лишь одного правителя и что предлагаемая ею версия структуры власти выглядит несколько странно. И все же она убеждена, что в любом регионе отдельные культуры должны были испробовать на себе такое совместное правление. При этом в качестве наиболее убедительного доказательства своей правоты она представляет не то, что она нашла, а нечто такое, что ей не удалось найти. То, что не нашел никто.

«Где изображен этот могущественный правитель? Где он похоронен? Где его дворец? Можно ли себе представить, чтобы в таком городе, как Теотиуакан, с населением 125 тыс. человек, был лишь один правитель? Место его проживания и место его захоронения должны были бы представлять собой что-то выдающееся. Вне всяких сомнений. Но мы этого не наблюдаем, — отмечает она. — Все должны были бы видеть его изображение на сосудах, на троне, на стелах, да и в самих этих дворцах».

Зато повсюду в городе ей попадался на глаза четырехлепестковый цветок. Как поясняет историк Альфредо Лопес Аустин (Alfredo Lopez Austin) из Национального автономного университета Мексики, этот символ может обозначать те самые четыре семейных клана, что управляли этим городом. Как в Древнем Риме, здесь было привычным устраивать заговоры и решать вопросы силой. По мере расширения Теотиуакана и распространения его влияния местная элита все более брала город под свой контроль. Городские рынки начали мостить камнем, повсюду стал появляться дорогой известняк. Элита всех четырех кланов становилась жадной и соперничала между собой.

До определенной степени археологические данные подтверждают подобный сценарий. Исследователи находят все больше свидетельств того, что люди съезжались в этот город со всего Мексиканского нагорья и затем, в течение сотен лет, сохраняли свое этническое наследие. Точно так же, как в Нью-Йорке имеются испанский

Гарлем (место проживания крупнейшей в городе диаспоры латиноамериканцев) и Чайнатаун (китайский квартал), в Теотиуакане были районы для приезжих из южной долины Оахака, для майя и для выходцев из полосы земли, соединявшей этот город с Мексиканским заливом. Возьмем, например, квартал Теопанкаска, находящийся чуть южнее Храма Пернатого Змея. В начале 2000-х гг. Мансанилла производила раскопки в том месте, где доминировала элита с земель вдоль торгового пути в нынешний город Веракрус, расположенный восточнее Мехико; символом этой элиты, как она полагает, и был пернатый змей. Располагаясь на столь выгодном маршруте, эти люди должны были контролировать огромные богатства и, таким образом, могли оказывать финансовую поддержку соседнему храму — в качестве платы за свой символ.

По результатам проделанной Мансаниллой работы элита пернатого змея потребляла 12 различных видов рыбы, соленой и копченой, из своих родных мест по берегам Мексиканского залива, примерно в 210 км от Теотиуакана, а свою одежду украшала привезенными отсюда морскими ракушками. «Представители этой элиты соперничали друг с другом, демонстрируя лучшую косметику, красители, кожу, хлопчатобумажные ткани, различные наряды и головные уборы», — замечает она.

Нигде это соперничество не проявлялось столь явно, как при похоронах. С 2005 г. Мансанилла внимательно исследовала несколько красиво оформленных элитных могил в Теопанкаска, где были похоронены дети подросткового возраста. Их останки оказались искусно разрисованы киноварью, украшены зелеными камнями и слюдой, которые усиленно добывались по всей империи, как дополнение к тем материалам, что привозились из их родных мест.

Богатые люди столетиями жили во все более роскошных условиях, возводя свои дворцы и облицовывая их разными видами камня, которые приходилось доставлять из очень далеких мест. Однако такая шикарная жизнь не могла продолжаться вечно. В 350 г. н.э. что-то внезапно сломалось. Судя по всему, 29 представителей элиты были тогда обезглавлены, а их отрубленные головы украшены характерным для древнего Веракруса образом. Как предполагает Мансанилла, тем самым совершился ритуал «терминации», означавший своего рода культурное преобразование. В это же время перед Храмом Пернатого Змея выросла пирамида с изображениями ягуаров — словно некий художник переделал вкруг свой эскиз. По существу, с этого момента по всему Теотиуакану почти перестали появляться новые изображения пернатого змея, что, по мнению Мансаниллы, означало существенное уменьшение влияния людей из района города Веракрус.

Но эти люди не пропали совсем — поскольку позднее, надо полагать, образовалась новая линия этой элиты, которая явно преуспевала в квартале Теопанкаска еще на протяжении нескольких столетий. Затем в 550 г. н.э. город Теотиуакан сгорел. Никто не знает, как это произошло. По словам Мансаниллы, никаких признаков

военного вторжения нет. Налицо лишь огромный разрыв между богатыми и бедными. Исследование человеческих останков в квартале показывает, что многие богатые люди имели хорошее состояние здоровья, тогда как бедные недоедали, имели проблемы со спиной из-за переноски тяжестей и даже страдали заболеваниями от нехватки солнечного света — вероятно, следствие изнурительной работы в каких-нибудь темных мастерских. «Я предполагаю, что средняя элита восстала против правящей элиты, — замечает она. — А когда правящая элита попыталась сдержать это выступление, было уже поздно. У этих людей уже появились большая материальная заинтересованность, множество союзников на торговых путях — и они разом поднялись».

После этого, теоретизирует Мансанилла, кающееся руководство сосредоточило свои усилия на строительстве по всей территории Теотиуакана жилья, а не изыскан-

Весной 2013 г., используя робота с дистанционным управлением, Гомес Чавес добрался до двух из трех больших камер, остававшихся в конце туннеля. В одной были десятки шаров из кварца, в другой — пиритовые зеркала. Никто из археологов не представлял их предназначения и никогда не видел ничего подобного

ных дворцов. Через какие-то 100 или более лет в городе наступил окончательный крах. Для элиты, продолжает она, подобное развитие событий должно было означать необходимость возвращаться к местам своего рождения, разбросанным по уголкам империи.

Исследования в квартале Теопанкаска показывают реальную жизнь в городе Теотиуакан, в стороне от величественных храмов. При всем его многообразии этот город не был плавильным котлом. Он скорее напоминал лоскутное одеяло, где каждая культура сохраняла собственную идентичность и существовала в условиях жесткой конкуренции со своими соседями за престиж и власть. Эта лоскутность может объяснить отсутствие единого письменного языка или изображений местных королей — в противоположность тому, что было у майя. Ведь существование подобного изображения означало бы предоставление одной стороне чересчур большого преимущества.

Наиболее, пожалуй, замечательная особенность археологического исследования Теотиуакана состоит в том, что правильной может быть как теория Мансаниллы, так и теория Сугиямы. По предположению Джорджа Каугилла (George Cowgill), заслуженного профессора в отставке Университета штата Аризона, город Теотиуакан вполне мог периодически переходить с одной модели правления на другую в зависимости от прихода к власти соответствующего правителя. Впрочем, с такого рода компромиссом не готовы согласиться ни Мансанилла, ни Сугияма.

Тайная комната

Археологи могли бы так и не узнать наверняка, кто правил в Теотиуакане. Однако уже очень скоро Серхио Гомес Чавес (Sergio Gómez Chávez) может найти важный недостающий элемент в этой головоломке. Гомес Чавес, археолог из мексиканского Национального института антропологии и истории, на протяжении десятилетий ведет раскопки в Теотиуакане — как в домах простых людей (например, в районе Оахака), так и в больших величественных храмах. В эту работу входила расчистка дренажной системы Храма Пернатого Змея с тем расчетом, чтобы попытаться восстановить ее и защитить это сооружение от дальнейшего разрушения водой во время сильных ливней. Как выяснилось, древняя дренажная система отлично функционирует. Однако Гомес Чавес обнаружил, что она была намеренно забита телами 50 человек с отсутствующими руками и ногами. Кто прокладывает дренажную трубу лишь для того, чтобы ради какого-то обряда закупорить ее? Гомес Чавес знал, что блокирование этого дренажа произошло примерно в то же время, когда был построен четвертый вариант пирамиды Луны. Что если это было сделано с каким-то намерением? Что если горожане сознательно ежегодно устраивали здесь наводнения, создавая что-то вроде Зеркального пруда в Вашингтоне (жители Теотиуакана были известны своими водохозяйственными проектами, включая отведение речных стоков)? Как раз во время одного из таких наводнений, в памятный четверг октября 2003 г., этот археолог сделал самое потрясающее свое открытие.

«Я прихожу, как и в любой другой день, на работу, а тут рабочие сообщают мне, что возле храма образовалась большая дыра», — вспоминает Гомес Чавес. Он бросился к этому месту — и действительно: от прошедшего ночью дождя открылся идеально ровный круглый проход, уходивший вертикально вниз, в темноту. Он без колебаний попросил одного из рабочих найти веревку. Хотя ученого нельзя назвать опытным спелеологом, он закрепил на себе эту веревку, и несколько рабочих без лишних слов опустили его в проход. Этот проход — на 30–60 см шире его плеч — уходил вниз примерно на 15,5 м. Он почти полностью был схож с привычным колодцем за исключением того, что, достигнув дна, Гомес Чавес заметил на противоположных его сторонах рыхлые заплаты из почвы и породы, которые словно маскировали продолжение туннеля в обоих направлениях. В верхней части

одной из заплат оставалось сквозное отверстие, через которое ему почти удалось заглянуть внутрь. «Я целую неделю не мог спать, — вспоминает он. — Ведь неизвестно, что там могло оказаться».

Этот прямой горизонтальный туннель, идущий перпендикулярно к вертикальному проходу, казалось, навсегда был забит почвой и породой. Один его конец вел к давно уже скрытому от глаз ритуальному входу. Другой, как вскоре узнал Гомес Чавес, вообще уходил в неизвестность — в глубину под основанием Храма Пернатого Змея. Обнаруженный вертикальный проход, вероятно, предназначался для вентиляции, освещения или для того, чтобы видеть через него звезды. Если бы его не нашли, этот туннель мог навсегда остаться тайной. Так началась десятилетняя работа по расчистке туннеля и раскрытию того, что в нем скрывалось. Туннель был засыпан примерно в III в., в критически важный период развития империи. Используя георадар и ультразвуковой локаатор, Гомес Чавес выяснил, что туннель ведет к трем отдельным камерам под центром храма. Шаг за шагом, он стал пробивать к ним дорогу — и сегодня почти уже достиг цели.

Несколько месяцев назад Гомес Чавес пригласил меня осмотреть этот туннель. И вот я уже стою здесь, у подножия Храма Пернатого Змея, посреди широкого пространства, которое, как он считает, когда-то каждый год намеренно затапливалось водой. При движении по туннелю меня поражает, насколько тут прохладно. Снаружи жаркий осенний день, но здесь, внизу, царит холодная сырость. Гомес Чавес замечает, что, когда люди Теотиуакана использовали этот туннель, уровень подземных вод доходил им до ног. Возможно, предполагает он, именно по этой причине туннель был прорыт на такой глубине. Холодное и темное место с покрытым водой дном могло символически изображать преисподнюю. В нескольких местах туннеля я заметил остатки особой глины, использовавшейся для облицовки его стен. Усыпанная поблескивающими частицами пирита, поверхность глины выглядела почти как ночное небо с мерцающими звездами. «Это больше уже не храм в честь Кецалькоатля, а храм, напоминающий нам о начале мифического времени», — говорит он задумчиво.

К настоящему времени Гомес Чавес и его коллеги уже извлекли из туннеля почти 1 тыс. т забивавшей его почвы с породой. В процессе этой работы они обнаружили, одну за другой, две боковые запечатанные камеры с находившимися внутри изысканными подношениями богам, включая маски, оружие и даже тростниковые циновки, которые вполне могли бы использоваться в качестве трона. «Концентрация артефактов поразительная. Просто невероятно, какие вещи он находит», — восхищается Сугияма. Сейчас эти пустые камеры по краю туннеля напоминают простые ямы. Когда идешь по положенным на дно деревянным доскам, приходится быть внимательным, чтобы не соскользнуть в одну из них.

Весной 2013 г., используя робота с дистанционным управлением, Гомес Чавес добрался до двух из трех больших камер, остававшихся в конце туннеля. В одной

были десятки шаров из кварца, в другой — пиритовые зеркала. Никто из археологов не представлял их предназначения и никогда не видел ничего подобного. Находясь возле этих пустых камер, я опускаюсь на корточки и пытаюсь разглядеть впереди ту самую последнюю камеру, что еще остается нераспечатанной. Она расположена примерно на метр ниже меня. «Там внизу очень сыро, — поясняет Гомес Чавес. — Сейчас из-за этой воды и грязи нам пришлось замедлить продвижение».

Гомес Чавес полагает, что все это — тщательно продуманное ритуальное место, где люди совсем ненадолго покидали земной мир, а затем возвращались в него уже правителями. Сугияма, немного раздосадованный тем, что не сумел найти этот туннель во время собственного исследования, считает, что более вероятного места для гробницы правителя просто не существует. Даже Мансанилла согласна с тем, что обнаружение этой гробницы имело бы для Теотиуакана огромное значение. Она настойчиво повторяет, что это не разрушит ее теорию, хотя все будет зависеть от того, что окажется внутри.

В поисках подтверждения выдвинутой теории Мансанилла продолжает вести раскопки на своем объекте, именуемом Шала. Он представляет собой комплекс из пяти зданий недалеко от пирамиды Солнца, которые расположились в виде ромба, что очень напоминает четырехлепестковый цветок с храмом посередине. Это и есть, по ее мнению, административный центр города, куда каждый из четырех семейных кланов присылал своих представителей для контроля деятельности остальных.

В любом случае, подтвердит ли Мансанилла свою теорию о разделении власти, или Гомес Чавес найдет похороненного в конце туннеля всемогущего правителя, Теотиуакан уже никогда не будет прежним. Жизнь его людей, которую 1,3 тыс. лет окутывала тайна, словно выплывающий из тумана корабль, наконец начинает постепенно проявляться перед нами. ■

Перевод: А.Н. Божко

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

■ Human Sacrifice, Militarism, and Rulership: Materialization of State Ideology at the Feathered Serpent Pyramid, Teotihuacan. Saburo Sugiyama. Cambridge University Press, 2005.

■ Corporate Life in Apartment and Barrio Compounds at Teotihuacan, Central Mexico. Linda R. Manzanilla in Domestic Life in Prehispanic Capitals: A Study of Specialization, Hierarchy and Ethnicity. Edited by Linda R. Manzanilla and Claude Chapdelaine. University of Michigan Museum of Anthropology, 2009.

ЛОВЧАЯ СЕТЬ

Дэвид Экер

Биоинженеры близки к завершению работ над компьютеризированными устройствами, которые смогут быстро идентифицировать практически любые бактерии, вирусы или патогенные грибы, а сетевая связь между ними вскоре позволит органам здравоохранения обнаруживать вспышки заболеваний раньше, чем когда-либо, спасая таким образом человеческие жизни



для МИКРОБОВ



ОБ АВТОРЕ

Дэвид Экер (David J. Ecker) — ученый и изобретатель, работавший в компании *Ibis Biosciences*, которая входит в состав американской химико-фармацевтической корпорации *Abbott*.



К

ак-то раз, проходя через старое кладбище неподалеку от Филадельфии, я обратил внимание на даты рождений и смертей, вырезанные на надгробиях. Они напомнили мне о том, что вплоть до начала XX в. большинство людей умирали, не достигнув 50 лет. Основными причинами смерти были такие инфекционные заболевания, как оспа, грипп и пневмония.

В наши дни в развитых странах от заразных болезней умирают гораздо реже: улучшение санитарных условий, здоровое питание, разработка вакцин и антибиотиков — все это практически свело к нулю вероятность преждевременной смерти от инфекционных заболеваний. Но, как ни удивительно, сейчас мы вновь оказались перед лицом ситуации, когда от простуды можно умереть, не достигнув зрелого возраста. Дело в том, что многие микроорганизмы становятся все более и более устойчивыми к существующим лекарственным препаратам, а фармацевтическая промышленность не успевает разрабатывать новые.

Хорошо известно, что одной из главных причин повышения устойчивости микроорганизмов стало то, что врачи слишком часто прописывают антибиотики, хотя их позицию нетрудно понять. Ведь нынешние способы идентификации патогенов, как правило, не могут быстро дать ответ, вызвана ли болезнь одним из видов бактерий (а их множество, и разные группы чувствительны к разным антибиотикам) или иными возбудителями (которые, в отличие от бактерий, к антибиотикам

не чувствительны вовсе). В большинстве случаев для культивирования микроорганизмов с целью идентификации требуется несколько дней. Но откладывать начало лечения до выявления возбудителя нельзя, поскольку это может оказаться смертельно опасно для пациента. Неудивительно, что врач, стараясь перестраховаться, назначает мощные антибиотики широкого спектра действия, которые уничтожают самые разные виды бактерий, которые уничтожают самые разные виды бактерий. Однако нередки случаи, когда погибают не все патогены — некоторые оказываются устойчивыми и получают возможность беспрепятственно распространяться, т.к. все их конкуренты уничтожены. Они передаются другим людям и живут, никак себя не проявляя до тех пор, пока не возникнут подходящие условия для их массового размножения, что и приводит к заболеванию. Итак, современные методы терапии помогают надежно защитить пациентов прямо сейчас, но они же гарантируют появление все большего числа все более устойчивых к антибиотикам бактерий в ближайшем будущем.

К счастью, мы уже сейчас близки к тому, чтобы разорвать этот порочный круг. Речь идет о разработке новых молекулярных биосенсоров, которые позволят быстро отличать бактерии от прочих патогенов и определять их конкретный вид и штамм. Ключевой момент во всем этом — именно быстрота метода, жизненно важная для пациента. Высокая скорость идентификации обусловлена тем, что биосенсоры одновременно ведут поиск почти всех известных патогенных микроорганизмов, в то время как существующими методами за один тест можно выявить лишь один вид возбудителя. Кроме того, врачам больше не нужно будет гадать, какие именно штаммы бактерий стали причиной болезни. Среди биоинженеров сейчас идет настоящая гонка за первенство в разработке бактериальных биосенсоров. Основой для создания одного из таких приборов стали и мои исследования, проведенные в компании *Ibris Biosciences*, ставшей ныне частью корпорации *Abbott*.

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Новые биосенсоры всего за несколько часов могут идентифицировать в клинических образцах возбудителя инфекции.
- Благодаря этому каждый пациент сможет получать более оперативное и адекватное лечение, а врачи — назначать антибиотики только в тех случаях, когда без них действительно нельзя обойтись.
- В США объединение всего 200 подобных биосенсоров в общенациональную сеть дало бы возможность на самых ранних этапах узнавать о вспышках инфекционных заболеваний и даже об атаках биотеррористов.
- Основные проблемы, стоящие на пути создания такой сети, — отнюдь не технические, а в основном политические и управленческие.

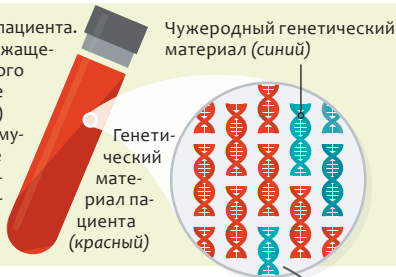
Как это работает

БИОСЕНСОР БЫСТРОГО РЕАГИРОВАНИЯ

В настоящее время идет разработка сложнейших комплексных устройств, сочетающих в себе биологический, физический и математический инструментарий, с помощью которых можно идентифицировать более тысячи видов патогенных микроорганизмов, опасных для человека. Сеть таких биосенсоров, охватывающая всю страну или отдельный регион, обеспечит своевременное выявление вспышек инфекционных заболеваний или их угрозы, а также подскажет наиболее эффективные методы лечения.

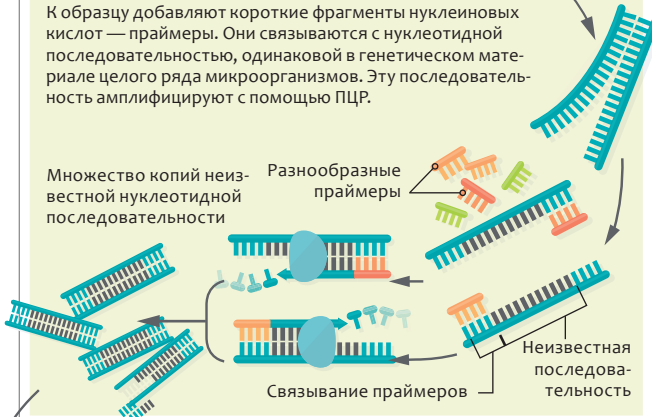
Шаг 1

Забор образца крови пациента. Основная масса содержащегося в нем генетического материала (различные нуклеиновые кислоты) принадлежит организму-хозяину, но некоторое количество имеет бактериальное происхождение (патогенный микроорганизм).



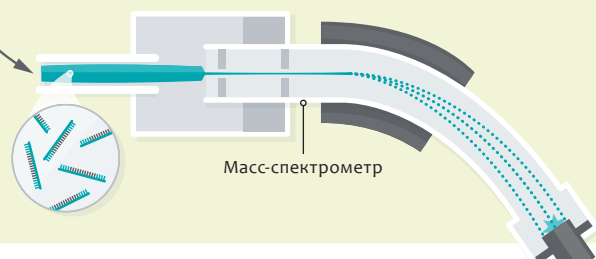
Шаг 2

К образцу добавляют короткие фрагменты нуклеиновых кислот — праймеры. Они связываются с нуклеотидной последовательностью, одинаковой в генетическом материале целого ряда микроорганизмов. Эту последовательность амплифицируют с помощью ПЦР.



Шаг 3

С помощью масс-спектрометра определяют молекулярную массу амплифицированного сегмента, а затем математическими методами высчитывают число нуклеотидов каждого типа.



Шаг 4

Производится идентификация возбудителя путем сопоставления полученных данных с нуклеотидными последовательностями различных участков ДНК и РНК вирусов, бактерий и патогенных грибов из базы данных.



Вероятно, уже через несколько лет биомолекулярные устройства экспресс-идентификации патогенов станут доступными на коммерческой основе для больниц и поликлиник. И не исключено, что правильная организация работ в конце концов приведет к объединению биосенсоров в общенациональную или даже глобальную сеть. В результате мы получим универсальную, функционирующую в режиме реального времени диагностическую систему для своевременного предупреждения о вспышках новых инфекций, эпидемиях, пандемиях и даже о массовых заражениях, обусловленных действиями потенциальных биотеррористов.

Время для обновления

Традиционные методы идентификации возбудителей основаны на их культивировании (выращивании в лаборатории) — этот подход Луи Пастер разработал более 150 лет назад. Врач берет пробы крови, слизи или мочи и помещает их в колбы с питательным бульоном либо высеивает в чашки Петри на слой агар (желатинообразного вещества, получаемого из морских водорослей), который также содержит набор необходимых питательных веществ. Через день-два в культуре образуется достаточное количество дочерних клеток, чтобы можно было приступить к их идентификации. Затем проводят тест на чувствительность данных бактерий к тем или иным лекарственным препаратам. Даже если бы описанный подход занимал меньше времени, он все равно был бы далек от идеала хотя бы уже потому, что многие патогенные микроорганизмы нуждаются в особых условиях для роста и размножения и плохо растут в культуре. В некоторых случаях вырастить бактерии, взятые от пациента, вообще не удастся — например, если еще до начала анализа пациент получал антибиотики.

Впервые я заинтересовался проблемой диагностики инфекционных заболеваний и путей передачи их возбудителей от больных к здоровым, когда занимался поисками новых подходов к созданию антибиотиков в Агентстве передовых оборонных исследовательских проектов (DARPA). Целью проекта была идентификация среди тысяч соединений тех немногих, которые инактивировали бы множество разных видов бактерий, разрушая определенный участок молекулы РНК, необходимой для нормальной работы всех живых клеток.

Чтобы выяснить, связываются ли потенциальные лекарственные вещества с бактериальной РНК, мы с коллегами использовали масс-спектрометр. По сути, этот прибор представляет собой очень точные весы, способные взвешивать и определять массы отдельных молекул. Какова молекулярная масса бактериальной РНК, хорошо известно, поэтому мы могли вычислить массу любого вещества, которое к ней присоединилось. Точно так же мы вычисляем массу своей собаки, сначала встав на весы с ней на руках, а затем вычитая из полученной величины собственную массу. Знание молекулярной массы вещества — это уже, по сути, его идентификация, т.к. для каждого химического соединения она уникальна.



Картирование случаев заболевания холерой (черный) в Лондоне в 1854 г. привело врача Джона Сноу к источнику болезни — водопроводу, загрязненной фекалиями (красный). Подобные карты составляют и сегодня, чтобы точно определить источник инфекции или место атаки биотеррористов. Предложенная автором данной статьи система взаимосвязанных биосенсоров способна значительно упростить и ускорить этот процесс.

Вскоре мы поняли, что подобным же образом можно идентифицировать и различные виды бактерий, вирусов, грибов и других патогенов, взвешивая их молекулы РНК или ДНК. Полимерная цепочка каждой РНК или ДНК состоит из нуклеотидов, которые обозначают разными буквами в зависимости от названий входящих в их состав азотистых оснований: А (аденин), С (цитозин), G (гуанин) и либо U (урацил) в случае РНК, либо Т (тимин) в случае ДНК. Некоторые сегменты молекул нуклеиновых кислот уникальны для тех или иных видов патогенных микроорганизмов. Поскольку различные нуклеотиды неодинаковы по молекулярной массе, мы можем определить количество любого нуклеотида в каждой цепочке, основываясь исключительно на результатах масс-спектрометрии. Например, ДНК, масса которой по масс-спектрометрическим данным составляет 3876505 дальтона (дальтон — это единица атомной массы), должна состоять из 43 молекул аденина, 28 гуанина, 19 цитозина и 35 тимина — только такая комбинация может в совокупности дать эту массу, иначе пришлось бы дробить нуклеотиды на части, а это нонсенс. В свою очередь, данная информация однозначно указывает, с каким микроорганизмом вы имеете дело.

Используя этот метод, мы можем, например, подсчитать монеты в копилке, где лежат только монеты по 25 центов, каждая массой 5,67 г, и пятицентовые монеты массой 5,0 г. Если общая масса монет составляет 64,69 г, то в копилке находятся семь четвертаков и пять пятицентовиков ($64,69 = 5,67q + 5n$, где q и n — целые положительные числа или нуль). При любом другом числе четвертаков нам пришлось бы дробить пятицентовики — очевидная глупость.

Для идентификации возбудителей необходимо отличать ДНК или РНК патогенного организма от тех, которые принадлежат самому пациенту. Как правило, объем патогенного материала слишком мал, чтобы делать на его основе информативные измерения, поэтому его количество необходимо увеличить (амплифицировать). Для этого мы использовали метод ПЦР (полимерно-цепной реакции), но в сочетании с масс-спектрометрией, что позволяло за один раз идентифицировать множество видов и штаммов микроорганизмов.

Главным достоинством данного подхода представляется то, что достаточно небольшого количества материала для идентификации патогенов. Но при этом необходимо быть максимально точным в выборе сегментов ДНК или РНК для амплификации: они должны содержать консервативные последовательности нуклеотидов, т.е. идентичные для больших групп микроорганизмов — например для всех грамположительных или же грамотрицательных бактерий, и при этом граничить с участками, уникальными для данного конкретного вида, например золотистого стафилококка (*Staphylococcus aureus*). Выполнив эти условия, мы смогли идентифицировать

конкретные виды и подвиды микроорганизмов за довольно короткое время. Это выглядело так: после выделения из микроорганизма РНК или ДНК мы добавляли в образец так называемые праймеры (короткие фрагменты ДНК, которые подражают естественному механизму запуска процесса копирования нуклеотидов, характерному для живой клетки). Связываясь с комплементарным участком сегмента ДНК, они инициировали процесс амплификации. Теперь мы могли определить молекулярную массу сегментов с помощью масс-спектрометра, получив последовательность цифр, и сопоставить ее с базой данных по фрагментам ДНК и РНК, содержащей информацию о тысяче с лишним болезнетворных микроорганизмов.

Анализатор и его программное обеспечение представляют собой универсальный детектор патогенов, способный всего за несколько часов определить как тип микроорганизма, так и уникальные признаки, позволяющие идентифицировать его до уровня вида или штамма.

Прототип такого устройства, в создании которого принимал участие и я, прошел испытание в реальных условиях в 2009 г., когда в двух удаленных друг от друга точках Южной Калифорнии были выявлены два пациента — девятилетняя девочка и десятилетний мальчик — со сходными симптомами, напоминающими гриппозные. Естественно, врачи провели стандартные экспресс-тесты мазков из носоглотки пациентов на возбудитель гриппа (так называемые скрининг-тесты). Полученные результаты подтвердили, что это действительно был вирус гриппа, но какой именно из его многочисленных штаммов, определить не удалось.

Образцы были посланы в Сан-Диего, где неподалеку находился Научно-исследовательский центр

санитарной службы ВМС. Там их подвергли многократным проверкам на прототипе нашего аппарата. Прибор выдал результат, оказавшийся, как впоследствии выяснилось, совершенно правильным: оба ребенка были заражены одним и тем же штаммом вируса, с которым медицина ранее не сталкивалась. Устройство выявило также, что штамм имеет современное происхождение и его источником выступают свиньи, поскольку нуклеотидный состав РНК этого вируса ближе всего соответствовал, согласно нашей базе данных, штаммам, вызывающим грипп именно у этих животных. Далее мы определили масс-спектрометрическим методом нуклеотидный состав РНК вирусов для этих двух первых случаев и обнаружили, что он совпал с таковым у РНК возбудителей в образцах, взятых у пациентов, которые заболели так называемым свиным гриппом. Сегодня мы знаем, что его возбудитель — штамм *H1N1*, именно он вызвал пандемию в 2009 г. Никто теперь уже не может сказать, позволила ли полученная нами информация спасти чьи-либо жизни, но очевидно, что лишней она не была. Несомненно также, что наличие поставленной на поток технологии, которая квалифицировала штамм вируса свиного гриппа как ранее неизвестный науке, сыграло большую роль в выявлении новых вспышек этой болезни.

Не менее велико значение универсальных детекторов патогенов в тех случаях, когда врачи вообще не могут идентифицировать возбудителя болезни у пациента. Детекторы способны помочь и при выборе препаратов для лечения: масс-спектрометрические данные указывают не только на конкретные штаммы бактерий, но и на их восприимчивость к различным антибиотикам, что позволяет назначать их только в тех случаях, когда они действительно необходимы и притом наиболее эффективны. Таким образом, пациенты — даже те, кто заражен резистентными к антибиотикам штаммами, — несомненно выиграют от применения этой технологии, т.к. оперативно получат оптимальное лечение.

От отдельного пациента — к популяции

Рассмотрим теперь значимость новых технологий для здравоохранения. Врачи, несомненно, много выиграют от того, что смогут быстро определять, не инфицированы ли несколько человек в одной и той же местности одним и тем же патогеном, например бактериями рода *Salmonella*. До недавнего времени, получив сигнал о массовом пищевом отравлении, сотрудники отдела общественного здравоохранения были вынуждены заниматься эпидемиологическим исследованием по традиционной схеме, опрашивая пациентов и отслеживая их недавние перемещения, чтобы определить, что объединяет все случаи заболевания, — например, не были ли все заболевшие завсегдатаями одного и того же ресторана или любителями определенного ингредиента, используемого при изготовлении салата. Этот метод восходит еще к Джону Сноу (John Snow), который расследовал в 1854 г. причину эпидемии холеры в Лондоне и вышел в результате на одну из городских водокачек. Увы, даже сегодня такое

исследование может длиться недели и даже месяцы — вот почему по-настоящему изучаются и локализуются только самые серьезные и массовые вспышки инфекций.

Впрочем, существует способ и получше — и главный его инструмент, скорее всего, прямо сейчас лежит в чьем-то кармане или дамской сумочке. Разве не носят сегодня с собой большинство людей мобильные телефоны? В телефонах же теперь обычно есть функция передачи координат владельца с помощью самой операционной системы либо одного из базовых приложений. Кроме того, провайдеры мобильной связи имеют доступ к информации о каждом абоненте с ретранслирующих станций, и это позволяет определить его местонахождение в любой момент времени. Итак, если зараженный особо опасным патогеном добровольно даст доступ к данным о его передвижениях на своем сотовом телефоне, то эпидемиологи смогут быстро определить, посещали ли все пациенты, зараженные тем же возбудителем, в течение определенного промежутка времени одно и то же место.

Естественно, при использовании данных сотовой связи должны выполняться те же требования по охране частной жизни, что и при традиционных исследованиях. Разница лишь в одном: новый подход несравненно оперативнее. При правильно налаженной координации данные, получаемые от сети универсальных детекторов патогенов, могут сделать куда больше, чем «просто» (а в действительности — мгновенно) выявлять такие опасные для здоровья населения ситуации, как эпидемии, атаки биотеррористов или пищевые отравления. Помимо всего этого специалисты в области здравоохранения могли бы сразу определять, где возникла та или иная инфекция и остается ли она все еще в пределах одного города или уже успела распространиться по другим населенным пунктам. В случае необходимости нужные сведения можно было бы сразу передавать пациентам или местным органам здравоохранения, а врачи могли бы значительно быстрее обмениваться информацией об эффективных методах лечения.

Построение такой сети — я назвал ее «Сеть экстренного оповещения» (*Threat Net*) — означало бы мгновенный переход в области медицинской диагностики и эпидемиологии из XIX в. прямым в XXI в.

Велика ли сеть?

Если представить распространение инфекции в виде социальной сети, то, используя математические методы, можно оценить, сколько детекторов должны находиться в контакте друг с другом, чтобы вся система могла эффективно и своевременно оповещать всех заинтересованных лиц и организации на территории данной страны или региона. Один из простейших способов решения подобной задачи — использование метода Монте-Карло. Его суть заключается в выполнении компьютером одной и той же операции при разных исходных условиях, с тем чтобы получить максимально возможный диапазон решений. Аналогичные расчеты постоянно используют инвестиционные компании, чтобы оценить сумму, которую необходимо перечислять на пенсионный счет конкретного

работника в зависимости от условий, складывающихся на рынке. Итак, исходя из данных о скорости распространения различных инфекционных заболеваний, информации о том, где и с какими симптомами люди обращаются за медицинской помощью, как часто проводятся диагностические тесты, а также о том, каков инкубационный период различных инфекций, я выполнил тысячи компьютерных операций, чтобы определить минимальный размер сети, при котором она действительно будет обеспечивать своевременное оповещение обо всем, что представляет опасность для здоровья населения.

Результаты оказались довольно любопытными. Для оповещения об опасности всего городского населения США вполне достаточно объединить в единую сеть всего 200 больниц, правда, при условии их тщательного отбора по всей стране. Для любого крупного города размером, скажем, с Вашингтон или Сан-Диего, потребуется лишь около пяти больниц, оснащенных универсальными биосенсорами, объединенными в общую сеть. Подобная система способна в 95 случаях из 100 оперативно выявлять опасные инфекционные заболевания (такие, как птичий грипп, сибирская язва, чума, пищевые отравления) уже после семи случаев обращения пациентов в отделение неотложной помощи.

Столь низкое число узлов сети, необходимое для функционирования всей системы, может показаться странным, но оно обусловлено явлением, которому я дал название «эффект воронки». Как известно, большинство больных лечатся дома. Но если человек заболевает серьезно, он все-таки обращается в больницу (и это будет первая «воронка»), где специалисты (вторая «воронка») примут решение о необходимости обследования. Иными словами, не нужно оснащать биосенсорами все население (это потребовало бы слишком большого числа устройств): «нужные» пациенты сами придут в учреждения, оснащенные биосенсорами.

Когда я закончил компьютерное моделирование вспышек самых частых инфекционных заболеваний из числа эпидемиологически опасных и сравнил скорость их выявления «Сетью экстренного оповещения» со скоростью реакции самой совершенной из сегодняшних традиционных систем, то оказалось, что наша сеть работает несравненно быстрее. Она опережала существующие системы на несколько дней, а то и недель. А ведь в реальной жизни разница в несколько дней может означать жизнь или смерть для тысяч людей: за этот срок больницы успевают подготовиться к наплыву пациентов, органы здравоохранения — насытить рынок необходимыми медикаментами, а эпидемиологи — определить источник инфекции.

Что дальше?

По моим подсчетам, создание сети из 200 больниц обойдется стране примерно в \$40 млн (при условии, что больницы самостоятельно приобретут необходимое оборудование), а в дальнейшем ежегодно потребуется около \$15 млн для поддержания сети в рабочем состоянии. Между тем один из последних (2012) анализов 14 вполне типичных случаев тяжелых массовых пищевых отравлений показал,

что прямые затраты на лечение пациентов и компенсации работникам составляют \$14 млрд в год. Что касается США, то руководство «Сетью экстренного оповещения» разумнее всего поручить Центрам по контролю и профилактике заболеваний, учитывая то, что их основная функция — отслеживание вспышек заболеваний и ими уже накоплен большой опыт в этой области.

До сих пор никому не удавалось создать столь эффективную систему эпидемиологического надзора, как «Сеть экстренного оповещения». Однако, если брать во внимание опыт прошлых лет, то разработка аппаратного и программного обеспечения — вероятно, еще не самая сложная часть работы. Должны быть учтены и рассмотрены различные нормативные и правовые вопросы, равно как и позиции различных заинтересованных лиц и организаций. И самое серьезное препятствие заключается в том, что пока никто не обладает правом и даже просто возможностью для запуска подобного проекта — несмотря на то что польза для всего общества от этого несомненна. В странах с децентрализованной и по преимуществу частной системой здравоохранения особенно трудно будет достичь необходимого уровня сотрудничества между врачами, медсестрами, администрацией больниц, специалистами в области здравоохранения и адвокатами, защищающими частную жизнь граждан.

Комплексный, охватывающий все общество подход к диагностике инфекционных заболеваний будет намного эффективнее и значительно дешевле, чем современные системы национального здравоохранения и другие, чисто медицинские, средства по выявлению возбудителей пандемий и бактериальных угроз. Комбинируя надзор за здоровьем населения в режиме реального времени с передовыми технологиями идентификации патогенов и современными сетевыми и коммуникационными технологиями, мы обретаем огромный потенциал для улучшения обслуживания пациентов, контроля над расходом противомикробных препаратов, а также коренной оптимизации системы оповещения о вспышках инфекционных заболеваний и атаках биотеррористов. Хватит ли нам мудрости и взаимопонимания, чтобы объединить наши усилия в деле создания новой системы здравоохранения, покажет будущее. ■

Перевод: В.Э. Скворцов

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Ibis T5000: A Universal Biosensor Approach for Microbiology. David J. Ecker et al. in *Nature Reviews Microbiology*, Vol. 6, pages 553–558; July 2008.
- Comprehensive Biothreat Cluster Identification by PCR/Electrospray-Ionization Mass Spectrometry. Rangarajan Sampath et al. in *PLOS ONE*, Vol. 7, No. 6, Article No. e36528; June 29, 2012.
- “Salvage Microbiology”: Detection of Bacteria Directly from Clinical Specimens following Initiation of Antimicrobial Treatment. John J. Farrell et al. in *PLOS ONE*, Vol. 8, No. 6, Article No. e66349; June 25, 2013.
- Больше о «Сети экстренного оповещения» см. по адресу: ScientificAmerican.com/jun2014/ecker-threat-net



АВГУСТ 1964

Жидкие кристаллы. Хотя жидкие кристаллы известны уже более 70 лет, в веществах, обладающих жидкокристаллической фазой, до недавнего времени видели скорее лабораторную диковинку, чем объекты исследований, перспективные в качестве практической пользы или

важные в теоретическом отношении. Однако в последние несколько лет некоторые ученые в США и других странах занялись их изучением. Первые результаты их исследований помогли прояснить необычную структуру молекул этих веществ, а также указали ряд их возможных приложений, обусловленных удивительной способностью жидких кристаллов реагировать на малые изменения температуры, механических напряжений, электромагнитного излучения и химической среды изменением своего цвета.



АВГУСТ 1914

Великая война. Еще никогда в истории войн не было случая, когда бы такое большое число военных с такой надменной уверенностью в своей непобедимости боролось за такую большую ставку, как та, за которую бьются сейчас вооруженные силы Германии на море

и на суше. Если Германия победит, она будет держать в своем железном кулаке всю Европу, а ее военные и торговые суда будут свободно плавать по всем морям и океанам. И между нею и мировым господством не останется ничего, кроме великой англоязычной республики Нового Света! Прояви Германия меньше жестокой самоуверенности, граничащей с презрением, когда она бросила себя в войну против всей Европы, она могла бы надеяться, что в случае поражения спрос с нее будет менее жестким. Но при нынешних условиях Европа, если она победит, предъявит весьма высокий счет.

Примечание: *изобразительные материалы и статьи о Первой мировой войне из наших архивов см. по адресу: ScientificAmerican.com/wwi*

Альтернатива парикю. Доктор Секей (Szekely) из Будапешта применяет метод «посадки» волос, который считают практичным. Из золотой проволоки диаметром 0,05 мм делается петля, почти невидимая невооруженным глазом. В эту петлю продевается женский волос подходящего цвета длиной 20–30 см. Проволока вставляется в короткую тонкую инъекционную иглу, загибается и отрезается, так что получается маленький крючок. Игла вводится обычным образом, поворачивается и осторожно извлекается. Созданный крючок крепит сложенный вдвое волос в подкожной ткани. Чтобы «обволосить» совершенно лысую голову (на илл.), может потребоваться до 50 тыс. волос. Но и в этом случае расход золота составит всего около одного грамма.



Маскировка лысины:

«насаждение» волос на золотых корнях в Венгрии, 1914 г.

Сверхпроводимость. «Изучая удельные сопротивления металлов при температурах, которые можно получить с помощью жидкого гелия, я предвидел, что при температуре 4,25° K измерить сопротивление ртути еще можно будет без особого труда, но при снижении температуры до 2° K (–271° C) оно станет пренебрежимо малым. Эксперименты подтвердили это предположение, но выявили неожиданный факт: сопротивление исчезает скачком. Температуру, при которой происходит это внезапное исчезновение сопротивления (4,19° K), т.е. ртуть переходит в новое состояние, характеризующее исключительной подвижностью электронов, я назвал критической. А это состояние, в котором ток можно поддерживать без заметной электродвижущей силы, мне кажется уместным назвать сверхпроводимостью». — Хейке Камерлинг-Оннес (Heike Kamerlingh Onnes).



АВГУСТ 1864

Калифорнийские муравьи.

В этом году численность муравьев, этих врагов продуктовых запасов калифорнийских домохозяек, превзошла все мыслимые пределы. В более теплых районах штата ничего съедобного нельзя было запасти, чтобы не привлечь мириады этих муравьев, и нанесенный ими урон существен. Старожилы не могут припомнить такого нашествия их, как в низинах Сакраменто и Сан-Хоакина в 1864 г. и в шахтах. Жители сообщают, что муравьи целыми армиями вторгаются во все кладовые, кухни и шкафы, а шахтеры говорят, что заранее запасают съестные припасы, чтобы пережить долгую суровую зиму!



РЕБЕНОК, ГОСПИТАЛИЗИРОВАННЫЙ

по поводу малярии, — один из 200 млн людей, ежегодно поражаемых этой болезнью; большинство из них проживают в Африке, где современные эффективные препараты недоступны вследствие их дороговизны



СЕМЕНА



ЖИЗНИ



Потеряв надежду найти новые лекарственные средства, которые могли бы победить малярию и другие болезни, фармакологи обратились к народной медицине и провели клинические испытания, давшие обнадеживающие результаты

Брендан Боррелл



ОБ АВТОРЕ

Брендан Боррелл (Brendan Borrell), проживающий в Нью-Йорке, — постоянный автор *Scientific American*, стипендиат Фонда Алисии Паттерсон.



В

ысокая женщина медленно приближалась к хижине местного целителя с видом принцессы. Как и на других представительницах племени пастухов-скотоводов на юге Мали, ведущих кочевой образ жизни, на ней было длинное, свободно ниспадающее платье синего цвета, губы подкрашены индиго и хной, а мочки ушей оттягивали массивные золотые серьги в виде полумесяца. Но как только она переступила порог жилища, опытный целитель заметил, что вся ее величавость висит на волоске. Женщина была ослаблена недавними родами, явно страдала анемией, лоб был горячим. Силы совсем покинули ее, она едва держалась на ногах и только без конца причитала. *Soutaya*, — произнес целитель. Малярия.

Два присутствовавших при этом визите врача — Бертран Грац (Bertrand Graz) из Лозаннского университета и Мерлин Уилкоккс (Merlin Willcox) из Оксфордского университета — немедленно приступили к делу. Они попросили женщину подписать листок с историей ее болезни и разрешением взять кровь, с тем чтобы определить содержание в ней паразитов, а также провести другие необходимые обследования. Теперь она стала полноправной участницей необычного эксперимента, цель которого состояла в оценке частоты излечения от малярии в результате приема отвара листьев ярко-желтого мака. Ко времени следующего визита — через три дня — состояние больной явно улучшилось.

Несмотря на то что многие одобренные Управлением по контролю качества пищевых продуктов и лекарственных препаратов (FDA) лекарственные вещества имеют растительное происхождение, клинические испытания средств народной медицины, где эти растения и применяются, почти не проводятся. Обычно дело с поиском

пригодных лекарственных средств обстоит так: вначале из растений, грибов или культур бактерий экстрагируют потенциально полезные вещества, исследуют их в лаборатории, проверяют безопасность на животных и только потом проводят клинические испытания на людях. В результате одобрение FDA получают всего 5% экспериментальных препаратов — слишком мало для того, чтобы заинтересовать фармацевтические компании. Впрочем, альтернатива — тестирование огромного количества синтетических продуктов — ничуть не лучше.

Такое положение вещей, не устраивающее никого, подтолкнуло Граца и Уилкоккса к поискам природных лекарственных средств с конца: прежде всего проверить действие растительного материала на больных и только потом выделять активные соединения. Предварительно они довольно долго наблюдали за теми, кто уже испытал на себе действие разных народных средств, и отобрали самые эффективные из них, чтобы затем организовать и провести собственные испытания. В результате было идентифицировано одно активное вещество, которое и стало отправной точкой для получения лекарственного препарата. Этот подход, названный обратной фармакологией, впервые использовали индийские фармакологи, опираясь на опыт применения традиционной системы индийской медицины — аюрведы. Ценность его заключается в том, что даже если вырабатываемое растением активное вещество никогда не станет официально признанным лекарственным средством, народные целители получают информацию о целесообразности применения его в своей практике. Подобные исследования малозатратны и вполне по средствам странам третьего мира: поначалу для этого не нужно ничего, кроме ручки

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Общепринятые методы поиска новых лекарственных веществ включают тестирование кандидатов *in vitro*, проверку их эффективности и безопасности в опытах на лабораторных животных и масштабные клинические испытания. Пригодными для применения признаются лишь немногие из них.
- Некоторые исследователи придерживаются совершенно другой методологии: вначале они наблюдают за больными, принимающими средства народной медицины, а затем изучают наиболее перспективные из них в лаборатории.



Ребенок, больной малярией, один из участников испытаний, проводимых в Мали (слева), пьет отвар из листьев мексиканского ярко-желтого мака — растения, которое местные целители уже долгое время используют в борьбе с этим недугом (справа)

и бумаги. Результаты, полученные Грацем и Уилкоксом в Мали, были высоко оценены специалистами и заставили скептиков из медицинских кругов по-новому посмотреть на народную медицину.

Без гарантии успеха

Множество широко используемых сегодня медикаментов, например аспирин и кодеин, были получены исходя из результатов анализа веществ, экстрагированных из растений, которые люди употребляли внутрь. Эта область науки называется этноботаникой, но в наши дни такой подход используется крайне редко. Дело в том, что не было никакой возможности оценить потенциал растений, не вложив предварительно миллионы долларов в разработку соответствующего препарата. В свою очередь, этноботаника всегда была скорее описательной дисциплиной, чем аналитической. Антропологи могли наблюдать, как лечат людей шаманы Амазонии, составлять списки растений, которые они применяют, описывать методы их переработки, но мало кто надолго задерживался в глуши, чтобы оценить результативность лечения.

Впрочем, все равно недостаточно просто собрать коллекцию растений, обладающих лечебными свойствами, протестировать каждое из них и выделить соответствующее вещество. Можно получить обнадеживающие результаты в опытах на мышах или культуре клеток, и это не будет означать, что оно окажется эффективным и безопасным для человека. Не исключено и обратное: механизм действия некоторых растительных компонентов

совершенно неизвестен, и стандартные методы анализа могут не выявить их активности. Это и произошло, когда в 1990-х гг. компания *Merck* в сотрудничестве с Национальным институтом по изучению биоразнообразия в Коста-Рике собрала обширнейшую коллекцию растений в национальных парках страны и попыталась определить их фармацевтический потенциал. Проект был закрыт шесть лет назад по причине его полной бесперспективности. Фармацевтические гиганты предпочли работать с соединениями, которые они сами синтезировали и на которые не составляло труда получить патент. Сегодня эти компании осуществляют скрининг миллионов таких продуктов, используя высокотехнологичное автоматизированное оборудование.

Идентификация биологически активного соединения — лишь первый шаг на пути получения нового лекарственного препарата. В США процесс занимает в среднем 12 лет и обходится в сумму до \$800 млн. Случается, что и такие затраты не оправдывают себя. Так, средство для похудения под названием акомплия фирмы *Sanofi-Aventis* и статины торцетрапиб компании *Pfizer* были отбракованы лишь на последнем этапе дорогостоящих клинических испытаний. Ясно, что подобная модель не подходит для стран третьего мира. Не по средствам им и дорогие новые лекарственные препараты, разработанные в развитых странах.

Невозможность приобрести эффективные и дорогие медикаменты — огромная беда для регионов, где свирепствует малярия. Каждый год переносимые комарами

паразиты заражают 200 млн жителей тропических стран, при этом полмиллиона из них умирают. Возбудители малярии приобрели устойчивость почти ко всем существующим препаратам. В странах Африки, на долю которых приходится 85% всех случаев заболевания малярией, «золотой стандарт» сегодняшней противомаларийной терапии, комбинированный препарат на основе артемизинина (АСТ), в принципе доступен для тех, кто проходит лечение в государственных клиниках, и продается в аптеках. Но плохие дороги и наличие других, более дешевых противомаларийных средств приводят к тому, что ситуация в борьбе с малярией выглядит хорошо только на бумаге. Одно из недавно проведенных в Мали исследований показало, что 87% детей, больных малярией, вначале лечились дома, четверть из них получали только народные средства. Это заставило присмотреться к накопленному веками опыту борьбы с малярией более внимательно. Но время идет, и народные средства, применяемые в Африке и других регионах, не выдерживают конкуренции с растительными препаратами, поступающими в огромном количестве из Китая. Пункты их продажи есть сегодня в самых отдаленных уголках африканского континента. «Если мы не займемся народной медициной сейчас, — говорит Грац, — она может не дожить уже до следующего поколения».

Магическая сила

Воплощение в жизнь идеи обратной фармакологии не было быстрым, ученые продвигались вперед, пробуя и ошибаясь, как это и произошло с Грацем и Уилкоксом, занявшимися тщательным исследованием магического мака из Мали. Грац был сторонником наблюдательного подхода, в корне отличавшегося от рандомизированных клинических испытаний, когда пациентов случайным образом разбивают на две группы: члены одной получают тестируемый препарат, члены другой — плацебо. Однако он отдавал себе отчет в том, что получить научно обоснованный результат можно только с помощью второго подхода. К сожалению, реализовать его в данном конкретном случае не представлялось возможным. Несмотря на то что наблюдательные исследования не представляют собой эксперимент в строгом смысле, они, по мнению Граца, помогают понять, как действовать в реальных условиях.

Именно такие соображения привели его в Мали в 2002 г., где он намеревался провести испытания наблюдательного характера, названные им *Retrospective Treatment Outcome (RTO)*, совместно с Дриссой Диалло (*Drissa Diallo*), директором отдела народной медицины Малийского национального научно-исследовательского института общественного здравоохранения. В течение многих месяцев участники исследования посещали семьи, в которых хотя бы один из членов недавно переболел малярией. В результате ими был получен список из 66 растений, которые больные употребляли в качестве лечебного средства. В этой довольно хаотичной базе данных было лишь одно светлое пятно: из 952 больных, которых опросили Грац с коллегами, 30 пили отвар



Хинин, получаемый из коры хинного дерева, применяется для лечения больных малярией сотни лет

из листьев *Argemone mexicana*, мака родом из Мексики, попавшего в Африку в 1800-х гг. Все, кто лечились подобным образом, выздоровели.

Грац сообщил новость Уилкоксу, который уже провел несколько клинических испытаний противомаларийных растений, но получил неоднозначные результаты. Между двумя учеными была договоренность, что если Грац обнаружит растение, давшее положительный эффект при RTO-скрининге, то Уилкоксом попытается организовать когортные исследования, проведя наблюдения за группой пациентов, а затем устроить клинические испытания. Тем временем Грац отправился в город Сикасо на юге Мали, где было интернет-кафе, чтобы разузнать все, что известно о данной разновидности мака. Здесь его ждал неприятный сюрприз: в своих поисках он натолкнулся на заметку, озаглавленную «Отравление *Argemone mexicana*: два инцидента, задокументированных при вскрытии». В 1998 г. в Дели заболели более 3 тыс. человек, 65 из них умерли, при этом их тела раздулись в результате скопления лимфы. Все они принимали горчичное масло, разбавленное отваром *A. mexicana*, который содержал яд сангвинарин.

Возник резонный вопрос: не случится ли так, что многообещающее средство против малярии не излечит больного, а погубит? Известно, что многие лекарственные вещества в высоких концентрациях смертельно опасны. Грац и Уилкоксом попытались определить летальную дозу отвара листьев *A. mexicana*, давая его лабораторным мышам в возрастающем количестве, но никакой перемены в состоянии их здоровья так и не заметили. В конце концов выяснилось, что яд содержится только в семенах мака, а в листьях, из которых и готовят отвар, его нет.

Итак, можно было спокойно продолжать начатое дело, и в сентябре 2004 г. Уилкоксом прибыл в малийскую деревню Миссидугу. Народный целитель Тиемоко Бенгали, отец которого передал сыну свой опыт применения

A. mexicana, был счастлив принять участие в исследовании эффективности целебного средства. В отличие от ретроспективных изысканий Граца, Уилкоккс собирался следить за ходом лечения больных, что делало наблюдения более адекватными и позволяло проводить лабораторные анализы.

На крыше хижины одного из целителей, сложенной из глиняных кирпичей и крытой соломой, Уилкоккс установил солнечную панель, а внутри домика поставил автомобильный аккумулятор. Теперь можно было использовать в работе микроскопы, центрифуги и электрокардиограф. Он попросил Бенгали отсеивать семена перед приготовлением напитка, а в остальном придерживаться обычной практики: в течение трех часов кипятить на дровах листья в черном котелке. Был самый пик сезона дождей, и, несмотря на это, в первый же день на прием пришло почти 100 человек.

Каждый из них, по предписанию Бенгали, выпивал по одной дозе отвара в течение трех дней, но никакого улучшения Уилкоккс не заметил. На вопрос, нормально ли это, Бенгали ответил, что такая доза скорее «экспериментальная», чем лечебная. Обескураженный, Уилкоккс спросил, какова же обычная доза. И тут выяснилось, что целитель просто выдавал пациентам высушенные листья *A. mexicana*, велел жевать их и пить как можно больше воды в течение недели. Уилкоккс повысил дозу, и теперь результат был налицо. Число паразитов в крови у больных уменьшилось с 30 тыс. на микролитр до менее чем 2 тыс., а через две недели у 89% больных не обнаружилось никаких признаков малярии.

Для того чтобы получить неопровержимые доказательства эффективности нового необычного средства, нужно было пройти весь цикл его проверки, включая рандомизированные клинические испытания. Вернувшись в Миссидугу, Грац и Уилкоккс набрали группу из 301 больных малярией, согласившихся принять участие в тестировании, и разделили ее пополам. Члены одной подгруппы получали некую стандартную дозу отвара из листьев *A. mexicana*, члены другой — комбинированный препарат, включающий артемизинин (АСТ); курс лечения длился 28 дней. Результаты нетрадиционного испытания, обнародованные в 2010 г., показали, что в первой подгруппе полностью выздоровели 89% больных, а во второй — 95%. По оценкам Уилкоккса и Граца, лечение с помощью отвара из листьев *A. mexicana* обходится на 75% дешевле, чем стандартное лечение на основе АСТ.

Результаты испытаний были настолько убедительными, что Грац и Уилкоккс сочли возможным рекомендовать отвар для борьбы с малярией в Мали и других отдаленных регионах Африки как эффективное и безопасное средство. Это помогло бы предотвратить выработку возбудителем устойчивости к современным противомаларийным препаратам и сберегло дорогостоящие медикаменты для применения их в наиболее серьезных случаях, когда больному грозят нарушение работы головного мозга или смерть.

На последующих этапах испытаний обратная фармакология идет тем же путем, что и фармакология

обычная: выделяются активные вещества из растения (в нашем случае — из *A. mexicana*), определяются их химические свойства, проводятся опыты на грызунах, а затем — клинические испытания. Но в отличие от традиционного подхода, когда при малейших признаках отклонения от ожидаемого работа прекращается, у обратной фармакологии есть веские априорные свидетельства того, что тестируемое вещество высокоэффективно и безопасно. Так, *Argemone* был однажды отвергнут как источник фармацевтических веществ, когда одно из них, берберин, продемонстрировало высокую противомаларийную активность в опытах *in vitro* и никак себя не проявило во время испытаний на мышах и людях. Почему само растение при этом обладало лечебными свойствами, остается загадкой, которую Грац и Уилкоккс намереваются разгадать в ходе дальнейших исследований.

Перспективы и риски

Обратная фармакология особенно полезна при поисках новых средств против остро протекающих болезней с четкими симптомами, к которым относится малярия, но этим сфера ее применения не ограничивается. Примерно десять лет назад в Индии был создан консорциум из нескольких университетов, научно-исследовательских институтов и фармацевтических компаний, который в своей деятельности использовал обратную фармакологию для поиска потенциально действенных средств для лечения больных артритом, диабетом и гепатитом, опираясь на традиционную систему индийской медицины — аюрведу. Изучив опыт многочисленных целителей, которые придерживались этой системы, Арвинд Чопра (Arvind Chopra) вместе с коллегами из Центра ревматизма в Пуне (Индия) составил короткий список растений, предположительно пригодных для борьбы с артритом, и приступил к наблюдательным и клиническим испытаниям, параллельно проводя опыты на лабораторных животных. В августе 2013 г. он опубликовал в журнале *Rheumatology* результаты рандомизированных испытаний с двойным слепым контролем, в которых участвовали 440 больных. Оказалось, что комбинация экстрактов из четырех растений столь же эффективна, как целекоксіб (целебрекс), при болях в коленных суставах и снижении их подвижности.

В декабре 2013 г. Грац побывал на одном из островов Палау в Тихом океане, население которых занимает седьмое место в мире по относительному числу жителей, страдающих ожирением; он намеревался выяснить, какие из применяемых там народных средств эффективны при диабете и гипертензии. Из 30 отобранных им *RTO*-методом растений *Morinda citrifolia*, дерево из семейства мареновых, содержало вещества, способствующие уменьшению веса, а *Phaleria nissidai* — вещества, снижающие уровень сахара в крови. Сейчас проводятся клинические испытания последнего. Если результат будет положительным, это подтолкнет фармацевтические компании к поискам продуктов, эффективных при диабете — заболевании, которым страдают десятки миллионов людей по всему земному шару.

Впрочем, далеко не все фармакологи — сторонники нового направления. Пример тому — Николас Уайт (Nicholas White) из Оксфордского университета, знакомый с народной медициной не понаслышке. В 1979 г. он нашел в одном медицинском журнале, издаваемом в Китае, статью о растении под названием цинхао (полынь однолетняя, лат. *Artemisia annua*), которое уже в течение 2,2 тыс. лет использовалось при малярии. Уайт выделил из растения активное вещество (известное сегодня как артемизинин), провел все стандартные испытания на его безопасность и только потом, в 1990-х гг., сделал запрос на организацию клинических испытаний. Тем самым он пошел по традиционному пути, который занял более 20 лет. В наблюдениях за больными, принимающими народные средства, он не видит ничего плохого, но проведение клинических испытаний считает неэтичным. «Малярия — слишком серьезное инфекционное заболевание, чтобы лечить больных какой-то корой или сушеными лягушками», — заявляет он.

Уилкоксу и Грацу не привыкать слышать подобные высказывания. На одном из заседаний Королевского общества по развитию тропической медицины и гигиены в Ливерпуле, где они выступили с докладом, было заявлено, что их испытания не соответствуют этическим стандартам, установленным в Европе, и что выделенные средства лучше было бы направить на проведение стандартных испытаний. «Деньги будут израсходованы за два года, и что дальше?» — возразил Уилкоккс. Одна из причин, по которой Диалло соглашался сотрудничать с европейскими медиками, состояла в том, что в Мали есть своя система проверки средств народной медицины, и он надеялся таким способом расширить круг применяемых снадобий. Малийская комиссия по медицинской этике одобрила результаты испытаний Уилкоккса и Граца, и Национальный институт исследований в области здравоохранения занимается сейчас стандартизацией настоя *A. mexicana*, чтобы его можно было производить в промышленном масштабе и распространять по всей стране.

Уилкоккс и Грац нашли неожиданного союзника в лице расположенной в Женеве коммерческой организации *Medicines for Malaria Venture*. «Это было интересное мероприятие», — отозвался о пребывании двух европейских медиков в Мали Тимоти Уэллс (Timothy Wells), руководитель научного отдела организации, единственной во всем мире занимающейся исключительно вопросами лечения больных малярией (в отличие от многочисленных фирм, работающих над созданием вакцин). Ее штат укомплектован настоящими ветеранами фармацевтической промышленности, и она спонсирует проекты по созданию новых подходов к поискам и разработке эффективных противомаларийных средств. Несколько лет назад ею были выделены средства компаниям *Novartis*, *GlaxoSmithKline* и другим на проверку более 6 млн соединений из своей библиотеки. Противомаларийная активность была обнаружена у 25 тыс. из них. Одним из последствий данного исследования стало ужесточение требований, которым должны удовлетворять проверяемые вещества, что-бы имело смысл продолжать их изучение.

Ознакомившись с исходом клинических испытаний *A. mexicana*, Уэллс заявил: «Конечно, новое средство менее эффективно, чем АСТ, но следует учесть, что оно пока не оптимизировано». Так, артемизинин был модифицирован, чтобы повысить его растворимость, а препараты на основе хинина прошли несколько раундов оптимизации, прежде чем были признаны достаточно эффективными. Сегодня *Medicines for Malaria Venture* спонсирует проведение следующего этапа исследований *A. mexicana*, цель которых состоит в идентификации активных компонентов растения и изучении их метаболизма. Эта же организация финансирует работы по выделению активных веществ из другого противомаларийного растения, прошедшего клинические испытания в Демократической Республике Конго.

Пересекая границы

В январе 2013 г. Уилкоккс посетил Миссидугу, чтобы отдать дань уважения и выразить соболезнование членам семьи Тиемоко Бенгали, который умер в 2012 г. Как раз в это время французские войска начали бомбардировки места расположения исламистов на севере страны, что еще раз показало, насколько важно для таких стран, как Мали, иметь медикаменты собственного производства. В 2010 г. Международный фонд борьбы со СПИДом, туберкулезом и малярией закрыл программу спонсирования работ, связанных с малярией, объемом \$18 млн по причине выявления случаев коррупции, а в 2012 г. сообщил о прекращении существования фонда *Affordable Medicines Facility*, который субсидировал импорт доступных лекарственных средств и поставку их в отдаленные сельские аптеки.

У Уилкоккса и Граца были планы оценить, помогли ли их рекомендации по применению *A. mexicana* улучшить положение дел с малярией в Мали, но военные действия не позволили это сделать. Уилкокксу пришлось через неделю покинуть страну. По дороге в аэропорт он увидел поля, засеянные так хорошо ему знакомыми растениями с ярко-желтыми цветками. «Конечно, это паллиативная мера, но когда не остается ничего другого, приходится прибегать к старым средствам», — с грустью и одновременно с надеждой подумал он. ■

Перевод: Н.Н. Шафрановская

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

■ *Argemone mexicana* Decoction versus Artesunate-Amodiaquine for the Management of Malaria in Mali: Policy and Public-Health Implications. Bertrand Graz et al. in *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, Vol. 104, No. 1, pages 33–41; January 2010.

■ Improved Traditional Medicines in Mali. Merlin Wilcox et al. in *Journal of Alternative and Complementary Medicine*, Vol. 18, No. 3, pages 212–220; March 2012.

■ Фотоснимки, сделанные Борреллом во время его поездки в Уганду, см. по адресу: ScientificAmerican.com/jun2014/reverse-pharmacology



ОПТ
НИЦА

ЭЛЕКТРО ДЛЯ БЫТ

• СТАБИЛИЗАТОРЫ • СЧЕТЧИ
УЗО • РЕЛЕ ВРЕМЕНИ • ПРОВО

п-103 ПБОЮЛ «САРАЦИН



ОТКРЫТО



С 1 СЕНТЯБРЯ

СТИВЕН ФРАЙ
О ГАДЖЕТАХ В

20:00

24Т  ХНО

24techno.ru
vk.com/24techno
fb.com/24techno.ru

«24 ТЕХНО» – КРУГЛОСУТОЧНЫЙ НАУЧНО-РАЗВЛЕКАТЕЛЬНЫЙ
ТЕЛЕКАНАЛ О ТЕХНИКЕ, ТЕХНОЛОГИЯХ И НЕВЕРОЯТНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ

16+

Маркус Коверт

МОДЕЛИРОВАНИЕ

ЖИВОЙ



КЛЕТКИ

*Создав работающую компьютерную модель
одноклеточного микроорганизма, мы получили
новый инструмент, позволяющий проникнуть
во внутренний мир клетки*



ОБ АВТОРЕ

Маркус Коверт (Markus Covert) — биоинженер, доцент Стэнфордского университета, заведующий лабораторией системной биологии.



Когда в день св. Валентина в 2008 г. я ехал на велосипеде с работы, мне в голову пришла замечательная идея. Пока я крутил педали, мой мозг неотступно возвращался к проблеме, волновавшей меня и многих других ученых уже более десяти лет: можно ли построить компьютерную модель живого организма — со всеми его неисчислимыми, чрезвычайно сложными биохимическими процессами?

Работающая компьютерная модель живой клетки, пусть даже несовершенная, стала бы для биологов чрезвычайно полезным инструментом. С ее помощью можно проверять гипотезы еще до постановки экспериментов, экономя время и деньги, или осуществлять быстрый поиск новых антибиотиков, тестируя способность различных веществ связываться с молекулами бактериальных клеток, существенными для их функционирования. Биоинженеры, к числу которых я отношусь, могли бы встраивать виртуальные гены в виртуальные же микроорганизмы, создавая новые штаммы с заданными свойствами, например начинающие светиться, когда в них проникает вирус, или способные экстрагировать газообразный водород из нефти. А когда мы научимся строить модели, достаточно сложные для имитации клеток человека, это позволит проводить исследования, неосуществимые в реальности, поскольку многие такие клетки невозможно культивировать.

Но все это так и останется мечтой, если мы не распутаем сеть связанных между собой биохимических реакций и физических взаимодействий, составляющих основу жизни. Все предыдущие попытки сделать это — как моей лаборатории в Стэнфордском университете, так и других — заходили в тупик.

В тот зимний вечер, не спеша проезжая по дорожкам кампуса, я вспомнил о своих недавних попытках получить фотографии и снять видео отдельных живых клеток. И тут меня осенило: чтобы построить близкую к реальности работающую модель, нужно начать с какого-нибудь простейшего одноклеточного микроорганизма, например бактерии *Mycoplasma genitalium*. Тогда мы

сможем охватить все мельчайшие подробности биологии микроба, известные на текущий момент: раскручивание каждого витка двойной спирали ДНК во время транскрипции, получение РНК-копий каждого гена, синтез каждого фермента и других белков в соответствии с информацией, заключенной в этих РНК, взаимодействие между всеми участниками процессов, лежащих в основе функционирования клетки и в конечном счете деления ее пополам, на две дочерние.

Предыдущие попытки всегда состояли в моделировании поведения целой популяции клеток, поэтому почти вся информация о единичных клетках основывалась на изучении их ансамблей. Прогрессом в исследовании отдельных клеток мы обязаны развитию био- и компьютерных технологий. Я вдруг осознал, что сегодня у нас есть все необходимое для реализации другого подхода.

Голова у меня пошла кругом. Приехав домой, я немедленно начал обдумывать план моделирования, а наутро занялся изложением программ, имитирующей всего два из многих-многих процессов, протекающих в микроргане. За неделю я сконструировал несколько модулей, каждый из которых моделировал конкретный внутриклеточный процесс. В совокупности модули составляли нечто очень близкое к реальности.

Я показал плоды своих трудов нескольким коллегам. Большинство сочли мое занятие пустой затеей, но я чувствовал, что нащупал нечто важное. А два смельчака — дипломники Джонатан Карр (Jonathan R. Karr) и Джайодита Сангхви (Jayodita C. Sanghvi) — сочли мой подход достаточно перспективным и согласились участвовать в проекте.

Для того чтобы построить окончательную модель, нужно создать множество таких модулей, просмотрев предварительно тысячи статей в поисках нужных биохимических данных, а затем заняться подгонкой тысяч параметров, например прочности связей между ферментами и субстратами или частотой последовательного присоединения специфических белков к ДНК. По моим оценкам, даже при сотрудничестве с коллегами и при

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Создание компьютерных моделей живых клеток, имитирующих функционирование каждого гена и биомолекулы, коренным образом изменит наши подходы к исследованию устройства и поведения биологических систем.
- Имитация работы простейшей патогенной бактерии, пусть даже несовершенная, уже привела к неожиданным результатам.
- Предпринимаются попытки построения моделей более сложных организмов. Заветная мечта биоинженеров — моделирование работы клеток и органов человека.

помощи дипломников проект удастся завершить лишь через несколько лет, но меня воодушевляла уверенность в успехе. Другого способа увидеть, чем все закончится, кроме как начать работать, не было.

Серьезный вызов

Придя к решению взяться за столь трудное дело, мы подумали, что неплохо бы было «получить благословение» тех, кто когда-то начинал заниматься подобными вещами. Одним из первых был Харолд Моровиц (Harold Morovitz), тогда работавший в Йельском университете. В 1984 г. он пришел к выводу, что оптимальный объект для моделирования — простейшая свободноживущая бактерия из тех, которые легко культивировать, а именно *Mycoplasma*. Кроме того, этот микроорганизм интересен тем, что два его вида вызывают инфекционные заболевания у человека. *M. genitalium*, передаваемая половым путем, поражает мочеполовую систему, а *M. pneumoniae* — легкие. Создание модели любого из этих видов было бы очень ценно и с медицинской точки зрения.

Первым шагом, по мнению Моровица, должно стать определение нуклеотидной последовательности микробной ДНК. В 1995 г. Крейг Вентер (J. Craig Venter) с коллегами из Института геномных исследований (TIGR) секвенировали геном *M. genitalium*. В нем оказалось всего 525 генов. (Геном человека содержит более 20 тыс. генов.) в 1999 г., когда я был дипломником Калифорнийского университета в Сан-Диего, эта же группа из TIGR показала, что жизненно важны лишь 400 из них (если микроорганизм растет в богатой культуральной среде). Вентер с коллегами решили основать биотехнологическую компанию (она была названа *Celera*), с тем чтобы вступить в соревнование с государственными институтами за первенство в секвенировании генома человека, — и преуспели. Они синтезировали также ключевые гены одного из видов *Mycoplasma* и продемонстрировали их функциональность в клетке.

По мнению Клайда Хатчинсона (Clyde Hutchinson), одного из членов группы Вентера, ключевым тестом на понимание того, как функционирует живая клетка, было бы построение ее работающей компьютерной модели. Реальную клетку можно создать в лаборатории из отдельных компонентов, не зная во всех деталях, как они взаимодействуют друг с другом. Для компьютерного моделирования это не годится.

Моровиц тоже ратовал за построение клеточного симулятора, основанного на данных о геноме *Mycoplasma*. «Любой эксперимент, поставленный в лаборатории, — говорит он, — можно воссоздать на компьютере. Соответствие [между их результатами] будет служить показателем полноты основной парадигмы молекулярной биологии», представляемой схематично в виде «ДНК → РНК → белок». Иными словами, соединив кусочки биологического пазла, мы сразу увидим, какие компоненты и какие взаимодействия мы в своей модели упустили.

Появление сверхскоростных секвенаторов и роботизированного лабораторного оборудования существенно ускорили поиск упущенных элементов, однако обилие

получаемых при этом данных о нуклеотидных последовательностях и активности разнообразных генов не помогло разобраться с тем, как элементы komponуются. Известный генетик Сидни Бреннер (Sydney Brenner) назвал такую ситуацию *low-input, throughput, no-output* (в вольном переводе: «много шума — и ничего»). Слишком часто эксперименты проводились, можно сказать, вслепую, и их результаты мало что говорили о поведении более крупных систем, обеспечивающих работу организма.

Отчасти это объясняет, почему, несмотря на регулярные сообщения об идентификации новых генов, связанных с развитием тех или иных онкологических заболеваний, ожирением или диабетом, борьба с такими серьезными недугами ведется не слишком успешно. По-видимому, излечение станет возможным только при учете десятков, а возможно, и сотен взаимосвязанных факторов.

Я показал плоды своих трудов коллегам; большинство сочли мое занятие пустой затеей, но я чувствовал, что нащупал нечто важное

Пионеры клеточного моделирования понимали, что создание компьютерной модели целых клеток, которая включала бы все клеточные компоненты и учитывала все взаимодействия между ними, помогло бы осмыслить разрозненные отрывочные данные. По самой своей природе клеточный симулятор должен трансформировать многочисленные гипотезы о происходящем в клетке в математические алгоритмы. Схемы типа «фактор X регулирует работу гена Y каким-то образом» даже в первом приближении не годятся для написания компьютерной программы. Программисты должны иметь возможность представлять все подобные процессы в виде уравнений типа $Y = ax + b$, даже если значения коэффициентов a и b имеют оценочный (но обоснованный) характер. Данное условие позволяет в конце концов определить, какие лабораторные эксперименты нужно провести, чтобы восполнить недостаток знаний о скоростях реакций и других параметрах.

Если модель будет адекватно отражать действительность, она поможет оценивать значимость планируемых экспериментов и проводить лишь те из них, которые дают ответы на вопросы, неразрешимые одним только моделированием. А компьютерные эксперименты, дающие не ожидаемые результаты, позволят экспериментаторам ранжировать свои исследования с точки зрения приоритетности и быстрее продвигаться вперед. Построение таких моделей-ускорителей, позволяющих быстро устанавливать причинно-следственные связи, Масару Томита (Masaru Tomita) из Университета Кейо в Японии назвал «одним из самых серьезных вызовов XXI в.».

Еще будучи студентом-дипломником, я был так поражен результатами, полученными ведущими специалистами в области клеточного моделирования, что этот

вызов стал моей навязчивой идеей. И даже когда я основал собственную лабораторию и сосредоточился на разработке методов визуализации отдельных клеток, мысль о реализации данной идеи не покидала меня. И в тот февральский вечер, когда я ехал на велосипеде с работы, я понял, с чего мне следует начать, чтобы воплотить мечту в реальность.

Два подхода

Было ясно, что построить модель жизненного цикла любого микроорганизма, имитирующую поведение последнего во всей его сложности, невозможно, не разрешив три проблемы. Во-первых, необходимо найти алгоритм для каждого жизненно важного процесса — от превращения энергии, питательных веществ и продуктов биохимических реакций (всего, что составляет метаболизм) до синтеза и распада молекул ДНК, РНК и белков, а также действия мириад ферментов. Во-вторых, перейти на следующий уровень, построив основу для интеграции всех этих функций. И, наконец, самое трудное: установить верхний и нижний пределы значений каждого из более чем 1,7 тыс. параметров модели так, чтобы они имели биологический смысл — или по крайней мере были корректными по порядку величины.

Я понимал, что, сколько бы статей о *M. genitalium* мы ни проработали в поисках значений нужных параметров (у меня вместе с Карром и Сангви ушло на прочтение 900 публикаций два года), нам придется в каких-то случаях прибегать к разумным ограничениям либо использовать результаты экспериментов на бактериях совершенно другого типа, например *Escherichia coli*. Только с их помощью мы сможем, например, узнать, сколько времени проходит с момента образования РНК-транскрипторов до их распада и повторного использования рибонуклеотидов.

Решить данные проблемы можно, только если объектом моделирования будет единичная клетка, а не клеточная популяция. Рассмотрим, например, процессы роста и деления. Численность крупной популяции увеличивается с каждым раундом репликации; деление индивидуальной клетки или ее гибель мало что меняют. Другое дело единичная клетка: для нее деление — поистине драматическое событие. Прежде чем разделиться пополам, она должна удвоить свою массу, и не просто суммарную. Удваиваются содержание ДНК, размеры клеточной мембраны, количество белков каждого типа. Если объектом моделирования становится единичная клетка, то с помощью компьютера можно подсчитать число молекул каждого типа на любой стадии жизненного цикла и выяснить, когда создаются условия, обеспечивающие деление.

Частота деления одноклеточных организмов более или менее известна. Так, *M. genitalium* обычно делится каждые девять-десять часов. Нижний предел редко когда составляет шесть часов, а верхний — 15. Условие удвоения клеточного материала перед делением позволяет выбрать разумные пределы для многих переменных. Не будь его, мы бы не знали, например, когда начинается репликация ДНК.

Я сформировал команду из физиков, биологов, программистов (среди последних — бывший инженер-программист компании *Google*), и мы обсудили, какой математический подход выбрать. Майкл Шулер (Michael Shuler), специалист по биомедицинской инженерии из Корнеллского университета, построил весьма интересную модель, используя обычные дифференциальные уравнения. Бернхард Палссон (Bernhard Palsson), под чьим руководством я делал диплом в Сан-Диего, разработал математический аппарат, хорошо описывающий метаболизм. Другие считали, что важную роль в процессе транскрипции играет элемент случайности, а клеточному делению предшествует изменение геометрии клеточной мембраны, которое ни одна из двух упомянутых моделей не учитывает. Еще студентом я понял, что никакой метод сам по себе не может смоделировать все внутриклеточные процессы, и в своей диссертации показал, как, объединив две разные математические модели, получить единый симулятор.

Исходя из всего этого, мы решили строить модель в виде совокупности 28 модулей, каждый из которых использует алгоритм, наилучшим образом представляющий определенный биологический процесс и учитывающий все, что мы о нем знаем. Получаемый в результате набор математических моделей нужно будет объединить в единое целое.

Нечто подобное я уже делал, когда, будучи студентом, проходил практику на химическом заводе. Нашей группе нужно было построить блок-схему работы большой нефтеперерабатывающей установки. Для этого мы использовали целый пакет программ под названием *HYSYS*. Он был устроен так, что каждую реакцию можно было имитировать по отдельности, как если бы она протекала в изолированном сосуде. С помощью трубок выход каждого предыдущего сосуда соединялся с входом следующего. Такая схема объединяла множество разнородных химических процессов в упорядоченную систему с предсказуемым поведением.

Аналогичный подход к некоторым модификациям можно было бы использовать в нашем случае, сделав одно важное упрощающее допущение: несмотря на то что все описываемые биологические процессы протекают в клетке одновременно, их ход за период менее секунды независим. Тогда мы можем разделить жизнь клетки на протекающие в течение секунды события, сверяя все 28 модулей на каждом этапе, чтобы уточнить значения всех параметров. Наша модель учитывала все взаимосвязи биохимических процессов, например зависимость транскрипции и синтеза ДНК от энергии и наличия нуклеотидов, образуемых в ходе метаболизма, — но во временном масштабе более одной секунды.

Теоретических обоснований работы такой модели у нас не было, но мы надеялись на лучшее.

Конструируя нашу виртуальную клетку, мы использовали сенсорные программы, чтобы контролировать внутриклеточные процессы. Каждый раунд симуляции, охватывающий весь жизненный цикл клетки, генерировал

Хронология событий

**ОСНОВНЫЕ ВЕХИ
МОДЕЛИРОВАНИЯ
ЖИВОЙ КЛЕТКИ**

Долгая дорога к созданию работающей компьютерной модели простейшего одноклеточного микроорганизма, *Mycoplasma genitalium*, вымощена трудами молекулярных биологов, биохимиков, генетиков, программистов, теоретиков разных направлений. Построение аналогичной модели клетки человека — гораздо более трудная задача, поскольку она устроена несравнимо сложнее. Так, ее ДНК содержит почти в 40 раз больше генов, чем бактериальная ДНК; она упакована в хромосомы — замысловатые структуры с совершенно иной, чем у бактерий, системой распределения информации. Ниже перечислены некоторые наиболее важные этапы на пути построения модели живой клетки.

1967

Фрэнсис Крик и Сидни Бреннер выступили с планом реализации проекта *The Complete Solution of E. coli*. Это была одна из попыток описания устройства самой распространенной кишечной бактерии, включающего детали ее генетики, процессов превращения энергии и воспроизведения.

1984

Харолд Моровиц из Йельского университета описал в общих чертах процедуру моделирования бактерии *Mycoplasma*. Группа ученых, возглавляемая Майклом Шулером из Корнеллского университета, представила компьютерную модель на основе дифференциальных уравнений, учитывающую большую часть биологических процессов, опосредующих рост и воспроизведение *Escherichia coli*. Те из них, которые протекали на уровне генов, не рассматривались, поскольку в то время геном этого микроорганизма еще не был секвенирован.

1989–1990

Бернхард Палссон из Мичиганского университета разработал математический аппарат, хорошо описывающий метаболизм эритроцитов человека с учетом влияния на него pH и дефицита глюкозы.

1995

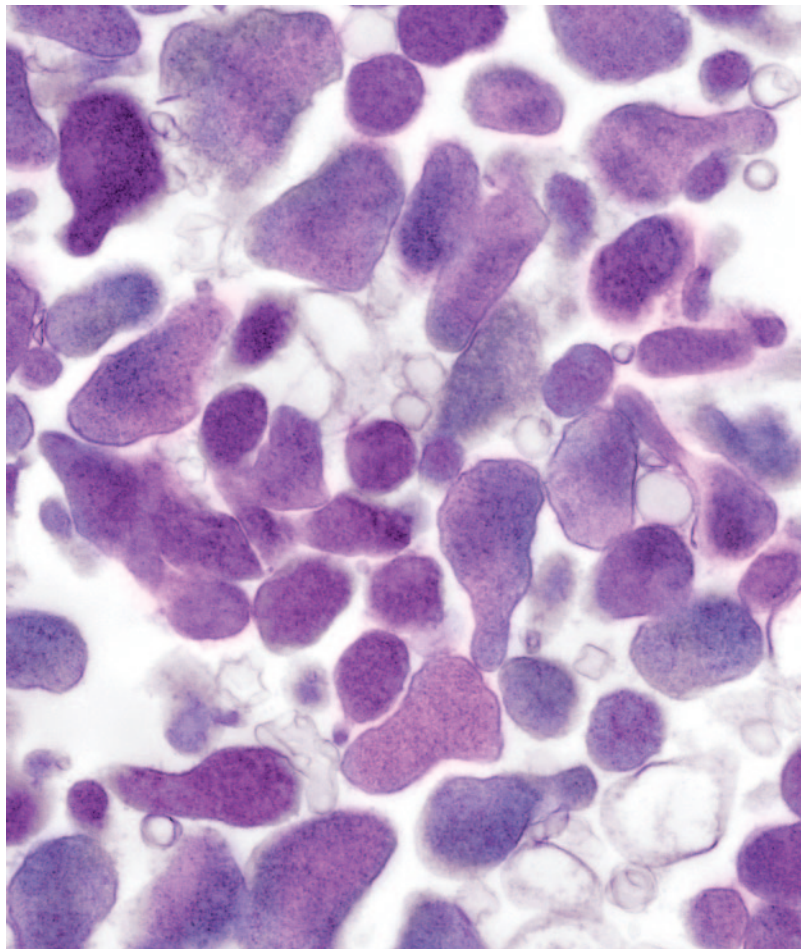
Крейг Вентер, создатель компании *Celera*, секвенировал геном *M. Genitalium*.

1999

Масару Томита из Университета Кейо и члены его группы разработали имитирующую систему *E-Cell* на основе дифференциальных уравнений, описывающих регуляцию работы 127 генов, в основном генов *M. genitalium*.

2002

Международный консорциум *Alliance* приступил к реализации амбициозного проекта бюджетом в \$10 млн, рассчитанного на десять лет,



Одноклеточная бактерия *Mycoplasma genitalium* (тельца фиолетового цвета) — простейший микроорганизм, однако создание его модели стоило больших трудов

цель которого — построение компьютерной модели В-клеток иммунной системы и клеток сердечной мышцы. Участники проекта уже получили весьма интересные результаты, но столкнулись с трудностями манипуляции В-клетками в культуре.

Бернхард Палссон, Джордж Черч из Гарвардского университета и Маркус Коверт в сотрудничестве с рядом других исследователей завершили моделирование метаболизма *Helicobacter pylori*, бактерии, причастной к развитию язвы и рака желудка у человека.

2004

Палссон и Коверт в соавторстве с другими сообщили о создании компьютерной модели, имитирующей функционирование всех 10^6 генов, причастных к регуляции метаболизма и транскрипции ДНК у *E. coli*. Модель с высокой точностью прогнозировала результаты лабораторных экспериментов на живых клетках *E. coli*.

2012

Коверт с коллегами построили модель функционирования *M. genitalium*, имитирующую

работу всех генов и известные на тот момент биологические процессы.

2013

Коверт с коллегами показали, что их модель с достаточно высокой точностью имитирует функционирование некоторых ферментов.

Что дальше

- Завершение работы над моделями для более распространенных и полнее изученных бактерий, например *E. coli*.
- Построение модели для одноклеточного эукариотического организма, например *Saccharomyces cerevisiae*. У эукариот ДНК находится в ядре, окруженном мембраной, а не плавает свободно в цитоплазме.
- Построение модели животной клетки, например макрофага, хорошо растущего в культуре.
- Построение в первом приближении модели клетки человека (возможно, опять-таки макрофага).
- Моделирование более сложных клеток человека, в первую очередь тех, которые причастны к борьбе с наиболее распространенными заболеваниями.

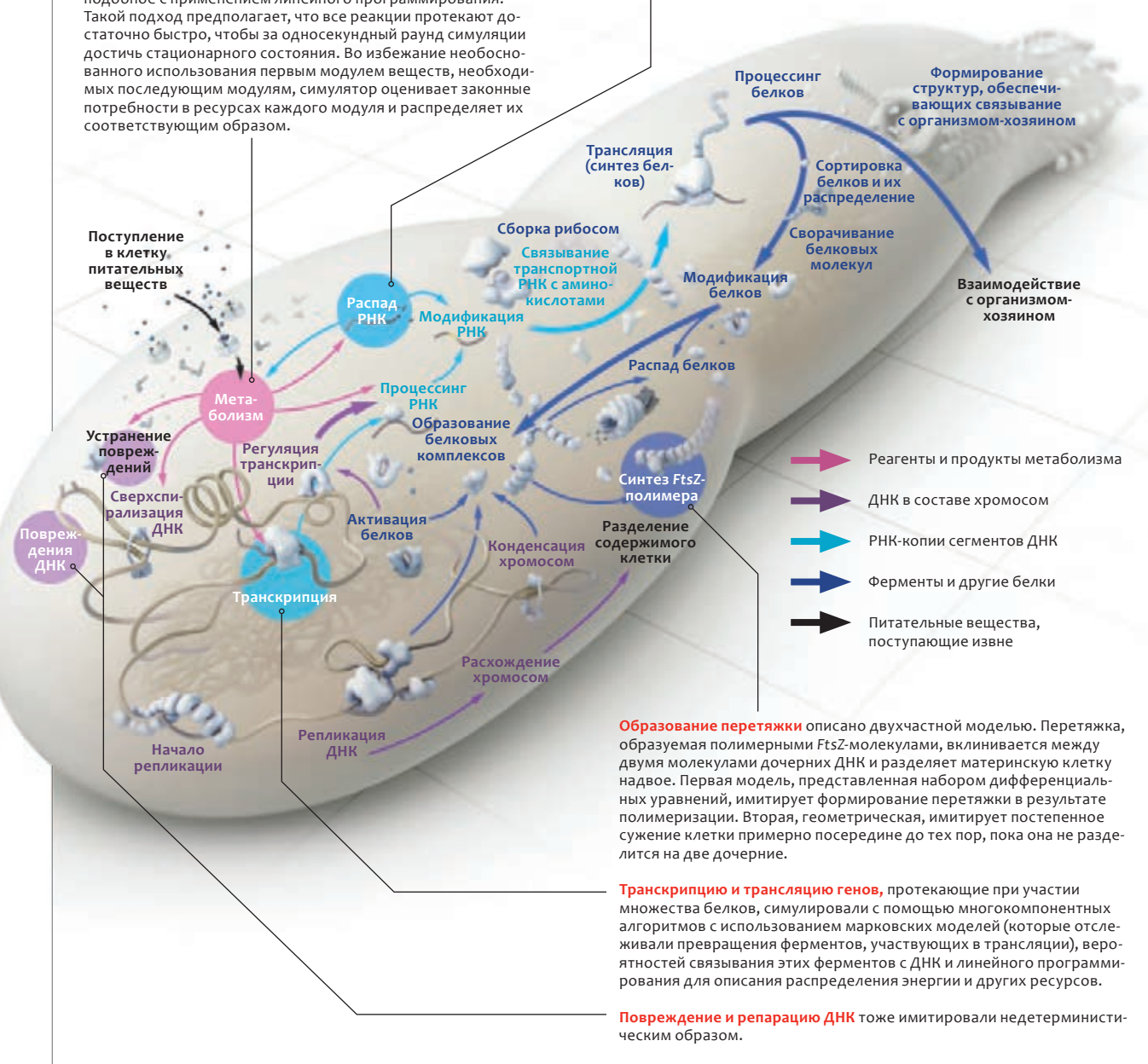
Внутри виртуальной клетки

СИМУЛЯТОР В ДЕЙСТВИИ

Компьютерная модель бактерии *Mycoplasma genitalium*, созданная автором статьи и его коллегами, включает максимально возможное число процессов и параметров, определяющих рост и развитие этого микроорганизма. Ни один алгоритм сам по себе не может имитировать все функции, поэтому мы распределили разные процессы по 28 модулям, работающим по собственным алгоритмам. В одном представлены процессы, связанные с ДНК (фиолетовый цвет), в другом отражены синтез и превращения РНК (светло-синий) и белков (темно-синий), в третьем — получение и расходование энергии, питательных веществ, повторное использование продуктов расщепления РНК и белков (розовый цвет) и т.д.

Для моделирования метаболизма энергии, питательных веществ и продуктов распада использован метод баланса потоков, который позволяет оценить скорость реакций, обеспечивающих оптимальный рост, выработку энергии и тому подобное с применением линейного программирования. Такой подход предполагает, что все реакции протекают достаточно быстро, чтобы за односекундный раунд симуляции достичь стационарного состояния. Во избежание необоснованного использования первым модулем веществ, необходимых последующим модулям, симулятор оценивает законные потребности в ресурсах каждого модуля и распределяет их соответствующим образом.

Распад РНК и белков и повторное использование их компонентов моделировали с применением генератора случайных чисел и вероятностных функций. Это позволяло определить, распадется данный сегмент РНК или белка или «доживет» до следующего временного этапа.



Образование перетяжки описано двухчастной моделью. Перетяжка, образуемая полимерными FtsZ-молекулами, вклинивается между двумя молекулами дочерних ДНК и разделяет материнскую клетку надвое. Первая модель, представленная набором дифференциальных уравнений, имитирует формирование перетяжки в результате полимеризации. Вторая, геометрическая, имитирует постепенное сужение клетки примерно посередине до тех пор, пока она не разделится на две дочерние.

Транскрипцию и трансляцию генов, протекающие при участии множества белков, моделировали с помощью многокомпонентных алгоритмов с использованием марковских моделей (которые отслеживали превращения ферментов, участвующих в трансляции), вероятностей связывания этих ферментов с ДНК и линейного программирования для описания распределения энергии и других ресурсов.

Повреждение и репарацию ДНК тоже имитировали недетерминистическим образом.

SOURCE: "A WHOLE-CELL COMPUTATIONAL MODEL PREDICTS PHENOTYPE FROM GENOTYPE." BY JONATHAN R. KARR ET AL., IN CELL, VOL. 150, NO. 2, JULY 26, 2012. Illustration by AVS Biomedical Animation Studio

500 МБ данных. Они поступали в цифровом виде в систему обработки, и мы получали огромное число графиков и картинок.

Первые результаты были неутешительными. Все те месяцы, которые мы потратили на составление программ, уточнение математических выкладок и предельных значений параметров, клетка отказывалась делиться или вела себя странным образом. Время от времени она вырабатывала огромные количества аланина (одной из аминокислот) — и больше почти ничего.

Но однажды наш «кибернетический зародыш» добрался до конца жизненного цикла и успешно разделился, причем время удвоения составило девять часов — ровно столько, сколько это занимает у живой клетки *M. genitalium*. Многие другие показатели по-прежнему были некорректными, но мы почувствовали, что находимся на верном пути.

Через несколько месяцев я поехал на двухдневную конференцию в Бетесду, штат Мэриленд. Между заседаниями меня попросили подойти к стойке регистрации, где вручили коробку, присланную из моей лаборатории. С нетерпением вскрыв посылку, я вытащил объемистую папку. Несколько часов ушло на просмотр сотен графи-

Итак, первая компьютерная модель живого микроорганизма создана.

Какую пользу можно из этого извлечь?

ков и картинок. Подавляющее большинство данных выглядели так, будто их получили, наблюдая за поведением реальной живой клетки. Однако были и совсем неожиданные, но не бессмысленные с биологической точки зрения. Вот когда я осознал, что мы достигли вершины горы, которая казалась недосягаемой много лет назад. Первая компьютерная модель живого организма построена и исправно работает! Какую пользу можно из этого извлечь?

Окно во внутренний мир клетки

Сегодня, спустя год после появления нового инструмента исследований живой клетки, мы не перестаем удивляться тому, как наш виртуальный микроорганизм управляется с миллионами процессов, обеспечивающих его жизнедеятельность. Всякий раз, когда мы погружаемся во внутренний мир этой сложной системы, обнаруживается что-нибудь совершенно неожиданное. Так, оказалось, что белки, связывающиеся с ДНК, вытесняют друг друга с молекулы с фантастической частотой — примерно 30 тыс. раз за каждый девятичасовой жизненный цикл. Мы поняли также, что удивительное постоянство времени удвоения клетки обусловлено сложными взаимодействиями двух фаз репликации, каждая из которых варьирует по продолжительности

в широких пределах. Посекундная фиксация состояния клетки позволила понять, почему деление прекращается немедленно после инактивации одних ключевых генов и длится еще десять минут после инактивации других, не менее важных. Добавочные раунды репликации случаются и тогда, когда белки, кодируемые упомянутыми генами, накопились в количестве, достаточном для одного жизненного цикла, — избытки передаются потомкам, которые погибают, только когда запасы иссякают. Уже эти первые результаты крайне интересны, но, возможно, пройдет несколько лет, прежде чем мы разберемся во всем, о чем «сообщает» нам виртуальная клетка.

Моделирование *M. genitalium* — лишь первый шаг на пути к построению моделей клеток и тканей человека на генетическом и молекулярном уровнях. Наша нынешняя конструкция далека от совершенства. Мы разместили в открытом доступе все наши данные с описанием процедуры их получения в надежде, что к работе по совершенствованию симулятора подключатся другие исследователи и нам удастся построить модели таких микроорганизмов, как *E. coli* и *Saccharomyces cerevisiae*; оба они широко используются в лабораторных исследованиях. Регуляция генов у них осуществляется гораздо более сложным образом, большую роль играет внутриклеточная локализация различных процессов. Следующей нашей задачей будет построение моделей отдельных клеток мыши и человека; скорее всего, это будут макрофаги (компоненты иммунной системы) — их просто культивировать и получать данные для уточнения модели.

Пока я не могу даже предположить, когда мы сможем приблизиться к таким системам. Клетки человека, в отличие от бактерий, разделены на множество отсеков, а система регуляции генов у них во многом остается загадкой. Кроме того, они более прочно связаны с клетками других типов.

13 февраля 2008 г. я, помнится, сказал, что для создания модели простейшей клетки нам понадобится не менее десяти лет, а о моделировании более сложных систем не может быть и речи. Теперь мы по крайней мере представляем, как к этому подступиться. ■

Перевод: Н.Н. Шафрановская

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- The Dawn of Virtual Cell Biology. Peter L. Freddolino and Saeed Tavazoie in *Cell*, Vol. 150, No. 2, pages 248–250; July 20, 2012.
- A Whole-Cell Computational Model Predicts Phenotype from Genotype. Jonathan R. Karr et al. in *Cell*, Vol. 150, No. 2, pages 389–401; July 20, 2012.
- Bridging the Layers: Toward Integration of Signal Transduction, Regulation and Metabolism into Mathematical Models. Emanuel Gonçalves et al. in *Molecular Biosystems*, Vol. 9, No. 7, pages 1576–1583; July 2013.
- Cybernetic Cells. W. Wayt Gibbs; August 2001.

ОБ АВТОРЕ

Клаудиа Уоллис (Claudia Wallis) — внештатный редактор и автор научно-популярных статей, написала более 40 обзорных материалов для журнала *Time*. Живет в Нью-Йорке



Кишечник как поле битвы

Зная состав кишечной микрофлоры, можно попытаться предсказать, грозит ли вам ожирение



35 % взрослых американцев, которые ведут ежедневную борьбу с ожирением, видят причину своего состояния одинаково: неправильное питание, малоподвижный образ жизни и отчасти наследственность. В последние годы, однако, обнаружилось, что на этом поле действует множество других игроков: мириады микроорганизмов, заселяющих кишечник.

На всем протяжении эволюции человека эти микроскопические поселенцы помогли нашему организму расщеплять прочные растительные волокна в обмен на безбедное существование в столь богатой питательными веществами среде. Однако их роль не ограничивается участием в пищеварении. Согласно новейшим данным, кишечные бактерии влияют на процесс запасаания жира, уровень глюкозы в крови, реакцию организма на гормоны, отвечающие за чувство голода и насыщения. Несбалансированность микрофлоры, по-видимому, выступает фактором риска в отношении ожирения и диабета с самого рождения.

К счастью, микробиологи начинают понимать, чем отличается «плохая» популяция микробов от «хорошей» и что именно формирует данное различие. Опираясь на эти знания, они надеются изыскать такой способ создания внутренней экосистемы нашего организма, который позволил бы предотвращать ожирение, а возможно, и избавляться от него. (В медицинской практике о наличии этого состояния говорят, если так называемый индекс массы тела — частного от деления массы в килограммах на квадрат роста в метрах — превышает 30.) Можно, например, подобрать диету и пищевые добавки, способствующие процветанию полезных микробов и гибели вредных. Может оказаться, что секрет поддержания нормального веса тела кроется в создании комфортных условий для микроорганизмов, заселяющих наш кишечник. «Мы должны смотреть на то, что полезно и что вредно для нашего организма, с других позиций, чем сейчас», — считает Джеффри Гордон (Jeffrey Gordon) из Университета Вашингтона в Сент-Луисе.

Illustration by Rafa Alvarez

«Дождевой лес» у нас внутри

О том, что наш организм — местообитание самых разных микроорганизмов, известно уже давно, но только лет десять назад мы узнали, что их в десять раз больше, чем клеток нашего собственного тела. С появлением методики секвенирования генома исследование популяций микроорганизмов получило мощный импульс. Теперь мы знаем, например, что самые многочисленные и разнообразные популяции обитают в толстой кишке и в ротовой полости, но довольно плотно заселены также половые пути и кожные покровы.

Каждый из нас начинает собирать свою «коллекцию» микроорганизмов с того момента, как в виде плода проходит через родовые пути. Началом служат бактерии, получаемые от матери, и пополняется это собрание из окружающей среды на протяжении всей нашей жизни. Исследование генома таких бактерий (всех вместе их называют микробиомом) позволило идентифицировать многие из числа наиболее распространенных, при этом они могут существенно различаться у членов одной популяции и у представителей разных популяций. В последние годы микробиологи перешли от простой идентификации членов кишечной микрофлоры к выяснению их функций и влияния на здоровье организма-хозяина.

Первые указания на причастность микроорганизмов кишечника к развитию ожирения были получены при сравнительном анализе микрофлоры полных и худощавых людей. Обнаружилось, что у обоих однояйцевых близнецов худощавого телосложения кишечник по разнообразию видов микроорганизмов можно сравнить с дождевым лесом, изобилующим самой разной живностью. У близнецов же, страдающих ожирением, кишечная микрофлора менее разнообразна и их кишечник похож на водоем, в котором доминирует лишь несколько видов организмов. Кроме того, у худощавых индивидов, как правило, наблюдается более широкое разнообразие бактерий класса *Bacteroidetes*, специализирующихся на расщеплении растительных волокон и молекул крахмала на фрагменты, которые организм использует в качестве источника энергии.

Все это не означает, однако, что указанное отличие ответственно за ожирение. Чтобы установить причинно-следственную связь, Гордон с коллегами провели ряд экспериментов с так называемыми «гуманизированными» мышами (их результаты опубликованы в журнале *Science* в сентябре 2013 г.). Генетически идентичных новорожденных мышат содержали в стерильных условиях, так что в их организме отсутствовали какие-либо бактерии; затем заселили их кишечными микробами, взятыми от женщин, страдающих ожирением, и от их худощавых генетически идентичных сестер (сестры из нескольких близнецовых пар были генетически идентичны, а из трех других пар — нет). Всех животных кормили одинаково, и, однако, те из них, которым достались микробы от полных женщин, набирали вес быстрее и накапливали больше жира, чем их братья, получившие микрофлору от худощавых членов

близнецовых пар. Как и ожидалось, популяция микроорганизмов у первых отличалась меньшим разнообразием, чем у вторых.

Затем Гордон повторил эксперимент, но с одним небольшим отличием: сразу после инокуляции всех мышат поместили в одну клетку. На этот раз члены обеих групп остались худыми. Исследования показали, что мышата, получившие популяцию микробов от тучных индивидов, пополнили свою коллекцию микроорганизмов кишечными бактериями худых собратьев (в первую очередь бактериями класса *Bacteroidetes*), возмездно поедая их фекалии (такое поведение типично для мышей). Чтобы прояснить ситуацию до конца, грызунам, получившим «микробы тучности», инокулировали популяцию бактерий 54 видов, полученную от худых собратьев. Обнаружилось, что животные, которым было предназначено стать тучными, выросли в здоровых особей с нормальным весом. Инокуляция бактерий 39 штаммов ни к чему не привела. «Все данные вместе взятые не оставляют сомнений в наличии причинно-следственных связей между штаммами бактерий, населяющих кишечник, и склонностью к ожирению или худобе», — заявляет Гордон.

По его предположению, в микробном сообществе в кишечнике тучных мышей имеются «рабочие вакансии» для бактерий, играющих ключевую роль в поддержании в норме массы тела и метаболизма. Проведенные Гордоном и его группой исследования, а также данные, полученные другими микробиологами, подводят к весьма интересным соображениям. Так, у мышей, склонных к ожирению, в крови и мышечной ткани содержится больше, чем в норме, специфических аминокислот и ацилкарнитинов, уровень которых повышен у людей, страдающих ожирением и диабетом II типа, и возможно, виной тому — незанятость этих вакансий.

Вакансии другого рода — те, которые раньше занимали обитающие в желудке бактерии *Helicobacter pylori*. Исследования, проведенные Мартином Блейзером (Martin Blazer) из Нью-Йоркского университета, наводят на мысль, что этот микроорганизм участвует в регуляции аппетита, влияя на содержание грелина — фермента, вызывающего чувство голода. Прежде данная бактерия в избытке присутствовала в пищеварительном тракте жителей США, но сегодня почти не встречается. Причина тому, по мнению Блейзера, — более тщательное, чем раньше, соблюдение населением гигиенических мер и широкое применение антибиотиков.

Один из важных факторов формирования кишечной экосистемы — диета. Преобладание в рационе переработанных пищевых продуктов напрямую связано с уменьшением разнообразия микробного сообщества в кишечнике. Сложные связи между диетой, микробным сообществом и массой тела выявлены Гордоном и его группой в опытах на «гуманизированных» мышах, которым скармливали жирную пищу и не давали овощей, фруктов и богатых клетчаткой продуктов. Мыши с преобладанием микрофлоры, способствующей ожирению,

которые находились на «западной диете», продолжали набирать вес, даже когда жили в одной клетке с худыми. Нездоровая пища каким-то образом препятствовала передаче полезных бактерий от одних животных другим и сдерживала их размножение.

Связь между диетой и неблагоприятным составом кишечной микрофлоры обуславливает предрасположенность к ожирению с первых дней жизни человека. Есть и еще одна интересная особенность: если ребенок появился на свет в результате кесарева сечения или находился на искусственном вскармливании, то риск ожирения и диабета у него выше, чем у малышей, родившихся обычным путем и питающихся молоком матери. Роб Найт (Rob Knight) из Колорадского университета в Боулдере и Мария Глория Домингес-Белло (Maria Gloria Dominguez-Bello) из Нью-Йоркского университета в ходе совместных исследований обнаружили, что при прохождении плода через родовые пути он заглатывает бактерии, которые затем помогают ему усваивать молоко. При кесаревом сечении этого не происходит. У новорожденных, находящихся на искусственном вскармливании, возникают другие проблемы: они не получают веществ, содержащихся в материнском молоке, которые способствуют размножению полезных бактерий и сдерживают рост вредных. Согласно последним данным, полученным канадскими учеными, в кишечнике новорожденных, питающихся заменителями грудного молока, содержатся бактерии, которые отсутствуют у тех, кто питается только материнским молоком; эти вещества появляются у них позже, с введением в рацион твердой пищи. «Наличие в кишечнике младенца бактерий, которых не должно там быть до формирования иммунной системы, может стать одной из причин повышения риска ожирения, аллергии, астмы, экземы, болезней органов брюшной полости», — говорит Домингес-Белло.

Новые данные относительно роли кишечной микрофлоры в развитии ожирения заставляют пересмотреть практику назначения антибиотиков детям. В экспериментах на мышках Блейзер показал, что у мышат, получавших антибиотики в низких дозах, близких к тем, в которых фермеры дают их домашнему скоту, накапливается на 15% больше жира, чем у мышат, которым никаких лекарств не скармливали. Антибиотики могут уничтожить некоторые из бактерий, помогающих поддерживать нормальный вес. «Их можно уподобить огню в лесу, — говорит Домингес-Белло. — Кишечная микрофлора младенца представляет собой молодой лес, и при пожаре от него ничего не остается». Один из аспирантов Блейзера, Лори Кокс (Laurie Cox), поставил следующий эксперимент: он держал мышей на диете с высоким содержанием жира и одновременно скармливал им антибиотики. В результате животные очень быстро набрали вес. «Здесь мы имеем дело с синергией — взаимным усилением действия двух факторов», — поясняет Блейзер. В США масштабы применения антибиотиков существенно различаются в разных штатах, так же как и процент жителей, страдающих ожирением. Интересно,

что диаграммы для того и другого параметров совпадают, при этом максимальные значения характерны для южных штатов.

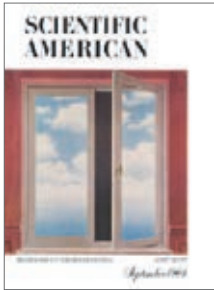
Одних пробиотиков недостаточно

Результаты исследований, о которых шла речь выше, позволяют надеяться на появление совершенно новых подходов к предотвращению и лечению ожирения. Пока в этой области исследований, делающей свои первые шаги, возникает больше вопросов, чем находится ответов. «Данные по человеческой популяции гораздо менее определены, чем по мышам», — замечает Клэр Фрэйзер (Claire Fraser) из Мэрилендского университета, объектом исследований которой стали члены консервативной секты амишей. По ее словам, даже в такой однородной популяции, как эта, индивидуальные различия настолько велики, что крайне трудно вычленивать роль микробиоты в таком сложном заболевании, как ожирение.

И все же поиски потенциально эффективных подходов к борьбе с ожирением ни на минуту не прекращаются. Так, Домингес-Белло проводит клинические испытания в Пуэрто-Рико, в которых новорожденных, появившихся на свет в результате кесарева сечения, немедленно протирают марлей, пропитанной вагинальным отделяемым матери. Она собирается следить за массой тела и состоянием здоровья младенцев в сравнении с таковыми для аналогичных новорожденных, не подвергавшихся подобной обработке.

Группа микробиологов из Амстердама занимается совсем другим: они намереваются выяснить, приводит ли перенос «фекальных трансплантов» от людей с нормальным весом тем, кто страдает ожирением, к положительному результату — уменьшению массы тела. Коллеги из США считают такую процедуру рискованной и мало предсказуемой. Более перспективным, по мнению Роберта Карна (Robert Karn), занимающегося распределением грантов Национальных институтов здравоохранения между учеными, которые связаны с решением проблем ожирения, может стать другой подход: идентификация штаммов бактерий, преобладающих в кишечнике людей с малым весом, определение их роли и разработка соответствующих методов лечения. Гордон считает, что нужно обогащать пищу полезными бактериями и веществами, способствующими их размножению в кишечнике, — подход, представляющий собой научно обоснованный аналог потребления таких пробиотиков, как йогурты. Само собой разумеется, что одни только пробиотики не победят ожирения, но в сочетании с физическими упражнениями и правильным питанием они помогут нашему «микробиологическому войску» справиться с этой проблемой. ■

Перевод: Н.Н. Шафрановская



СЕНТЯБРЬ 1964 Кванты пространства.

«В теории относительности, одном из двух важнейших научных достижений нашего века (другое — квантовая теория), гравитационное взаимодействие материи сводится к геометрии. Как в горной местности для

представления разных форм рельефа необходима формула расстояния, меняющаяся от места к месту, так и в геометрии Эйнштейна для представления различных масс используется переменная формула расстояния. Материя определяет геометрию, которая в результате и отвечает за явления, прежде приписывавшиеся гравитации. Геометрия поглотила часть реальности и, возможно, поглотит всю реальность. В квантовой механике физики сегодня пытаются разрешить кажущееся противоречие волновых и корпускулярных свойств субатомной материи. Может оказаться, что и те и другие порождаются квантами пространства. Возможно, и сама материя также растворится в чистом пространстве». — Морис Клайн (Morris Kline).



СЕНТЯБРЬ 1914 Великая война.

Чтобы оценить колоссальный масштаб войны, ведущейся сейчас в Европе, нужно иметь в виду два факта. Первый: это война не на жизнь, а на смерть. Второй: при полном понимании окончательности результата каждая из участвующих в войне стран уже мобилизовала все подготов-

ленные резервы или объявила, что сделает это в ближайшем будущем. В итоге под ружье будет поставлено около 16 млн человек. В интересах человечества важно, чтобы страны, идущие к полному крушению, поняли, что результат не будет подлежать обжалованию.

Примечание: слайд-шоу о военных науках времен Первой мировой войны см. по адресу: www.ScientificAmerican/sep2014/wwi

Другой взгляд на войну. Люди сегодня крайне мнительны в отношении войн. Одни задаются вопросом, так ли уж глуп патриотизм. Другие заранее трепещут. Имеют место бряцание оружием, призывы к действию, крики о славных традициях отечества, а на заднем плане постоянно маячит смутный образ жирного финансиста с пронзительным взглядом. Нас слишком часто предавали, тревожатся одни; другие готовы самоотверженно сражаться за окончание войны, но не готовы участвовать в любой другой.

Спутник Юпитера. В недавней телеграмме от профессора Ричарда Такера (Richard Hawley Tucker), который



в настоящее время занимает пост исполнительного директора Ликской обсерватории, содержится очень интересное сообщение. 21 июля мистер Сет Николсон (Seth Bagnes Nicholson) из этой обсерватории сфотографировал объект в окрестности Юпитера — вблизи его восьмого спутника, но еще более слабый. Были предприняты дальнейшие исследования, и в телеграмме утверждается, что, согласно результатам расчета орбиты новооткрытого объекта, он тоже спутник огромной планеты, девятый. Однако он так слаб, что даже в самые большие телескопы не виден или едва различим и обнаруживаться может лишь фотографическим способом.

Примечание: имя (Синопе) этому девятому из 67 известных на сегодня спутников Юпитера было присвоено только в 1975 г.



СЕНТЯБРЬ 1864

Облегчение домашней работы.

Когда Чарлз Диккенс писал свой «Холодный дом», он создал примечательный образ миссис Джеллиби. Ее миссией был уход за неучами, и она выполняла эту миссию так усердно, что ее собственные дети ходили в лохмотьях, а ее дом являл собой картину

беспорядка. Это было естественным результатом небрежения своим долгом. Но если бы Диккенс вновь посетил этот край, чтобы писать о женщинах с миссией, он увидел бы совершенно иную картину. Посмотрите, что сделала для общества простая бытовая техника. Годы назад домохозяйка, закончив более тяжелые дневные работы, вечерами сидела и усердно работала иглой. Возвышавшаяся перед ее усталым взглядом груда одежды грозила подавить ее. Сегодня дело обстоит не так, и мы можем поблагодарить изобретателей, которые создали машины, выполняющие тяжелую работу иглой.

Огромная рыба. Первый лосось, выловленный в реке Коннектикут за 40 лет, был на другой день доставлен в город Чикопи и подан на обед в Массасой-Хаусе в Спрингфилде, штат Массачусетс. ■

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

1. Указать в бланке заказа/подписки те номера журналов, которые вы хотите получить, а также ваш полный почтовый адрес. Подписка оформляется со следующего номера журнала.
2. Оплатить заказ/подписку в отделении любого банка (для удобства оплаты используйте квитанцию, опубликованную ниже). Оплату можно произвести также при помощи любой другой платежной системы по указанным в этой квитанции реквизитам.
3. Выслать заполненный бланк заказа/подписки вместе с копией квитанции об оплате:
 - по адресу 119991, г. Москва, ГСП-1 Ленинские горы, д. 1, к. 46, офис 138, редакция журнала «В мире науки»;
 - по электронной почте podpiska@sciam.ru, info@sciam.ru;
 - по факсу: +7 (495) 939-42-66

Стоимость подписки на первое полугодие 2014 г. составит:

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

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

Стоимость одного номера журнала: за 2010 г. — **30 руб. 00 коп.**, за 2011 г. — **40 руб. 00 коп.**,

за 2012 г. — **60 руб. 00 коп.**; за 2013 г. — **100 руб. 00 коп.**

(без учета доставки); стоимость почтовой доставки по России — **70 руб** заказной бандеролью, **50 руб.** — простым письмом.

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

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

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

БЛАНК ЗАКАЗА НОМЕРОВ ЖУРНАЛА

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

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2014 г.												
2013 г.							объединенный выпуск					
2012 г.												
2011 г.												
2010 г.											объединенный выпуск	

Ф.И.О. _____

Индекс _____

Область _____

Город _____

Улица _____

Дом _____ Корп. _____ Кв. _____

Телефон _____

E-mail: _____

* Выделенные черным цветом номера отсутствуют

Некоммерческое партнерство
«Международное партнерство
распространения научных знаний»
Расчетный счет 40703810238180000277
В Московском банке Сбербанка БИК 044525225
России ОАО №9038/00495 3010181040000000225
Корреспондентский счет ИНН 7701059492; КПП 772901001

Фамилия, И.О., адрес плательщика

Вид платежа	Дата	Сумма
Подписка на журнал «В мире науки» № _____ год		

Плательщик

Некоммерческое партнерство
«Международное партнерство
распространения научных знаний»
Расчетный счет 40703810238180000277
В Московском банке Сбербанка БИК 044525225
России ОАО №9038/00495 3010181040000000225
Корреспондентский счет ИНН 7701059492; КПП 772901001

Фамилия, И.О., адрес плательщика

Вид платежа	Дата	Сумма
Подписка на журнал «В мире науки» № _____ год		

Плательщик

**ОФОРМИТЬ ПОДПИСКУ
НА ЖУРНАЛ "В МИРЕ НАУКИ"
МОЖНО:**

В ПОЧТОВЫХ ОТДЕЛЕНИЯХ

ПО КАТАЛОГАМ:

"РОСПЕЧАТЬ",

ПОДПИСНОЙ ИНДЕКС

81736 для ЧАСТНЫХ ЛИЦ,

19559 для ПРЕДПРИЯТИЙ

И ОРГАНИЗАЦИЙ;

"ПОЧТА РОССИИ"

ПОДПИСНОЙ ИНДЕКС

16575 для ЧАСТНЫХ ЛИЦ,

11406 для ПРЕДПРИЯТИЙ

И ОРГАНИЗАЦИЙ;

КАТАЛОГ «ПРЕССА РОССИИ» 45724

WWW.AKC.RU

ПОДПИСКА ПО РФ И СТРАНАМ СНГ:

ООО "УРАЛ-ПРЕСС",

WWW.URAL-PRESS.RU

СНГ, СТРАНЫ БАЛТИИ И ДАЛЬНЕЕ

ЗАРУБЕЖЬЕ: ЗАО "МК-ПЕРИОДИКА",

WWW.PERIODICALS.RU

РФ, СНГ, ЛАТВИЯ:

ООО "АГЕНТСТВО "КНИГА-СЕРВИС",

WWW.AKC.RU



Senior Vice President and Editor in Chief:

Mariette DiChristina

Contributing editors:

Mark Alpert, Steven Ashley, Davide Castelvecchi,
Graham P. Collins, Deborah Franklin, Maryn McKenna,
John Rennie, Sarah Simpson

Executive Editor:

Fred Guterl

Managing Editor:

Ricki L. Rusting

Managing Editor, Online:

Philip M. Yam

Design Director:

Michael Mrak

News Editor:

Robin Lloyd

Senior Editors:

Mark Fischetti, Christine Gorman, Anna Kuchment,
Michael Moyer, George Musser, Gary Stix, Kate Wong

Associate Editors:

David Biello, Larry Greenemeier, Katherine Harmon,

Ferris Jabr, John Matson

Podcast Editor:

Steve Mirsky

Art director:

Ian Brown

President:

Steven Inchcoombe

Executive Vice President:

Michael Florek

Vice President and Associate Publisher,

Marketing and Business Development:

Michael Voss

Vice President, Digital Solutions:

Wendy Elman

Adviser, Publishing and Business Development:

Bruce Brandfon

© 2014 by Scientific American, Inc.

Читайте в следующем номере:



Черная дыра в начале времен

Ученые разработали весьма детальную и убедительную картину появления и истории Вселенной. Однако лишь несколько глубоких вопросов способны свести на нет всю эту стройность. А что если Большой взрыв и Вселенная, возникшая в результате него, — голографический мираж, спроецированный из другого измерения?

Космическая (не)значительность

Чтобы узнать, существует ли внеземная жизнь, мы должны определиться с нашим собственным местом во Вселенной. Наша планета и мы сами — особенные, совершенно неповторимые? Или достаточно среднестатистические, а то и вполне заурядные?

Новый вид наследственности

Различные химические вещества, стресс и многие другие факторы могут постоянно влиять на активность гена и менять ее, при этом не трансформируя последовательность ДНК. Некоторые из этих эпигенетических изменений могут передаваться следующим поколениям и становиться причинами их заболеваний.

Очнулся — гений!

Знаменитый фильм с участием Дастина Хоффмана «Человек дождя» привлек внимание к существованию синдрома саванта, при котором люди с аутизмом от рождения проявляют исключительные интеллектуальные или художественные способности. Приобретенным савантизмом называют состояние, при котором у человека после травмы головного мозга появляются способности рисовать, играть музыкальные произведения или выполнять в уме сложные подсчеты.

Спасти большие данные

Информация о частном человеке всегда обладает принципиальной значимостью как для государства, так и для индустрии, чтобы они могли нормально функционировать. Но как можно повлиять на различные институты власти и общества, чтобы, собирая и анализируя эти данные, они не злоупотребляли ими? Это один из важнейших вопросов наступающей цифровой эры — и необходимо найти на него четкий ответ.

Наука обучения

С помощью методов, заимствованных из медицины и экономики, ученые выясняют, как эффективнее всего работать с классом. Но до школ эти результаты не доходят.



ПРИ ПОДДЕРЖКЕ
ПРАВИТЕЛЬСТВА
МОСКВЫ



МИНИСТЕРСТВО
ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ



МОСКОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ М.В.ЛОМОНОСОВА



ДЕПАРТАМЕНТ НАУКИ,
ПРОМЫШЛЕННОЙ ПОЛИТИКИ
И ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА
ГОРОДА МОСКВЫ



ISSN 0208-0621
14009
9 770208 062001

генеральный партнер генеральный спонсор стратегический партнер информационный партнер официальный партнер официальный партнер официальный спонсор при поддержке официальный партнер генеральный информационный партнер генеральный телевизионный партнер