

МЕДИЦИНА
Ключ
к тайне рака

ПСИХОЛОГИЯ
Google меняет
ваш мозг

МЕДИЦИНА
Грибы
наступают

ежемесячный научно-информационный журнал

SCIENTIFIC
AMERICAN

В мире науки

www.scientificrussia.ru
www.sci-ru.org

№2 2014

12+

ИДЕИ,

МЕНЯЮЩИЕ

МИР

Новая алхимия

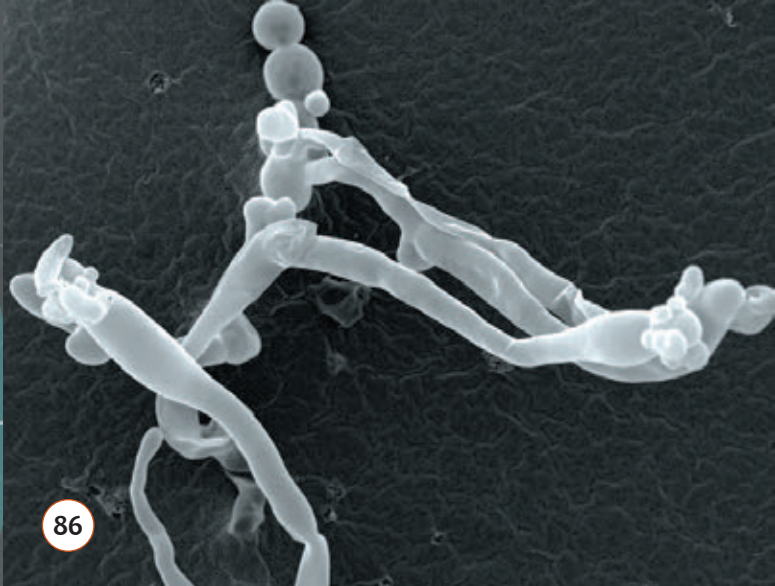
Как создать
высокотехнологичные
материалы
без экспериментов



Журнал выходит при поддержке
МГУ имени М.В. Ломоносова



68



86

СОДЕРЖАНИЕ

Февраль 2014

Главные темы номера

Персона

УСПЕХ — ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИИ

Ольга Беленицкая

Ведущая программы «Мнение» на канале «Россия 24»
Эвелина Закамская беседует с главой Федерального агентства научных организаций **Михаилом Котюковым** о будущем российской науки

Профиль

АКАДЕМИК ЛЮДВИГ ФАДДЕЕВ: «КРАСОТА НУЖДАЕТСЯ В ЗАЩИТЕ»

Владимир Губарев

Академик-секретарь отделения математических наук РАН **Людвиг Фаддеев** — о музыке, физике, математике, инопланетянах, джентльменах и трюках

Потенциал

«ТЕРМОЯДЕРНЫЙ РЕАКТОР У НАС УЖЕ ЕСТЬ, НАДО ТОЛЬКО НАУЧИТЬСЯ С НИМ РАБОТАТЬ»

Валерий Чумаков

Вице-президент РАН, председатель СО РАН академик **Александр Асеев** — о месте сибирской науки в мировой системе, о прорывных технологиях и о том, как их можно обеспечить

Энергетика

«НАУКА — ЭТО НЕ ИГРА В ПРЯТКИ»

Владимир Губарев

Нестандартная и откровенная беседа с академиком **Евгением Велиховым** о термоядерной энергетике, проекте ITER, взаимоотношениях науки и власти, роли ученых в судьбах мира

ТЕРМОЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ — ПРОЕКТ ВЕКА

Бурхан Массалимов

4

О вкладе России в создание международного экспериментального термоядерного реактора наш корреспондент говорит с директором Проектного центра ITER **Анатолием Крассильниковым**



Информационные технологии

БОЛЬШЕ ДАННЫХ, ХОРОШИХ И РАЗНЫХ!

Виктор Фридман

8

Способны ли нынешние технологии справиться с лавиной информации и какие вычислительные новшества нас ждут в будущем, рассказывают начальник отделения математического моделирования и информационных технологий НИЦ «Курчатовский институт» **Вячеслав Ильин** и заместитель директора института по информационным технологиям и системам **Василий Велихов**



18



26

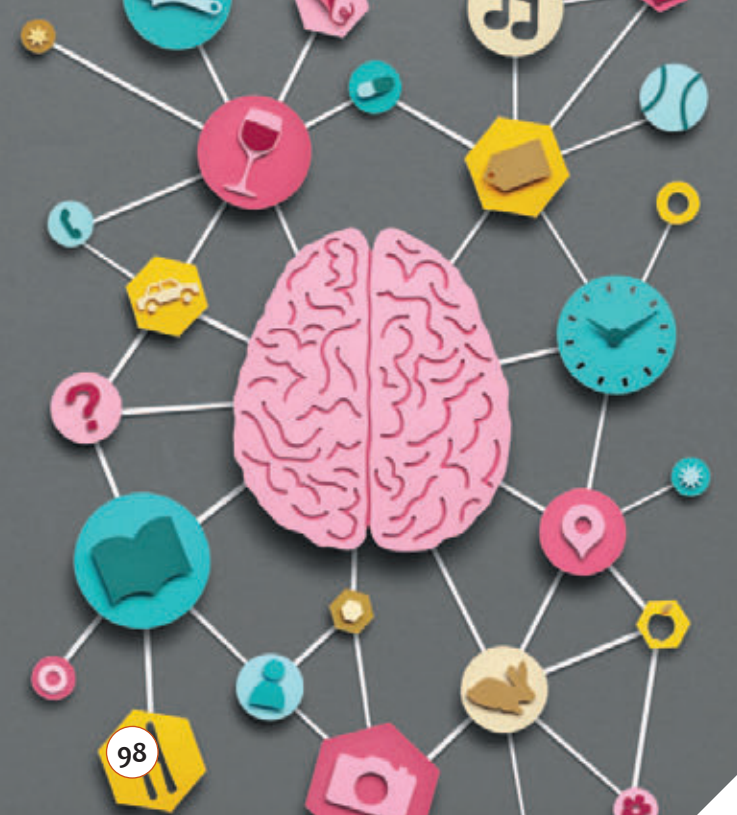


30



38





Конвергенция наук

**НА ПУТИ
К ИСКУССТВЕННОМУ ИНТЕЛЛЕКТУ**

Виктор Фридман

О новейших разработках в области искусственного интеллекта и участия в них российской науки — заместитель директора по научной работе **Вячеслав Демин** и заведующий лабораторией нейроиинтеллекта и нейроморфных систем Курчатковского НБИКС-центра **Михаил Бурцев**

Медицина

ГЛАЗ КАК У ОРЛА

Наталья Лескова

О работе современного офтальмохирурга рассказывает главный врач ФГБУ «Межотраслевой научно-технический комплекс «Микрохирургия глаза» им. академика С.Н. Федорова» **Николай Соболев**

Идеи, меняющие мир

ЧЕЛОВЕК, ПОЙМАВШИЙ ВЕТЕР

Ольга Платицина

Представитель знаменитой династии изобретателей и путешественников **Бертран Пикар** обещает через год облететь вокруг Земли без капли топлива на экологически чистом и энергоэффективном самолете на солнечных батареях



Инновации

ИДЕИ, МЕНЯЮЩИЕ МИР

68

46

Десять способов, которыми наука может изменить до неузнаваемости привычные гаджеты, помочь решить самые трудные проблемы и сохранить жизни

Инфекционные заболевания

ГРИБЫ АТАКУЮТ

86



Дженнифер Фрээр

Необычное грибковое заболевание, обнаруженное в Канаде и США, несет новую угрозу здоровью человечества

Медицина

**ДЛИННЫЙ ПУТЬ
К РАЗГАДКЕ ТАЙНЫ РАКА**

94

54



Джордж Джонсон

Новые данные свидетельствуют о том, что рак — еще более сложное заболевание, чем представлялось ранее

Психология

КАК ИНТЕРНЕТ МЕНЯЕТ НАШ МОЗГ

98

62



Дэниел Вегнер и Адриан Уорд

На протяжении тысячелетий люди рассчитывали друг на друга в запоминании информации; теперь мы полагаемся на онлайн-хранилища данных и поэтому иначе воспринимаем и запоминаем то, что нас окружает

Разделы

От редакции	3
50, 100, 150 лет тому назад	85
Книжное обозрение	104
События, факты, комментарии	106

ежемесячный научно-информационный журнал

SCIENTIFIC AMERICAN В мире науки

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



SCIENTIFIC AMERICAN

ESTABLISHED 1845

Senior Vice President and Editor in Chief:

Executive Editor:

Managing Editor:

Managing Editor, Online:

Design Director:

News Editor:

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

Contributing editors: Mark Alpert, Steven Ashley, Davide Castelvecchi, Graham P. Collins, Deborah Franklin, Maryn McKenna, John Rennie, Sarah Simpson

Art director: Ian Brown

President: Steven Inchoombe

Executive Vice President: Michael Floreck

**Vice President and Associate Publisher,
Marketing and Business Development:** Michael Voss

Vice President, Digital Solutions: Wendy Elman

Adviser, Publishing and Business Development: Bruce Brandon

© 2013 by Scientific American, Inc.

НАШИ ПАРТНЕРЫ:



PETER



SERVICE

О Ч Е В И Д Н О Е



НЕ В Е Р О Я Т Н О Е



Сибирское отделение РАН



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»



Российская Академия Наук



Учредитель и издатель: Некоммерческое партнерство «Международное партнерство распространения научных знаний»

Главный редактор: **В.Е. Фортос**

Первый заместитель главного редактора: **А.Л. Асеев**

Директор НП «Международное партнерство распространения научных знаний»: **С.В. Попова**

Заместители главного редактора: А.Ю. Мостинская

Зав. отделом естественных наук: О.И. Стрельцова

Зав. отделом российских исследований: В.Д. Ардаматская

Выпускающий редактор: Ю.Г. Юшквичюте

Обозреватели: М.А. Янушкевич

Администратор редакции: В.С. Губарев, Ф.С. Капица, В.Ю. Чумаков

Научные консультанты: О.М. Горлова

зав. лабораторией нейроинтеллекта и нейроморфных систем НИЦ «Курчатовский институт» к.ф.-м.н. М.С. Бурцев; зам. директора по информационным технологиям и системам НИЦ «КИ» к.ф.-м.н. В.Е. Велихов; академик РАН Е.П. Велихов; зам. директора по научной работе Курчатовского

НБИКС-центра к.ф.-м.н. В.А. Демин; начальник отделения математического моделирования и информационных технологий НИЦ «КИ» д.ф.-м.н. В.А. Ильин; директор

частного учреждения «ИТЭР-Центр» д.ф.-м.н. А.В. Красильников; главврач ФГБУ «Межотраслевой научно-технический комплекс «Микрохирургия глаза» им. академика С.Н. Федорова» к.м.н. Н.П. Соболев; академик РАН Л.Д. Фаддеев

Над номером работали: М.С. Багоцкая, О.Л. Беленицкая, Е.В. Головина,

О.В. Калантарова, Т.М. Колянич, А.П. Кузнецов, С.А. Кузнецов, Н.Л. Лескова,

Н.Н. Малахин, Б.И. Массалимов, А.А. Петров, А.И. Прокопенко, И.Е. Сацевич,

В.Э. Скворцов, В.П. Фридман, Н.Н. Шафрановская

Верстка: А.Р. Гукасян

Дизайнер: Я.В. Крутий

Корректура: 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. Галоненко

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 №2 14-01-00132

© **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 опубликованы

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.

Дорога в тысячу ли

Мариэтт Ди Кристина,
главный редактор журнала
Scientific American



Я всегда питала слабость к философам-мечтателям, в том числе к алхимикам. Возможно, дело отчасти в том, что в восьмом классе я была серьезным маленьким человеком — отличницей и гордым членом школьного клуба «Алхимики». Нашей главной функцией было содержание в порядке бунзеновских горелок и разных колб. Но мне кажется, что меня также всегда восхищало и привлекало стремление превратить что-то малопривлекательное (например, недорогой металл) в нечто намного более ценное (скажем, в серебро или золото).

Разумеется, развитие науки сегодня становится важным средством формирования материального мира, помогает улучшить качество жизни людей. А в нашем перенаселенном, подверженном изменениям климата мире мы интересуемся скорее выработкой решений, которые обеспечили бы нам длительное благополучное будущее, чем превращением отходов в драгоценные металлы.

В главной статье настоящего номера «Материалы мечты» Гербранд Сидер и Кристин Перссон описывают современный подход к чудесам, подобным алхимии: возможность, как это объясняют авторы, «проектировать новые материалы с чистого листа с помощью суперкомпьютеров и первооснов физики». Производители автомобилей, самолетов и прочей техники уже много лет применяют виртуальное конструирование. Сегодня к ним присоединяются материаловеды, работая на уровне квантовой механики.



АЛХИМИЧЕСКИЕ СИМВОЛЫ из книги Госена ван Вресвейка (Goosen van Vreeswijk) «Минералогический кабинет», 1670 г.

Статья предваряет нашу ежегодную рубрику «Идеи, меняющие мир», которую мы ввели несколько лет назад. Ее цель — информировать об инновациях, готовых выйти из лабораторий в повседневную практическую жизнь, статьи ее значимыми элементами. В числе перспективных новинок этого года мы представляем «мягких» роботов, сверхтонкие смартфоны, способы лечения болезней путем манипулирования генами микробов в кишечнике человека, лабораторию в чемоданчике для выявления некачественных лекарств, а также мосты и самолеты, собирающиеся по принципу конструктора *Lego*.

Разумеется, контролировать мир очень трудно. Как можно понять

из статьи «Как Интернет меняет наш мозг» Дэниела Венгера и Адриана Урда, создаваемые нами технологии формируют нас самих. Авторы показывают, как наша растущая зависимость от Всемирной паутины снижает способность человека вспоминать. Свидетельством тому может стать случай на корпоративном обеде. Кто-то спросил: «Кто сказал: "Абсолютная власть возвращается абсолютно"»? Я выпалила ответ. После некоторой паузы несколько человек извлекли смартфоны, чтобы проверить меня, ибо вспомнить никто так и не смог. Если и вы не можете вспомнить, вы всегда можете посмотреть. ■

Мариэтт Ди Кристина,
главный редактор журнала *Scientific American*



Встреча главы ФАНО Михаила Котюкова с руководителями научных организаций РАН

УСПЕХ – ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИИ

Предлагаем вашему вниманию часть интервью ведущей программы «Мнение» на канале «Россия 24» Эвелины Закамской с главой Федерального агентства научных организаций (ФАНО) Михаилом Михайловичем Котюковым. Интервью записано 24 декабря 2013 г. — в день, когда состоялась первая встреча главы ФАНО с руководителями научных организаций РАН. Даже скептики согласились с тем, что эта встреча позволила наладить конструктивный диалог, сблизить позиции и обрести надежду на то, что у российской науки хорошее стабильное будущее

РОССИЯ 24

Это было закрытое совещание, которое предваряла большая подготовительная работа, проделанная Федеральным агентством научных организаций и Российской академией наук. Несмотря на предновогодние дни, главный зал президиума РАН был заполнен до отказа людьми, приехавшими

со всей страны. Каждому руководителю был вручен пакет документов, включающий соглашение о сотрудничестве институтов с ФАНО, которое сразу же подписывалось. На совещании обсуждались проблемы, связанные с переходным периодом, реформой, взаимодействием с научными организациями и т.д.



Михаил Котюков



Эвелина Закамская

— Федеральное агентство научных организаций появилось недавно, и этому предшествовали очень жаркие дебаты, связанные с началом реформы РАН и всей федеральной науки. Ваше появление во главе этого агентства было для многих неожиданным. Как вас сегодня воспринимает академическое сообщество?

— Мне сложно оценить, как меня воспринимает противоположная сторона. У меня ощущение конструктивного диалога. Есть ряд вопросов, которые волнуют руководителей институтов, — кадровые, имущественные, финансовые, организационные: как будет работать агентство, куда и к кому обращаться? Я на этой встрече отвечал на вопросы, представлял уже назначенных сотрудников агентства. Но не на все вопросы у меня сегодня есть ответы.

— Бюджет 90 млрд руб. на 2014 г. остается?

— Бюджет, который был определен в процессе обсуждения в Государственной думе при принятии решения о создании агентства, был разделен на две части: около 4 млрд руб. — бюджет РАН и чуть больше 90 млрд — бюджет ФАНО. При этом в бюджете есть статья, которая позволяет перераспределять средства между этими двумя распорядителями.

— По какому принципу были определены именно такие части: 4 млрд руб. — на чистую науку, а 90 млрд руб. — на ее хозяйственные нужды?

— Закон предусмотрел определенный функционал академии наук. Была создана рабочая группа с участием представителей Российской академии наук, Министерства образования и науки, Министерства финансов, которая оценила стоимость этого функционала. Средства из бюджета, предусмотренные для РАН, остались за ней фактически в полном объеме. Средства, которые предусматривались для передачи подведомственным организациям, полностью переданы ФАНО. Мы сформировали перечень подведомственных

организаций, внесли в правительство на утверждение. Сегодня на встрече мы обсуждали необходимость внесения изменений в уставы организаций, указав, что функции и полномочия учредителей теперь выполняет федеральное агентство. Это первые юридические шаги, которые нужно совершить.

Что касается распределения средств, то около 74 млрд — это объем государственного задания научных институтов. Тематика определена академией наук в программе фундаментальных исследований. Государственное задание построено по такому принципу, чтобы оно могло реализовать эту программу. Ее задачи закреплены за конкретными институтами. Еще около 10 млрд руб. — это различные инвестиции в объекты строительства. И еще порядка 5 млрд руб. — это так называемые иные целевые субсидии, предоставляемые организациям: стипендии, различные льготы, в том числе связанные с работой на Севере, расходы на содержание региональных научных центров и т.д.

— Итак, у вас финансы и имущество, а у академии остается наука. Будут ли меняться принципы финансирования, принципы распределения ресурсов? И какую роль здесь может играть Федеральное агентство научных организаций?

— На недавно прошедшем Совете при президенте РФ по науке и образованию говорилось о необходимости увеличения конкурсной части государственного задания по сравнению с базовой. В академии была практика программ президиума РАН, когда выбирались проекты и через конкурсный механизм — исполнители этих программ. Мы будем ждать предложения от РАН, как наиболее эффективно поддержать проекты. Далее в течение года наши институты будут участвовать в грантах, всевозможных конкурсах, которых в бюджете достаточно много. Мы будем активно содействовать этому и получать дополнительные средства на реализацию наших планов и задач.



Встречи и беседы с руководителями научных организаций РАН по окончании собрания



Президент РАН В.Е. Фортов

— Есть ли у вас сегодня полномочия по сокращению числа научных институтов, научных организаций в течение ближайших лет, если вы убеждаетесь в их неэффективности?

— В законе о реформе РАН написано, что до передачи научных организаций в ведение агентства на сокращение их числа установлен мораторий. Позиция президента состоит в том, что этот мораторий нужно продлить еще на год. В условиях, когда идет передача такого большого хозяйства, принимать решения что-то изымать, передавать не совсем правильно. Есть поручение нам вместе с В.Е. Фортовым обеспечить эту передачу, затем организовать взаимодействие и доложить о вариантах развития всего комплекса.

— Попытаюсь представить, как вы с Владимиром Евгеньевичем будете это делать. Вы решаете судьбу института, считаете убытки, отмечаете неэффективное использование финансов, а он говорит: «Они заняты исключительно важными исследованиями, и они могут продлиться еще десять лет, но без гарантированного результата».

— Есть формальная сторона процесса, и есть содержательная. Всегда нужно искать компромисс. На одной из наших первых встреч Владимир Евгеньевич сказал, что в академии не принято пользоваться директивными методами управления, решения принимаются коллегиально. Думаю, эту практику мы должны «настроить» таким образом, чтобы она у нас работала. В положении об агентстве сказано, что при подготовке комплексной оценки научной организации ту часть, которая характеризует научную деятельность, мы должны получить у академии и готовить итоговый документ с учетом этих предложений. Как будет работать академия, как будем оценивать мы — это вопрос нашего предстоящего взаимодействия.

— Во время дискуссии на совете по науке и образованию В.Е. Фортовым и министром Д.В. Ливановым были высказаны пожелания о выработке понятия эффективности работы институтов. Государственное задание, которое получают институты, должно быть выполнено?

— Безусловно. Государственное задание не содержит ни одного финансового показателя, там есть только функциональные измерители. Если это задание на научное исследование, то можно понять, в какой области работает данная организация и что будет показателем для оценки качества выполнения этого задания. Мы зафиксировали ситуацию в том виде, в каком она есть. Далее будем смотреть, что внутри этих показателей. Главное, чтобы любой человек мог ознакомиться с этой информацией. Все государственные задания должны быть размещены на доступном информационном портале. Затем должен быть составлен отчет о выполнении задания, где плановые показатели будут сопоставлены с фактическими. Содержательную часть оценивает академия наук.

— Не множит ли это бюрократию? Не будут ли сотрудники институтов большую часть времени тратить на составление отчетов?

— Я знаю мнение В.Е. Фортова по этому поводу. Он продемонстрировал на заседании совета отчет, который он должен составить для России, и отчет, который он составляет для Германии. Конечно, это разные отчеты, и я думаю, что Владимир Евгеньевич сможет наиболее эффективно отстроить эту процедуру. Я тоже не сторонник излишнего административного давления на коллектив. Люди должны заниматься профильной деятельностью в большей степени и в меньшей — составлением различных отчетов.

— Есть такие привычные для научной среды понятия, как наукометрия, индекс цитируемости.

— Не могут быть только наукометрические показатели, должны быть и другие, потому что часть наук имеет свою специфику. Система индекса цитирования — тоже не абсолютно объективная оценка. Нужно совмещать и использовать эти показатели, но есть еще вопрос экспертной оценки внутри самого сообщества. Это вопрос доверия к этому сообществу.

— Перед вами стоит непростая задача выстраивания диалога с научным сообществом. От ученых часто приходится слышать противоречивые пожелания.

С одной стороны, они говорят: «Перед нами не ставят глобальной задачи, на которую можно бросить все силы и средства». С другой стороны, они справедливо опасаются за судьбу фундаментальных исследований, когда подчас даже нет понимания тех результатов, которые они могут дать.

— Мы готовы максимально широко вести диалог. Сейчас на федеральном уровне формируется серьезная институциональная структура поддержки научной деятельности, и это не только бюджет, за который отвечает ФАНО. Созданы государственные научные фонды, в которых должны участвовать наши институты. Фонд также сейчас проходит процесс становления, но уже в трехлетнем бюджете имеет объем финансирования порядка 48 млрд руб. Есть Фонд фундаментальных исследований и Российский гуманитарный научный фонд. Есть фонды, которые сегодня имеют ресурсы и экономический спрос на проекты. Нужно готовить и представлять проекты. В науке отрицательный результат тоже может быть результатом.

— Какова структура Федерального агентства научных организаций? Сколько человек туда войдет? Кто они — ученые или менеджеры?

— Мы сейчас опираемся в основном на кадровый аппарат президиума РАН. Общая численность у нас существенно меньше, чем сегодня составляет совокупно аппарат президиумов трех академий, региональных отделений академии наук. Перед нами стоит непростая задача: мы должны меньшей численностью решить те же задачи.

Структура управления построена по функциональному принципу: управление имущественных отношений, управление бюджетных инвестиций, управление

земельных отношений, финансовое, планово-экономическое. Есть управления, которые будут непосредственно взаимодействовать с академией наук и с подведомственными организациями. Они построены по отраслевому принципу: управление по координации работы подведомственных организаций, управление по учреждениям сельскохозяйственных наук, управление по взаимодействию с академией наук. Его структура сейчас полностью соответствует структуре тематических отделений академии наук. В случае преобразования мы будем оперативно совершенствовать структуру.

— Непростой вопрос: кем вы сами себя сегодня ощущаете? «Смотрящим» за российской наукой или, наоборот, защищающим перед государством интересы ее и российских ученых? Понятно, что это не разные стороны баррикады, но, тем не менее, где-то ваши симпатии должны быть в большей степени.

— Однозначного ответа нет. Меня спрашивали на первой встрече: вы теперь будете бюджет защищать или биться за него? Бюджетный процесс имеет свою хронологию. Есть этап, когда обсуждается глобальное распределение ресурсов, которые всегда ограничены, между разными государственными программами. И здесь мы, конечно, должны конкурировать. Но когда все решения зафиксированы и компромиссная позиция определена по предельным параметрам, мы должны работать и это принятое решение транслировать в наших организациях. Будем развиваться поступательно. Уверен, что самый эффективный и правильный путь к успеху — это взаимопонимание и совместное решение сложных задач, которые сегодня стоят перед нами. ■

Подготовила Ольга Беленицкая



! Справка

Михаил Михайлович Котюков

- ✓ Родился в Красноярске. С отличием окончил Красноярский государственный университет по специальности «Экономика».
- ✓ С 2008 по 2010 г. занимал пост министра финансов Красноярского края. В 2008 г. был назначен вице-премьером краевого правительства. С апреля 2010 г. — директор Департамента бюджетной политики в отраслях социальной сферы и науки Министерства финансов РФ. С июня 2012 г. — заместитель министра финансов РФ.
- ✓ 25 октября 2013 г. было подписано распоряжение о назначении М.М. Котюкова руководителем Федерального агентства научных организаций (ФАНО).

Федеральное агентство научных организаций (ФАНО)

Создано в рамках реформы РАН. Осуществляет функции по регулированию и оказанию государственных услуг в области науки, образования, здравоохранения и агропромышленного комплекса, а также по управлению федеральным имуществом, находившимся в ведении Российской академии наук, Российской академии медицинских наук и Российской академии сельскохозяйственных наук. Главой агентства назначен М.М. Котюков.



Академик
Людвиг Фаддеев:

.....

КРАСОТА НУЖДАЕТСЯ В ЗАЩИТЕ

.....

Два десятилетия назад, возглавив журнал «Природа», академик Людвиг Дмитриевич Фаддеев сформулировал принципы, которых он придерживается в науке, и свои взгляды на взаимоотношения ученых и власти.

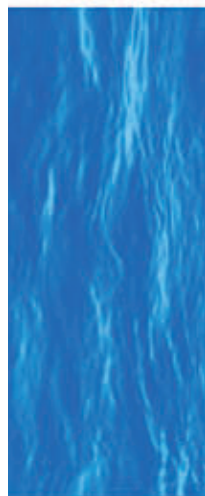
За минувшие годы в обществе почти ничего не изменилось, просто некоторые идеи не только получили свои подтверждение, но и обострились.

«Мысли вслух» академика Людвиг Фаддеева не потеряли своей актуальности

Об инопланетянах и не только

Спрашиваю: «Вы инопланетянин?» Отвечает удивленно: «Нет». Потом спохватывается: «А почему вы спрашиваете?»

Приходится объяснять, что сейчас модно разыскивать пришельцев, которые «заселяются» в людей и потом живут среди нас. Чуть не у каждого второго фильма в Голливуде подобный сюжет. А полвека назад, когда космонавтика еще только начиналась, я писал фантастические рассказы о селенитах, марсианах, венерианцах, которые прилетали на Землю и «поселялись» в людях. Один из сюжетов был посвящен тому, как пришелец из космоса выбрал для «поселения» известного математика. Объяснение простое: математики — очень странные люди, «не от мира сего», поэтому никто не догадается, где именно искать космического гостя. «Нет, я вам не подхожу, — отвечает Людвиг Дмитриевич. — Я абсолютно нормальный человек. Я оканчивал не математический, а физический факультет, поэтому в отличие от моих друзей-математиков я гораздо ближе к Земле».



«Мысли вслух»:

«Что, по моему мнению, составляет основу научного мировоззрения, что дает право называться ученым и естествоиспытателем?

из многих положений

я бы выделил пять:

профессионализм, убежденность, скептицизм, рациональность и интуицию.

Профессионализм. Без профессиональных знаний и навыков нельзя быть ученым.

Это очевидно и не нуждается в обсуждении. В нашем случае

основное отличие состоит

в том, что общественное

мнение не всегда может

отличить профессионала

в науке от самозванца-

лжеученого, у читателя-

неспециалиста нет для этого

тех же профессиональных

знаний. Таким образом,

только доверие может стать

источником положительного

отношения общества к ученым.

Оно основано на историческом

опыте, традициях научных

школ, международном

признании. Нарушение этого

доверия — во имя самых

важных, но сиюминутных

интересов — тяжкое

преступление перед наукой

и обществом».



На вручении премии Хайнемана

— Но почему вас понимают всего несколько десятков человек?

— Это моего отца понимали всего пять человек, а меня — все-таки гораздо больше.

— Он ведь тоже был математиком?

— И очень известным. Я расскажу об одном случае, который произошел в Казани. Это было в 1943 г. Отец ходит очень возбужденный по комнате. Я спрашиваю: «Что случилось?». Он отвечает, что кое-что придумал. «А сколько человек это поймут?» — интересуюсь я. Он отвечает: «Человек пять...» И тогда я решил, что в математику не пойду, и поступил на физический факультет. Кстати, то, что он придумал, называется теперь гомологической алгеброй, и эта тема прочно вошла в арсенал современной математики.

— А мама?

— Она занималась вычислительной математикой. Работала в Лаборатории № 2, той самой, которой руководил Игорь



Речь при вручении премии Шао



В кабинете академика-секретаря отделения математических наук на фоне Н.Н. Боголюбова и М.А. Лаврентьева



С любимой формулой

Васильевич Курчатова и где начинался атомный проект. Под ее руководством были 40 девушек-вычислителей, она давала им задания и, таким образом, была пионером распараллеливания вычислительных программ.

— **Значит, вы из семьи математиков?**

— Если брать шире, то у меня семья ученых разных направлений. Моя тетка была ассистенткой Ивана Петровича Павлова. Помню (мне было лет пять), она водила к нему музыкантов для сравнения тонкости слуха человека и собаки. У моего отца слух оказался лучше, чем у дирижера Самуила Абрамовича Самосуда, но хуже, чем у собаки. Вот такое странное детское воспоминание.

— **Оно лишний раз подтверждает, что математики — люди особенные.**

— Отец у меня был выдающимся человеком. Он был профессиональным пианистом, после школы поступил в консерваторию на композиторское отделение, но потом перешел на математику.

— **Я встречал среди математиков тех, кто знает наизусть «Илиаду», пишет стихи...**

— Насколько я знаю, среди математиков все-таки больше пианистов. После 1933 г. в Россию приехало много ученых из Германии. Среди них были прекрасные пианисты, и мой отец соревновался с геометром Стефаном Кон-Фоссеном, у кого быстрее темп в «Крейслериане» Шумана.

— **Так что отечественных математиков смело можно разделить на две группы: одна — музыканты, другая — любители поэзии.**

— Наверное, вы правы. Я стихи знаю плохо и не очень люблю их. Музыка же я знаю хорошо — она составная часть моей жизни.

— **И математика тоже. Почему к ней такое отношение?**

— Математика — это красота, если ее понимаешь.

— **А что же красивого в цифрах?**



С Шао Ифу и Янгом Чжэньнином



С В.И. Арнольдом

— Во-первых, не цифры, а буквы. Цифры — это в магазине. Считается, что математик умеет быстро все подсчитать. Это неправда. Я, быть может, как раз не смогу быстро складывать цифры, как это делают другие люди. Мы имеем дело с буквами, и они создают образы.

О Ландау, музыке и немного о физике

Во время беседы я чувствую, что мы иногда говорим на разных языках. Я пытаюсь втянуть ученого в нашу обыденность, стремясь представить сложнейшие вещи понятно и просто, но не получается. И зависит это не от нас, а от той самой науки, которая доступна лишь избранным, а точнее тем, кто ею занимается с детства и углублен в нее навсегда. Впрочем, Людвиг Дмитриевич сказал об этом неожиданно:

— Только что в машине я рассказывал Светлане Поповой, директору программы «Очевидное — невероятное», что я придумал некую функцию. Она говорит: «Какую? Что за функция?» Объясняю, что функция — это формула, которая выражает зависимость одной величины от другой. Моя функция называется «модулярный квантовый дилогарифм». Ей понравилось, потому что женщины на всегда чувствует красоту.



Л.Д. Фаддеев и В.С. Губарев

— Надеюсь, что нас будут читать и мужчины, поэтому все-таки попробуем разобраться в сути той красоты, что скрыта за словом «математика». Итак, с чем ее можно сравнить?

— Музыка, конечно, очень красивая.

— Но она тоже абстрактна.

— Это не имеет значения. Например, человек может быть не очень профессиональным поэтом, но все равно понимает истинную красоту слов. Так же следует воспринимать музыку.

— Чувствовать?

— Чувства, гармония — мы мало знаем об этом. Я абстрактную музыку воспринимаю меньше, мне ближе XIX в. Если не считать Баха, который всегда был и будет выше всех.

— А София Губайдулина, Эдисон Денисов?

— Я остановился на Шостаковиче и Прокофьеве.

— Вы сказали опасную вещь. Если вы остановились в музыке, то вы могли остановиться и в математике?

— Не согласен, потому что я занимаюсь той математикой, которая нужна для теоретической физики, и я знаю, что важно и что нужно дальше делать.

— Складывается впечатление, что и теоретическая физика как бы «застыла». Есть тома, написанные Львом Ландау, и этого достаточно?

— Этот вопрос для меня сложен. Дело в том, что я не принадлежу к школе Ландау, я учился в Петербурге. Главным человеком, который там определял науку, был физик-теоретик Владимир Александрович Фок. И у меня была замечательная учительница, математик широких взглядов Ольга Александровна Ладыженская. Я воспитан в той культуре. Читая книги Ландау, я находил некие вещи или непонятные, или некорректные. В общем, я не был полностью поражен выводами Ландау. Сейчас я к ним лучше отношусь. Но когда я учился, то был немного критичен.

— А вам не удалось с ним встретиться?

— Нет. Я его видел на подиуме, как теперь говорят, а так не разговаривал ни разу. Хотя в последнем издании «Квантовой механики» есть ссылка на одну мою работу. Ко мне хорошо относились из московской команды Яков Борисович Зельдович, Яков Абрамович Смородинский, Аркадий Бейнусович Мигдал и Владимир Борисович Берестецкий. Это из «окрестностей» Ландау, но с самим Львом Давидовичем я не встречался и не говорил. Жаль, потому что теперь мне приходится писать, в чем я не согласен с Ландау. Моя специальность — это квантовая теория поля. Ландау в конце своей жизни решил квантовую теорию «отменить», он ее «запретил». Ландау был великий цензор. Одна из моих любимых формулировок на эту тему: «Математика — наука демократическая, а физика — исключительно тоталитарная». В математике можно делать что угодно, а в физике даже очень красивая идея должна быть отброшена, если она противоречит эксперименту. Поэтому у нас демократия, а там тоталитаризм. А у тоталитаризма должен быть цензор, и главным цензором в СССР был Ландау. В Европе был Паули. Сейчас основой стандартной модели

выступают так называемые поля Янга — Миллса, которыми я в том числе занимался. Ландау про них, думаю, не знал, но знал Паули. Бесспорно, он был хорошим геометром, занимался теорией тяготения Эйнштейна, он это понятие знал, но не разрешал его использовать, потому что в рамках господствующей парадигмы для него не было экспериментального подтверждения.

— Итак, в физике происходит постоянное обновление, и вы, математики, обязаны за этим следить?

— Я считаю, что физика — фундаментальная наука о структуре материи. У нее есть одна задача — понять структуру материи, и когда мы поймем ее, то физика будет кончена. Конечно, на меня будут кричать: «Ты редукционист! Нельзя все до конца понять!» А я считаю, что можно. Мне так хочется в это верить. Но до конца понять можно только на математическом языке, и поэтому математика играет фундаментальную роль в естественных науках: она создает язык, на котором мы получаем окончательную истину.

— Значит, в физике ее нет, есть только какой-то предел. В биологии, я так понимаю, то же самое. Во всех отраслях науки можно дойти до предела?

— Вот, например, химия. На самом деле теория атомов и молекул, из которой следует и вся биология, — это всего лишь взаимодействие атомных ядер и электронов, больше ничего. И описывается это уравнением Шредингера. Так что описание фундаментальных основ всей химии есть. Но посчитайте: когда у вас 100 частиц, а в молекулах — сотни и миллионы, то приходится применять другие методы. Я даже где-то написал, что химия как фундаментальная наука закончена, но она, безусловно, продолжает быть наукой.

— И во главе всех наук бесконечная наука — математика? Вы ведь можете придумать то, чего не существует в этом мире?

— Да. Я примерно так и говорю. Математика может развиваться бесконечно, а любая естественная наука должна в конце концов получить свои фундаментальные основы.

Об учителях и бегстве за границу

— Вы вводите нас в мир, который невозможно понять нормальным людям?

— В этом трудность науки. В музыке обычный человек может что-то услышать или запомнить мотив, если у него есть слух, а в науке непрофессионал не сможет ничего понять.

— Зачем нам, обывателям, нужна математика? Можно было в космос полететь без нее?

— Нет. А кто уравнения будет решать? Сколько надо топлива, чтобы до такой-то скорости пойти и полететь? Это вы не просто складываете цифры, это вы решаете дифференциальное уравнение.

— Понятно. Атомную бомбу тоже нельзя было сделать без математики, правильно?

— С атомной бомбой, может быть, даже легче, чем с полетом ракет, но соответствующая математика уже известна, так что это меня не увлекает.

«Мысли вслух»:

«Процесс научного познания природы далек от завершения; одно это уже оправдывает существование ученых. Ученый, работающий над новыми закономерностями, должен быть свободен от догм, давления априорных соображений и предрассудков. Поэтому включение коллективного опыта в собственное сознание ученого сопровождается естественным скептицизмом, стремлением проверить, по возможности, самому то, что утверждают авторитеты <...>. Здоровый скептицизм — незаменимое оружие в борьбе с априорными теориями. На заре современного научного мировоззрения с его помощью были отмечены астрология и теория флогистона, а в прошлом веке — теория самозарождения. Сейчас, когда антинаука снова поднимает голову, его роль важна как никогда».

— Позвольте спросить вас как директора Математического института им. В.А. Стеклова...

— Я не директор уже давно. Я стараюсь отдавать свои должности.

— У вас их ведь множество?

— Было — в 1990-х гг., потому что многие ученые уезжали, и их обязанности пришлось взять на себя. Но постепенно я избавлялся от них. Отдал кафедру, потом лабораторию в институте, директорство и т.д. И у меня осталась только одна административная должность — академик-секретарь.

— Рядом с вами было много выдающихся людей. Кто особенно вам запомнился?



*«Мысли вслух»:
«Трудно заниматься научными исследованиями, не будучи убежденным в своих знаниях, перспективности выбранного направления. Здесь большую роль играет доверие к коллегам в прошлом и настоящем. Научное мировоззрение — в отличие от средневекового мышления — исходит из того, что знания, накопленные за последние 300 лет, не будут отмечены будущими исследователями, а практически будут входить в их мировоззрение. Процесс накопления и формулировки знаний сам по себе эволюционен, новые законы включают в себя старые как более частный случай. Политические революции, полностью отвергающие свергнутый общественный строй, не имеют аналогов в жизни науки. Все это приводит к определенному консерватизму ученых и научного сообщества в целом. Но важно понимать, что этот консерватизм не имеет ничего общего с застоем, схоластикой и идолопоклонством. Профессиональное понимание и уважение традиций, стремление к их сохранению и приумножению — это здоровый консерватизм».*

— Для меня самой важной была Ольга Александровна Ладыженская. Она учила меня, как работать. И, к счастью для меня, она не заставляла меня заниматься тем, чем она занималась, — это редко бывает в научных школах. Я был ее лучшим учеником и она учила меня технике работы с формулами, но она помогала. Я никого из своих учеников не заставляю заниматься тем, чем занимаюсь я. У нас есть общие интересы, но я стараюсь, чтобы у них появились собственные.

— Кто еще кроме Фока и ленинградской школы математики оказал на вас влияние?

— Я много читал, поэтому у меня есть духовные учителя. Это Поль Дирак, Герман Вейль и Ричард Фейнман.

— А из математиков кто к вам ближе? К кому вы хорошо относитесь?

— У нас есть «своя» компания — Сергей Новиков, Александр Кириллов, Виктор Маслов. Владимир Арнольд, к сожалению, умер.

— Расскажите, как вы ездили в Швецию, и почему именно туда?

— В 1962 г. Михаил Алексеевич Лаврентьев решил показать миру, что у нас есть молодые хорошие специалисты. И для поездки на очередной Международный математический конгресс в Стокгольме он включил несколько человек в туристическую группу. В группе были Дима Арнольд, Яша Синай, Юра Манин, Саша Кириллов, Витя Маслов, Алик Жижченко и я. Лаврентьев решил, что надо представить современных молодых математиков из нашей страны. Это произвело огромное впечатление. Потом у нас были разные судьбы, но воспоминания от первой поездки остались на всю жизнь. На следующий год весь Курантовский институт из Нью-Йорка приехал в Новосибирск, где прошел исключительный фестиваль. Приехал сам Рихард Курант и все его сотрудники: Петер Лакс, Луис Ниренберг, Юрген Мозер и Кэтлин Моравец.

— Это было начало широких международных контактов?

— Да. Потом все застопорилось. В 1967 г. некие люди организовали в математическом сообществе Москвы подписание письма в защиту Александра Сергеевича Есенина-Вольпина — математика, философа, поэта, одного из лидеров диссидентского и правозащитного движения в СССР, которого, по-моему, хотели посадить в психбольницу. И это было использовано, чтобы разгромить группу молодых математиков. Нас хотели остановить. Я не подписывал то письмо — куда-то уезжал, и меня не нашли. Я продолжал ездить за границу, а Ладыженской был закрыт выезд лет на 20. Новиков тоже, по-моему, был невыездным. В нашей истории было много чего невеселого.

В моей жизни наиболее драматичной представляется история Эйлеровского института. В 1986 г. Михаил Горбачев решил обсудить на Политбюро все науки. Поскольку математика первая в списке академии, значит,

ее и обсуждать в самом начале. Стали готовить материалы. Я был в Олонце, в карельских лесах. Приезжаю в гостиницу, милиционер стоит у ворот. Говорит: «Фаддеев?» — «Да». — «В райком!». Я звоню туда, отвечает очень вежливый инструктор: «Извините, Людвиг Дмитриевич, мы вас здесь поймали, но вы должны завтра уже сесть в поезд и ехать в Москву, мы готовим постановление ЦК». Я беспартийный был, между прочим. Так меня вызвали. У Василия Сергеевича Владимирова все было гораздо занятнее. Он рассказывал, что про него знали только, что он на реке Сясь, а там три райкома. На уши подняли все три — и Васю нашли ночующим в стогу на реке. На другом берегу стояла черная «Волга», и оттуда ему кричали: «Владимиров! Сейчас же переходите и поедете в Москву!». Мы подготовили решение, и оно было принято в октябре 1986 г. В это решение входило многое, в том числе строительство замечательного здания института Стеклова, которое сейчас находится на улице Вавилова. Я предложил создать Международный математический институт с тем, чтобы к нам ездили иностранцы. Институт собирались учредить в Киеве, но случился Чернобыль, и мне Марчук сказал: «Людвиг, придется возглавить институт». Выделили какие-то деньги и сообщили: «Горком вам даст здание». Горком подбирал здание, чтобы академия потратилась на его восстановление. Однако потом я выбрал небольшое здание, но в хорошем месте с обширной территорией, и мы приступили к созданию института. В 1991 г. пришла новая власть, но наша работа была в самом разгаре. Я договорился, что мы назовем наше детище именем Леонарда Эйлера — главного математика в России.

Институт начал работать. У нас было 16 квартир, в которых могли жить иностранные ученые. Программ было множество. Но начались 1990-е гг., и чиновники решили, что я все равно уеду, и что надо этим воспользоваться. В центре города полтора гектара земли, 16 квартир и особняк. И пошло: бандиты и все такое, едва не убили, но я все-таки жив остался.

— Все удалось спасти?

— Землю и дом я сумел, так сказать, своим телом защитить. Квартиры отняли. А институт существует, мы по-прежнему работаем. Но я надеюсь, что смогу вернуть ему положение главного места для международного общения математиков.

Что будет завтра?

— Как вы оцениваете место российской науки, разных ее направлений — физики, математики, биологии — в мировой науке?

— Я могу профессионально отвечать только за математику и теоретическую физику. Вы знаете, мы потеряли огромное количество людей. В нашем маленьком институте было 110 сотрудников, из них 70 докторов наук, 40 уехало. Я думаю, что наш институт понес самые большие потери. Сейчас мы отчасти восстановились: у нас 50 докторов наук, и молодежь есть хорошая, но ее очень трудно устроить. Тех, кто уехал, я несколько не осуждаю, потому что если тебе 32 года, двое детей и нет квартиры — куда деваться? Сам факт, что

«Мысли вслух»:

«Рационализм. Ему не следует придавать какие-либо субъективные оттенки, скажем, говорить о целесообразности устройства окружающего нас мира. Просто если уж ученый взялся описывать законы природы, то он исходит из того, что они есть и их можно открыть. Интуиция. Каждый работающий ученый знает, какую роль в его научной жизни играют предчувствия, озарения и “вещи сны” <...>. Интуиция играет огромную эвристическую роль в естествоиспытательстве, ее проявление, как правило, предшествует рациональному опыту».

этих 40 докторов приняли в лучшие университеты Европы и Америки, показывает, что у нас была очень высокая культура. Недавно появилась статья американских экономистов, которая называется «300 русских математиков изменили лицо американской математики». И действительно, когда в Америке тыходишь в более или менее крупный институт или центр, то всюду звучит русский язык. Почему я говорю, что академия наук — выдающаяся организация? Потому что мы могли с несравнимо меньшим бюджетом соревноваться на совершенно равном уровне с США, например, или со всей Европой. В конце 1980-х гг. мой институт был, наверное, одним из лучших институтов в мире. И то, что 40 человек из него сразу устроились на престижную работу за рубежом, только подчеркивает это.

— У вас много разных наград, званий. Академиком стали рано?

$$r_n = n^2 \frac{4 \cdot 8 \cdot 8 \cdot 2}{m_e Z q_e^2}$$

«Мысли вслух»:
«...Политика и наука — это два различных призвания, рекрутирующих людей с резко отличным один от другого образом мышления. Можно сказать, что научное мировоззрение часто конфликтует с политическим <...>. Отсюда и отношение к науке со стороны политиков. В переживаемый нами переходный период это отношение весьма недоброжелательно...»
«Небывалую питательную среду получает антинаука — от отрицания второго закона термодинамики через возрожденную астрологию и мифическое биополе до летающих тарелок. Трудно сказать, чего здесь больше — шарлатанства или патологии. Ясно одно — вся эта чертовщина никак не входит в научное мировоззрение. Характерная методология антинауки — сначала вводится глобальный термин, скажем, “летающие тарелки” или “биополе”, а затем вся действительность подгоняется под оправдание его реальности. Ни рационального мышления, ни скептицизма здесь нет ни грамма...»

— В 42 года. А членом-корреспондентом не был. Мне повезло, я быстро получил признание за рубежом. Моя докторская диссертация, которую я защитил в 29 лет, была крайне популярна за границей. Мне дали самую главную награду Американского физического общества

по математической физике, так называемую Хайнemannовскую премию. Она была только у Николая Николаевича Боголюбова. Это произвело впечатление на многих академиков. И тогда Иван Матвеевич Виноградов сказал: «Давайте сразу в академики?»

— **Иван Матвеевич был уникальным человеком, поддерживал молодых.**

— Во-первых, он следил за институтом. Во-вторых, ему хотелось, чтобы в Санкт-Петербурге тоже был сильный человек. В-третьих, он — учитель моего отца. И когда ему рассказали о таком успехе ленинградского ученого, он решил меня поддержать.

— **В то время появилось много молодых ученых. Не только вы — Александр Андреев, Роальд Сагдеев, Борис Кадомцев, Евгений Велихов и др. А почему в 1990-е гг. вы плохо поддерживали молодежь? Что произошло? Все-таки научная школа — это прежде всего рождение молодых. Вы учителя, у вас же много питомцев, почему вы их не поднимали?**

— Меня все же выбрали вне очереди. Знаете, как в анекдоте про трамвай: «Джентльмены-то есть, местов нету!» На очереди были выдающиеся фигуры: Гельфанд, Ладыженская, Шафаревич, Олейник, Гончар и мои сверстники — Новиков, Арнольд, Манин, Синай. Потом появился Болибрух. А затем лучшие молодые уехали... Но время летит стремительно. Сейчас моим ученикам уже за 60. Мое поколение было очень сильным. Выборы в академию — отдельный вопрос, лучше давайте говорить, появились ли сильные молодые люди? Они были.

— **А сейчас?**

— Сейчас во всем мире интерес к фундаментальной науке среди молодежи уменьшился, и поэтому мои иностранные коллеги умоляют: «Дай хорошего студента». Спрос на хороших студентов велик не только у нас.

— **То есть теряется научный престиж?**

— Престиж уже потерян.

— **Из всех многочисленных премий, которых вы удостоены, какая самая дорогая для вас?**

— Думаю, что Хайнemannовская. А комфортную жизнь мне дает гонконгская премия Шао, которую называют азиатской Нобелевской премией. Китайский миллиардер Шао Ифу назначил три премии: по астрономии, математике и медицине. В 2006 г. мы с Арнольдом получили на двоих около \$ 1 млн.

— **Как вы считаете, что будет происходить с академией наук — и в целом с наукой в России в ближайшие годы, если не изменить ситуацию, которая сложилась сегодня?**

— Я очень мало понимаю политическое устройство нашей страны сейчас. Я вам уже сказал: безумные амбиции устроителей. Мы с женой используем термин «троечник», хотя вряд ли в этом оригинальны. Так вот сегодня у нас кругом троечники, и профессионалам из-за этого трудно.

— **А что делать?**

— Даже не знаю. Будем надеяться на способность России к самовосстановлению.

Беседовал Владимир Губарев



! Грани личности

Людвиг Дмитриевич Фаддеев — академик РАН, один из создателей современной математической физики, внес решающий вклад в решение трехмерной обратной задачи квантовой теории рассеяния, квантовой проблемы трех тел, в квантование калибровочных полей и создание квантовой теории солитонов и квантового метода обратной задачи.

- ✓ Родился в Ленинграде. В 1956 г. окончил физический факультет Ленинградского государственного университета по специальности «Физика».
- ✓ Работал в Ленинградском отделении Математического института им. В.А. Стеклова АН СССР младшим, старшим научным сотрудником, заведующим лабораторией математических проблем физики.
- ✓ С 1976 г. — заместитель директора Математического института по Санкт-Петербургскому отделению.
- ✓ В 1988–1992 гг. — директор-организатор Международного математического института им. Леонарда Эйлера РАН, с 1993 г. — директор института.
- ✓ С 1967 г. — профессор Ленинградского (Санкт-Петербургского) государственного университета.
- ✓ В 1976 г. был избран академиком АН СССР.
- ✓ Автор более 200 научных трудов и пяти монографий.
- ✓ Член президиума РАН, академик-секретарь отделения математики РАН, член ряда иностранных академий, в том числе Национальных академий США, Франции, Китая и Лондонского королевского общества.
- ✓ Лауреат Государственных премий СССР и РФ, премии им. Дэнни Хайнемана по математической физике Американского физического общества
- ✓ Награжден Золотой медалью им. Поля Дирака Международного института теоретической физики в Триесте, орденами Ленина, Трудового Красного Знамени, Дружбы Народов, «За заслуги перед Отечеством» III степени.
- ✓ Женат, имеет двух дочерей.



Иркутский Институт солнечно-земной физики



*В январском номере нашего журнала была напечатана первая часть интервью, которое мы взяли у одного из ведущих ученых страны. В нем академик **Александр Леонидович Асеев** рассказал о созвездии сибирских академгородков. Сегодня мы публикуем вторую часть материала. Речь пойдет о месте сибирской науки в мировой системе, о прорывных технологиях и о том, как их можно обеспечить*



«ТЕРМОЯДЕРНЫЙ РЕАКТОР У НАС УЖЕ ЕСТЬ, НАДО ТОЛЬКО НАУЧИТЬСЯ С НИМ РАБОТАТЬ»

Так считает председатель Сибирского отделения
Российской академии наук академик
Александр Леонидович Асеев

— Когда-то наши академгородки специально строились подальше от остального мира. Сегодня ситуация изменилась. Считается, что наука сильна, когда она находится в общем информационном поле. Сейчас вам не мешает удаленность от европейских и американских научных центров?

— В Новосибирском Академгородке с самого основания было много оборонной тематики. Само расположение в центре Сибири было обусловлено тем, что вражеские самолеты не могли доставить туда ядерный заряд. Тогда в Сибири было построено огромное количество совершенно фантастических оборонных объектов. Так, под Красноярском в скальной выработке на глубине более 200 м был создан уникальный объект — завод по производству оружейного плутония. Протяженность подземных выработок превышает протяженность всех линий московского метрополитена вместе взятых.

Сильное впечатление оставляет электричка с очередной рабочей сменой, входящая в гору. Первая остановка — цех такой-то, вторая — цех другой, дальше — заводоуправление. Целый город под землей. Особенно потрясают демпфирующие полости. В случае ядерной атаки на въездах должны закрываться все наружные ворота. Ясно, что атомный взрыв их мог бы выбить. И там в непосредственной близости от ворот были сделаны громадные расширения тоннелей — специальные полости, в которых взрывная волна должна была затухнуть. Их объем соизмерим с объемом храма Христа Спасителя. Пирамида Хеопса рядом с этим подземным заводом — просто игрушка. Его постройка в кратчайший срок, всего за восемь лет — величайший и незаслуженно забытый подвиг русского человека и советского народа. Когда в заводском музее видишь отбойные молотки строителей, кажущиеся спичками на фоне огромных



Высота башни Большого солнечного вакуумного телескопа составляет 25 м

выработок в монолите скального грунта, начинаешь понимать, какой титанической энергией и какой силой духа обладает российский народ.

— **История показала, что у этого подвига не было смысла.**

— Все, что было сделано, сыграло в то время свою роль. Ведь тогда никто особенно и не скрывал, что Россия должна быть сокрушена. Да и в настоящее время мы видим незавидную судьбу древних цивилизаций и некогда гордых народов на Ближнем Востоке и в Европе. Безусловно, сейчас мир гораздо более интегрирован, и мы существуем в новой ситуации. Появился Интернет, глобальные связи сделали мир более тесным и компактным. К нам в свое время довольно часто ездили наши коллеги из Южной Кореи. В моем родном институте был даже организован российско-корейский центр науки и технологий, которым мы очень гордились. Все шло хорошо до тех пор, пока наши доблестные органы не поймали одного из этих корейцев на границе с материалами полузакрытого характера. Пришлось в течение суток центр ликвидировать. Но идея у них была очень интересная и прогрессивная и состояла в организации международных лабораторий, которые обеспечили бы проведение круглосуточных научных исследований. Есть лаборатория, скажем, в Южной Корее, есть в Новосибирске, есть в Европе, есть в Штатах. Все работают по единому плану. Когда корейцы проводят какой-то эксперимент, то, уходя с работы, они передают данные в Новосибирск, там обработка продолжается, потом передается в Европу и т.д. Когда корейцы на следующий день приходят на работу, они уже получают новые результаты работы своих зарубежных коллег. Научный конвейер глобального характера.

— **Но зачем это нужно? Какая разница — вечером закончили, утром продолжили...**

— Фирме, финансирующей исследования, такой, например, как *Samsung*, надо, чтобы все проходило быстро,

потому что конкуренция очень сильна и цена своевременных решений очень высока. Будущее за такого рода технологиями. Благодаря Интернету и тому интеллектуальному потенциалу, который у нас есть, особых проблем из-за нашей географической удаленности возникнуть не должно. А перспективы есть. Некоторая изолированность и удаленность наших институтов в центре Сибири наоборот заставляет концентрироваться на сложных научных проблемах, которые часто кажутся нерешаемыми. Прорывы, причем очень ощутимые, в науке происходят. Так что тут возможности на самом деле интересные. Более того, я считаю, что мы стоим на пороге именно больших прорывов — прежде всего в области энергетики.

Десять мегаватт с гектара

— В настоящее время мы работаем вместе с нашим выдающимся ученым академиком Гелием Жеребцовым (см.: Назаров Д. *К тайнам дневного светила // ВМН, № 1, 2014*) из иркутского Института солнечно-земной физики (ИСЗФ) СО РАН над большим проектом создания национального гелиогеофизического центра на базе ИСЗФ, который связан и с проблемами энергетики.

Все мы знаем про проблему термоядерной энергетики. После того как были взорваны первые термоядерные бомбы, в апреле 1956 г. академик Игорь Васильевич Курчатов выступил в английском научно-исследовательском атомном центре в Харуэлле с докладами «Некоторые вопросы развития атомной энергетики в СССР» и «О возможности создания термоядерных реакций в газовом разряде». Это привело к рассекречиванию работ в области управляемого термоядерного синтеза и послужило толчком к развитию международного сотрудничества. Курчатов предложил ученым вместе строить термоядерный реактор и вместе заниматься проблемами ядерной энергетики. Тогда считали, что до управляемого термояда рукой подать, что после укрощения энергии расщепления урана, плутония и т.д. наступит эпоха термоядерного синтеза, гораздо более чистого, не дающего радиоактивных отходов.

С тех пор прошло больше полувека, но никакой термоядерной энергетики так и не появилось. У физиков на эту тему есть даже интересный анекдот. Один из ведущих мировых специалистов в области ядерной энергетики в 1960-е гг. говорил, что термоядерная энергия появится где-то лет через 20–25. Прошла четверть века. На очередном симпозиуме корреспонденты его спросили: «Когда все-таки появится термоядерная энергетика?». Он говорит: «Лет через 20–25». Ему говорят: «Вы уже это предсказывали 25 лет назад». «Ну что же, — отвечает специалист, — вы можете убедиться, что я не меняю своего мнения».

На самом деле за прошедшие десятилетия сделано очень много. Сейчас у всех на слуху проект *ITER* — международный термоядерный реактор, который строится во Франции в Кадараше. В основе лежит наша отечественная идея токамака, которая родилась в Институте атомной энергии — нынешнем Национальном исследовательском центре «Курчатовский институт». Это весьма затратный

проект с многомиллиардным бюджетом. Тем не менее декларируется, что первый образец будет не промышленным, а скорее исследовательским, т.е. генерация энергии будет небольшой и не для практического использования. Основная цель проекта — чисто экспериментальная: убедиться в правильности выбранного пути, испытать предложенные инженерные решения, новые материалы и т.д.

— **Пилотный проект?**

— Да. Должно пройти еще лет 20–25, прежде чем появится еще один проект, который тоже скорее всего будет экспериментальным. Так что это сложное и долгоиграющее дело, которое, тем не менее, заслуживает всяческой поддержки. Евгений Павлович Велихов, академик-секретарь нашего отделения нано- и информационных технологий РАН, выступил одним из инициаторов этого громадного и важного международного проекта, и мы понимаем, сколько усилий он затратил для его успешного старта. 14 января в нашем Институте ядерной физики им. Г.И. Будкера в Новосибирском Академгородке состоялось открытие года *ITER* в России, в котором приняли участие руководители международного проекта *ITER* и делегация «Росатома». Были подписаны соглашения об изготовлении частей будущего термоядерного реактора в ИЯФ в Новосибирске. Те, кто интересуется этим вопросом, могут ознакомиться с подробностями на сайте СО РАН по адресу sbras.ru. Но это отдельная и обширная тема, заслуживающая большой статьи. Я же пока отмечу: то, что проект реализуется, а Россия одна из главных его участниц, — безусловно, выдающееся достижение. Но ясно, что путь предстоит долгий и очень сложный. И к чему он приведет, пока не очевидно. Для успеха этого проекта нужна громадная экспериментальная работа, пожелаем удачи его участникам.

Между тем потребление энергии человеком удваивается каждые 12–15 лет. И тут уже видны экологические ограничения. Особенно это чувствуется в Китае, который в последние десятилетия совершил настоящий технологический и промышленный рывок. Стране требуется колоссальное количество энергии, а энергетика у них почти вся угольная. Когда летишь над Китаем, видишь бесчисленные дымовые шлейфы тепловых станций, сжигающих уголь.

В то же время Солнце — это уже готовый естественный термоядерный реактор, который проработает еще миллиарды лет. Мы о нем очень мало знаем, хотя живем исключительно благодаря его энергии. Все продукты фотосинтеза, которые образовали и нефть, и газ, и уголь, — это законсервированная энергия Солнца. На каждый квадратный метр земной поверхности оно поставляет около киловатта тепловой энергии. На поверхность Земли ежегодно поступает около тысячи петаватт·час, т.е. порядка 10^{18} Вт·ч — во много тысяч раз больше того, что мы потребляем.

До Солнца от нас чуть меньше 150 млн км. Все мы — дети Солнца, поскольку именно оно нас питает. Но самое главное то, что все, связанное с его поведением, влияет на нашу жизнь. Особенно известно влияние одиннадцатилетнего цикла солнечной активности, связанного с переполусовкой его магнитного поля, которая происходит с периодом 22 года. Многолетними наблюдениями за активностью Солнца совершенно четко показано его влияние на климатические изменения, здоровье людей и историю человечества.

— **Ну да, об этом еще в начале прошлого века говорил профессор Александр Леонидович Чижевский.**

— Солнце живет очень бурной жизнью. Происходят гигантские возмущения, выбросы энергии. Коронарные выбросы имеют температуру такую же, как в ядре — миллионы градусов. И следствием этого становятся колоссальные потоки элементарных частиц, солнечный ветер. Это сильно возмущает нашу ионосферу, вызывает полярные сияния, нарушает радиосвязь, оказывает влияние на самочувствие людей.

Недавно президиум академии наук обсуждал проблему катастрофического амурского наводнения в 2013 г. Это тоже связано с космической и околоземной активностью Солнца — с постепенным изменением характера климатических процессов. Солнце определяет атмосферные процессы на Земле, о которых мы пока очень мало знаем. Этим и занимаются уникальное учреждение — Институт солнечно-земной физики СО РАН и другие институты Сибирского отделения РАН. Работы там идут по нескольким направлениям. Во-первых, это изучение непосредственно Солнца как звезды, попытка понять,

В подземный ГХК (ЗАТО Железногорск) рабочие заезжают на электричке. Комбинат находится в горе, на глубине свыше 200 м



Строительство первого международного экспериментального термоядерного реактора во французском исследовательском центре Кадараш идет полным ходом



Астрономические приборы, созданные для наблюдения и исследования Солнца, относятся к наиболее сложным и дорогостоящим



как именно оно работает. Далее, существует очень четкая связь между тем, что происходит на Земле, и тем, что делается на Солнце. В основном это касается, конечно, нашей ионосферы. Иркутский институт насыщен громадными установками. Это вакуумный солнечный телескоп, система оптических телескопов, в том числе инфракрасный в Саянах, радиотелескопы, специальные телескопы для коронографов, радары когерентного и некогерентного рассеяния для изучения ионосферы. Хозяйственная деятельность человека выходит в ближний космос, и все это сказывается на состоянии ионосферы. Радар некогерентного рассеяния, например, очень хорошо чувствует, что происходит на космических кораблях. Там включили двигатель — сразу появилась дыра в ионосфере. Очень много важного и интересного связано с космическим мусором и т.д.

Эта техника в основном была создана в период Советского Союза. Со временем она устаревает. В мире развитие идет довольно быстро. Все знают про HAARP на Аляске — грубо говоря, стенд для воздействия на ионосферу. Но первые такие установки появились еще в 1930-е гг. в СССР. В Нижегородской области был построен комплекс «Сура», который мог оказывать влияние на состояние ионосферы. Тем самым можно было регулировать передачу сигналов в коротковолновом диапазоне.

Около десяти лет мы потратили на то, чтобы убедить научную общественность, правительство страны, властные структуры в необходимости обновления инфраструктуры ИСЗФ и создании на его базе национального гелиогеофизического центра. Только в 2012 г. было принято решение о начале финансирования работ по проектированию новых объектов в составе экспериментальной базы ИСЗФ, в результате институт получит новое развитие по всем направлениям. Это позволит работать на новом уровне и с Солнцем, и с солнечно-земными связями, и с околосолнечным пространством.

— Я так понял, что основное направление работы ИСЗФ — защита от явлений, которые происходят на Солнце. А что насчет солнечной энергетики, о которой сейчас так много говорится?

— Я уже сказал про киловатт на квадратный метр. Эта энергия почти даровая, ведь, по выражению академика Жореса Ивановича Алферова, Солнце невозможно приватизировать. Наше Сибирское отделение РАН хорошо связано с институтами NASA и Университетом штата Техас в США. Один из проектов, на который американское правительство выделило большие средства, был нацелен на то, чтобы покрыть поверхность Луны солнечными батареями. В лунном грунте содержится реголит, который имеет в своем составе примерно до 30% кремния. Американцы разработали роботизированный комплекс, который ползет по поверхности Луны, извлекает из реголита кремний, делает из него солнечные батареи и укладывает их на поверхность нашего спутника. Стоимость всего комплекса оценена в сумму порядка \$78 млн. Не так дорого по сравнению с важностью задачи.

— Выработать-то так энергию не сложно, но чем она нам поможет? ЛЭП с Луны на Землю не протянешь...

— Вторая часть проекта как раз и посвящена проблеме передачи этой энергии на Землю. Тут есть два пути: передача энергии с помощью либо лазерного луча, либо направленного сверхвысокочастотного излучения.

— Пока это звучит фантастически.

— Но рано или поздно это может стать реальностью. И наши институты, в том числе и ИСЗФ, занимаются такими вопросами. Вообще, в космосе рассеяно безумно много энергии, нам надо просто научиться ее собирать. Земля получает от Солнца объем энергии, в тысячи раз превышающий потребности всего человечества. Пока что мы берем ее часть самыми варварскими способами, загрязняя и уничтожая неповторимую природу родной планеты. И в этих способах уже намечается тупик, связанный с ограниченностью запасов основного ресурса — углеводородного сырья. Надо искать новые пути. Сейчас часто критикуют сторонников нетрадиционных источников энергии, потому что на сегодня проще сжигать нефть, газ, уголь, дрова. Но нам уже пора начать усиленно развивать более интеллектуальные способы утилизации солнечной энергии. Один из них — это фотосинтез. Видимо, решение тут лежит на стыке физики и биологии.

— Не зря, выходит, объединили Российскую академию наук с академией сельскохозяйственных наук?

— В этой области могут быть неожиданные решения. Нам надо ориентироваться на наш естественный термоядерный реактор, который будет работать еще миллиарды лет. Это может быть значительно проще и дешевле, чем строить искусственные термоядерные реакторы на Земле.

Не кнутом, а пряником

— С Китаем, который сейчас так сильно рвется вперед по всем направлениям, в том числе и в науке, сотрудничество идет?

— Еще с 1990-х гг. в Сибирское отделение РАН непрерывно приезжают китайские делегации, особенно летом,

едут по 20, 30, 40, 50 человек, от всех провинций, некоторые из них по численности населения не намного меньше, чем Россия. Поскольку там довольно жесткое централизованное управление, все провинции получали задание создать что-то свое. Они, конечно, обращались к нам как к ближайшему научному центру мирового класса. В результате в Китае с нашей помощью были организовано три технопарка в городах Далянь, Чанчунь и Цзясин. Они так и называются: российско-китайский или сибирско-китайский технопарк, и они работают в полную силу.

В последнее время Китай сделал большой скачок. Ставка на науку там стала государственной идеологией. Почему в России решили отказаться от очевидного конкурентного преимущества в виде сильной академической и отраслевой науки, для меня и моих коллег до сих пор не поддается логическому объяснению. Понятно, что речь идет об эффективных способах организации науки, но, тем не менее, в Китае система академии наук в своей основе полностью советская. Они ее развили, так же как социализм, и приспособили для рыночной экономики. В КНР нет даже намек на какие-то репрессивные методы в отношении науки: закрыть, сократить, наказать, перевести куда-то. Там речь идет исключительно о методах стимулирующего воздействия. Инновации у нас — сколько мы уже перепробовали вариантов: РВК, «Сколково», «Роснано», федеральные университеты, ФЦП Минобрнауки, технопарки и ТВЗ — воз и ныне там. Причин много, но одна из основных связана с отсутствием отдачи от инновационных решений. А в Китае эта отдача есть. Там каждому академическому институту ставится план: например, в течение года (двух, трех) организовать столько-то инновационных компаний на базе разработок института. Причем это должны быть реальные компании, работающие в жестких условиях рыночной экономики, а не их имитация. А институт, который их генерирует, получает компенсацию в виде капитальных вложений в новые здания, новое оборудование, обновление кадрового состава. Часть сотрудников уходят в те самые инновационные предприятия, на их место приходят молодые ученые. При этом заслуженные профессора и в пожилом возрасте сохраняют постоянные позиции. Гонения на них остались в мрачном периоде китайской «культурной революции», т.е. все продумано, логично выстроено и работает очень эффективно. К сожалению, у нас подходы почему-то репрессивно-карательные, хотя годы тоталитаризма, казалось бы, навсегда остались в прошлом. Отмечу в качестве примера, что 20 декабря прошлого года состоялось заседание Совета при Президенте РФ по науке и образованию. На этом заседании наряду с весьма полезными предложениями один из наиболее влиятельных членов совета сделал предложение административного характера о правиле «одной трети», предусматривающем жесткий отбор и, как следствие, значительное сокращение числа и численности многострадальных академических институтов объединенной РАН. Между тем крайне важно, чтобы квалификация

и опыт сотрудников научных институтов, особенно в условиях обостряющейся конкуренции в освоении технологий шестого уклада, были использованы для развития экономики страны на основе достижений фундаментальной науки и что необходимо ставить амбициозные задачи по развитию новейших технологий, создавать условия для их выполнения. Однако обсуждение этих действительно важнейших проблем не получило должного развития на заседании совета.

— Это главный наш недостаток?

— Не только это. Ахиллесова пята России — элементная база. В свое время считалось, что у нас есть ракеты, бомбы, самолеты, танки, а всякую ерунду типа электроники мы всегда успеем сделать. Все оказалось не так. В развитии электроники Китай и «азиатские тигры» прошли путь, по которому они отставали от экономически передовых стран намного больше, чем Россия во времена Советского Союза. И в Китае сейчас создан собственный отечественный микропроцессор высокого уровня, а мы, занимая когда-то третье место в мире по развитию электроники после США и Японии, после проведенных «реформ» откатились в число стран второго эшелона.

Я помню времена, когда американцы приезжали в Академгородок учиться компьютерному программированию, потому что математики у нас были объективно лучше и они создавали объективно лучшие алгоритмы. Американцы поняли, что «в лоб» русских не обогнать, и за счет развития полупроводниковых технологий стали делать микросхемы, которые использовали более простые алгоритмы, и это оказалось эффективно.

В ноябре во Всероссийском институте авиационных материалов отмечали 25-ю годовщину создания «Бурана». Этот наш космический челнок до сих пор на порядок превышает то, что было у американцев. Он первый



Советский многоразовый орбитальный корабль-космоплан «Буран» превосходил американские аналоги по всем параметрам



Председатель Сибирского отделения Российской академии наук академик Александр Леонидович Асеев

приземлился в автоматическом режиме. Без электроники это невозможно. Так что электроника высокого уровня у нас была, но мы потеряли свое преимущество в этой области. А китайцы получили приоритет, по крайней мере по сравнению с нами. В этом плане нам у них надо учиться.

Если говорить о той же энергетике, то значительная часть ресурсов уходит на освещение. Эффективность светодиодов в десятки раз превышает эффективность лампочки накаливания. Но где мы покупаем все эти светодиоды? В Китае, Тайване, Гонконге, Корее. Мы и в этом тоже отстали, хотя научные и технологические основы наногетероструктурной электроники созданы именно в нашей стране благодаря гению нобелевского лауреата Ж.И. Алферова и его многочисленных учеников и последователей.

— **Но тут, насколько я понимаю, проблема связана с экологией. Светодиодное производство достаточно вредно.**

— Тем не менее в этих странах его смогли организовать, может быть, не особенно думая о природе и здоровье рабочих. У нас, конечно, это гораздо сложнее, но нам совершенно необходимо использовать наши конкурентные преимущества.

— **Какие?**

— Способность к новым решениям. Про «Буран» и про вычислительные алгоритмы я уже сказал. Вот этим надо заниматься. Институт солнечно-земной физики — безусловно, институт мирового класса. И проблема использования солнечной энергии вкупе с проблемой защиты от солнечных бурь — мировые проблемы. А что за этим

стоит? Нужны физические модели, решение сложных задач электродинамики, процессов в солнечной короне, плазме околоземного пространства, всего того, что связано с ядерными реакциями на Солнце и физическими процессами в околоземном пространстве. И вот это требует квалификации, которой у китайцев пока еще нет. В Штатах ситуация лучше, хотя там во многих лабораториях весьма успешно работают наши люди.

Свои среди своих

— **Если уж говорить про международное научно распределение, то, насколько я знаю, у Новосибирского Академгородка остались весьма крепкие связи с нашими бывшими республиками — с Национальной академией наук Украины, с Национальной академией наук Беларуси и т.д.**

— Вы абсолютно правы насчет Беларуси. Среди бывших республик Советского Союза это единственная страна, которая сделала ставку на высокие технологии и развитие промышленности. Белорусы занимают лидирующие позиции в мире по производству большегрузных автомобилей, в тракторостроении, по технологиям оборонно-промышленного комплекса, по химическому производству и производству удобрений — по многим направлениям, которые требуют интеллекта и научных разработок высокого уровня. Поэтому с самого начала, хотя мы работаем и с Украиной, и с Казахстаном, и с Киргизией, взаимодействие с Беларусью выделялось как совершенно особое направление. Правда, есть еще и субъективные факторы. Дело в том, что много лет председателем СО РАН был академик Валентин Афанасьевич Коптюг — белорус по национальности. Наш выдающийся геолог Андрей Алексеевич Трофимук тоже был белорусом. Наши ведущие химики академики Валентин Николаевич Пармон и Геннадий Викторович Сакович — тоже белорусы, и т.д. По истории и археологии очень хорошие связи. У нас в Сибирском отделении под редакцией академика НАНБ М.П. Костюка и члена-корреспондента РАН В.А. Ламина даже выпущена книга «Очерки истории белорусов в Сибири». С Беларусью у нас идет постоянное взаимодействие и научный обмен. Сейчас формируется пока еще экзотическое направление — квантовые вычисления. В Беларуси в этом направлении работает хорошая группа под руководством члена-корреспондента НАНБ С.Я. Килина. Они работают на самом передовом крае науки, и мы с ними активно сотрудничаем. Но, безусловно, вы правы в том плане, что входной точкой выступает Новосибирский Академгородок, потому что у нас обеспечены мультидисциплинарность исследований, сетевая организация работы и т.д.

Активное взаимодействие идет по химии, с выходом на фармацевтику. Беларусь на это направление делает ставку. Мы заботимся о том, чтобы это взаимодействие поддерживалось на достойном уровне. В Беларуси очень хороший уровень физики. Одно из приоритетных направлений совместной работы — лазерная физика, координатор которого со стороны СО РАН — академик С.Н. Багаев.

Вы знаете, что наш нобелевский лауреат Жорес Алферов тоже белорус. Он родом из Витебской области, из города Чашники, сейчас он его почетный гражданин.

— В свете того, как сегодня меняется РАН, можете ли вы спрогнозировать, что будет с сибирскими академгородками?

— Надо прямо сказать, что над ними нависла серьезная опасность. Академгородки, конечно, будут развиваться, вопрос в темпах и в эффективности. Но вот, например, проспект академика Лаврентьева в Новосибирском Академгородке — самая научная улица мира. На ней расположены крупнейший в системе Российской академии наук Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера, Институт катализа им. Г.К. Борескова, Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова, Институт неорганической химии им. А.В. Николаева и многие другие ведущие высокоцитируемые и востребованные институты в области биологии, химии, физики, истории. Но это и для бизнеса улица самая привлекательная, самая дорогая. Есть большая опасность, что она превратится в аналог Тверской, что более доходными станут торговля и оказание услуг, а институты вынуждены будут перебазироваться во вторую линию проспекта. В Москве на Ленинском проспекте у площади Гагарина расположен знаменитый Институт общей и неорганической химии РАН. Но в настоящее время он резко выделяется прежде всего расположенной на передней линии чайханой «Урюк». Вот это большая опасность. Никаких гарантий защищенности науки от бизнеса в современном российском исполнении пока нет. У нас весьма своеобразно работают рыночные механизмы, делается то, что приносит сиюминутную выгоду. О будущем, судя по тому, как реализована реформа РАН, мало кто думает.

Но в то же время я должен сказать, что не произошло самого страшного. Пока собственность научных институтов остается федеральной, все зависит от того, как будет работать вновь созданное Федеральное агентство научных организаций. Необходимо, чтобы слова президента стали руководством к действию: никаких операций с федеральной собственностью в оперативном управлении ФАНО быть не должно. В первую очередь это касается имущества и земель академгородков. Если это будет обеспечено политической волей и практическими шагами, тогда можно будет говорить о новом развитии академгородков, их расцвете и правильном курсе реформ.

— Можно ли сейчас выделить какие-то точки роста, на которых в сибирских академгородках должна подниматься наука?

— Их всегда и везде две: образование и инновации. В мире и в стране идет высококонкурентная гонка в этих областях. Во-первых, это борьба за качество образовательных учреждений. Объявлено, что будут университеты первого, второго, третьего сорта. А конкурентоспособность вузов, особенно в естественных науках, обеспечивается прежде всего научной поддержкой, квалификацией преподавателей, научными результатами высокого уровня. Если

в правительстве забудут про задачи, связанные с региональным развитием, все вернется на круги своя, к ситуации начала прошлого столетия. Все образование останется в Москве и Санкт-Петербурге, может быть, еще в Казани и Нижнем Новгороде. Регионы, особенно удаленные, такие как Дальний Восток и Сибирь, по образованию провалятся. Интеллект вынужден будет переместиться в ведущие вузы центра страны, такие как МГУ, или за рубеж со всеми вытекающими для регионов последствиями.

Во-вторых, идет гонка за инновациями. Экономическая картина и в мире, и в стране быстро меняется, и побеждают те, кто первым находит новые и эффективные инновационные решения, особенно когда речь идет о переходе на шестой технологический уклад, связанный с нанотехнологиями, наноэлектроникой, развитием биотехнологий и новых медицинских технологий. Кто выиграет в освоении этих технологий шестого уклада, тот и будет на коне, потому что они все выведут на новый технологический уровень. Будут совершенно новые, не похожие на старые, энергосберегающие и роботизированные автомобили, компьютеры, средства связи, медицинские технологии и т.д. Но без науки никакие инновации невозможны. Если развалится региональная наука, регионы провалятся с точки зрения развития инноваций и неравенство еще больше усилится. Это нас сильно тревожит. Это влечет за собой и политические последствия. На Северном Кавказе квалифицированные кадры уезжают не только из национальных республик, они уезжают уже и из Ставропольского края — со всеми вытекающими последствиями. Если не будет принято жесткое политическое решение о поддержке науки, процессы могут стать необратимыми. И мы всеми силами стараемся убедить руководство страны, руководство регионов, общественность и бизнес в необходимости таких решений. ■

Беседовал Валерий Чумаков

Новосибирский Академгородок рискует стать аналогом подмосковной Рублевки





ITER

ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) — проект международного экспериментального термоядерного реактора. Эта программа реализуется совместными усилиями многих стран. В качестве площадки для строительства выбрано место рядом с исследовательским центром Кадараш на юге Франции, при этом каждая из сторон-участниц вносит свой вклад в строительство реактора в натуральной форме. О вкладе России в проект мы поговорили с Анатолием Витальевичем Красильниковым, директором частного учреждения «ИТЭР-Центр».

ТЕРМОЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ –



РОСАТОМ

ПРОЕКТ ВЕКА

Что такое термоядерный реактор ITER?

Начнем с предыстории. В 1950 г. советский ученый Олег Александрович Лаврентьев сформулировал возможность использования управляемого термоядерного синтеза для промышленных целей с термоизоляцией плазмы в электрическом поле. Это породило множество работ по исследованию плазмы, и, модифицировав идею, Игорь Евгеньевич Тамм и Андрей Дмитриевич Сахаров пришли к концепции удержания плазмы в торе с использованием магнитного поля. Так и родилась идея токамака — тороидальной камеры с магнитными катушками. Название «токамак» придумал один из сподвижников Игоря Васильевича Курчатова — Игорь Николаевич Головин. Но задача оказалась крайне технологически сложной. Прошло время, и уже в 2006 г. семь сторон решили построить экспериментальный токамак, чтобы доказать миру возможность термоядерной энергетики. В основе работы термоядерного реактора лежит принцип синтеза тяжелых ядер из более легких — в отличие от традиционной ядерной энергетики, в которой используется реакция деления тяжелых ядер на легкие. В качестве топлива для реактора применяются изотопы водорода тритий и дейтерий, а в отдаленной перспективе, возможно, и гелий-3. Если учитывать запасы гелия в 50 тыс. т на Земле и практически полное отсутствие радиоактивных отходов в реакции синтеза дейтерия и гелия, подобная энергетика остается очень заманчивой. Ближайший доступный для нас всех термоядерный реактор — Солнце, которое вырабатывает энергию при синтезе гелия из изотопов водорода.

— **Расскажите, пожалуйста, что такое ITER, откуда появилась идея создания такого крупномасштабного международного проекта и какой вклад в него вносят российские ученые?**

— ITER — это проект создания экспериментально-го термоядерного реактора на базе концепции токамака, предложенной в Курчатовском институте, т.е. токамак — это отечественная научно-техническая разработка. Это слово вошло во все языки мира так же, как слово «спутник». В развитии концепции токамака участвовало множество коллективов из различных институтов: прежде всего это Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Научно-исследовательский институт электрофизической аппаратуры им. Д.Ф. Ефремова, Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований (ТРИНИТИ) и многие другие. На основе проведенных работ в 1986 г. М.С. Горбачев и Р. Рейган договорились о создании термоядерного реактора как примере совместной конструктивной работы двух великих держав. К этому договору сразу присоединилась Франция потом Япония, Индия и другие страны. Сегодня в этой кооперации — семь сторон: шесть стран и Евросоюз

— **Как разделена работа между сторонами-участниками?**

— Когда было подписано соглашение о создании установки ITER, партнеры договорились между собой, кто и какие системы будет поставлять. При их распределении соблюдалось два важных принципа. Первый принцип: каждый партнер хотел получить ключевые системы, чтобы иметь опыт их создания для реализации последующей термоядерной программы у себя дома, иметь школу, опыт и кадры. Второй принцип — предоставить соответствующие системы мировым лидерам в соответствующих отраслях.

— **И какие ключевые системы взяла на себя Россия?**

— России по этим двум принципам досталось 25 систем. Системой мы условно называем отдельную составную часть большого проекта ITER, будь то установка или здание. Много это или мало — судить трудно, но это составляет 9% от общего вклада в проект. В упомянутые системы входит производство рядом предприятий низкотемпературных сверхпроводников для магнитной системы удержания плазмы, кроме того это девять систем измерения параметров плазмы, коннекторы, компоненты дивертора и т.д. Дивертор — это та часть внутренней поверхности токамака, которая принимает на себя основные потоки тепла и частиц, т.е. это самые энергонапряженные конструкции в этой экстремальной машине. Россия также работает над материалами и сварными соединениями, например между вольфрамом и нержавеющей сталью, все эти конструктивы должны выдерживать тепловые потоки, которых раньше не было. Эти технологии создаются НИИЭФА им. Д.Ф. Ефремова. После первых проведенных испытаний таких материалов я могу вас заверить: мы смотримся не хуже наших партнеров, а в чем-то и лучше. Россия поставляет и некоторые установки для стендовых испытаний.

Здесь мы используем опыт НПО «Криогенмаш», накопленный при создании космической техники.

— **Справляется ли Россия с поставленными условиями?**

— Россия выполняет все взятые на себя обязательства строго по графику; далеко не все партнеры могут этим похвастаться. Так, Европейский союз отстает на два года. Европа — главный партнер, у нее 45% вклада. За счет чего такая большая цифра, спросите вы? За счет строительства зданий: это одна из самых сложных и дорогостоящих статей расходов, ведь происходит сооружение принципиально новых зданий. Они сами по себе экспериментальные, не все проекты на сегодня остаются очевидными. Таким образом, проект вроде бы закончен, но в нем постоянно происходят какие-то небольшие изменения — например, отверстия в стенах. И людей, строящих эти здания, мы ставим в очень трудное положение, т.к. это не работа по готовому плану, поэтому ситуация и привела к такому отставанию. Эта задержка ведет к рассинхронизации всех участников: можно столкнуться с ситуацией, когда оборудование готово, а монтировать его некуда. Результат — удорожание, сооружение дополнительных складов с соответствующими условиями хранения. Что касается России, мы почти закончили изготовление всего сверхпроводника для магнитной системы ITER. Точно посчитать, какой процент работ мы уже выполнили, сложно, но могу со всей определенностью сказать, что разработки и тестирование прототипов по всем системам везде закончены. По многим системам мы начали изготовление компонентов, которые будут установлены в сам реактор.

— **А для чего Россия участвует в таком большом проекте? Это наверняка очень непросто?**

— Это крайне важно по нескольким причинам. ITER — локомотив развития высокотехнологичных производств и исследований в России. Например, до ITER в мире выпускали 15 т сверхпроводников в год, а в России не было производства сверхпроводников вообще. Запустив же его на Чепецком механическом заводе и ряде других предприятий, мы теперь только на нем выпускаем 60 т в год. Мало того: европейцы отдали нам по двустороннему договору производство своей доли ниобий-титановых сверхпроводящих кабелей, а они у себя выполняют их джекетирующие (затягивание в защитную металлическую оболочку). ITER — это проект, который существенно выше мирового уровня по системам, составляющим его технологическую платформу. Это высочайшая мировая планка. Мы хотим создать условия Солнца в конкретной физической установке, и, обучая кадры, выпуская оборудование здесь и непосредственно работая во Франции, мы создаем задел для нашей внутренней термоядерной программы. Так что, участвуя в этом проекте, мы покупаем свой билет в будущее.

— **Много ли представителей России уже работает во Франции?**

— Сегодня всего 565 человек работают в центральной организации ITER Organization во Франции, существуют также семь домашних агентств у каждого партнера.

Из 565 человек 6% — наш персонал. Персонал делится на две категории: профессиональные участники и поддерживающий персонал. У нас большинство участников относятся к первой категории. По большей части это физики, инженеры, технологи — профессионалы своего дела. Они полноценно участвуют в работах по сооружению установки, которые уже развернуты. С одной стороны, нас там немало — целых 6%, но, с другой стороны, это меньше нашего вклада в проект. Мы вносим в *ITER* 9%, и наша цель — добиться такого же уровня присутствия нашего персонала. А чтобы такой персонал иметь, нам нужно его подготовить здесь, в России. Молодых специалистов мы обучаем в МФТИ, МИФИ, СПбГУ и других университетах, но этого мало. Молодой специалист — выпускник вуза в *ITER* не очень нужен. Необходим работник, который уже стал специалистом и не просто окончил университет, а еще поработал дома на каких-то установках. Поэтому в России очень важно иметь собственную программу термоядерных исследований, где бывшие студенты становились бы физиками-исследователями и потом уже попадали на *ITER*, т.е. получить такую цепочку: вуз, далее внутренняя термоядерная программа, а потом участие в *ITER*. Безусловно, хочется замкнуть эту связь назад — уже после приобретенного на *ITER* опыта вернуться обратно в страну и участвовать в сооружении собственного термоядерного реактора.

— **Что с экспериментами на *ITER*, существует ли уже программа?**

— Программа работ распланирована до недель. Высший орган, который утверждает эту программу, — Совет *ITER*, он собирается два раза в год и рассматривает наиболее важные принципиальные решения. От России, как и от других партнеров, в совете работают четыре человека. В первую очередь мы должны получить первую плазму, затем все время работы реактора распланировано. Сначала мы будем работать с водородом, потом с гелием, а дальше будет переход на дейтерий-третиевую плазму, т.е. около пяти-шести лет машина будет выходить на режим, будут добавляться мощности дополнительного нагрева, испытываться, отработываться. Почему так неопределенно — пять-шесть лет, хотя я уже говорил, что все распланировано по неделям? Потому что это эксперимент и мы не можем гарантировать успешность того или иного шага. Уже после всех испытаний и тестов мы начнем эксперименты с дейтерий-третиевой плазмой, ради которых и строили реактор. Должно зажечься термоядерное горение. Миссия *ITER* — получение плазмы с отношением термоядерной мощности к вложенной мощности, равным десяти. На сегодня запланировано получить термоядерную мощность 500 МВт при введенной мощности нагрева 50 МВт. Продемонстрировав это в земных лабораторных условиях, мы покажем возможность реализации термоядерной энергетики с точки зрения физики плазмы. Вторая крайне важная задача заключается в выведении реактора на стационарный режим работы; проще говоря, необходимо заставить его работать продолжительное время — 3600 с. 3600 с — это час, это очень много. Показав возможность продолжительного горения, инженеры



! Справка

Анатолий Витальевич Красильников — директор Частного учреждения Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» «Проектный центр ИТЭР» (Частного учреждения «ИТЭР-Центр») — российского Агентства ИТЭР.

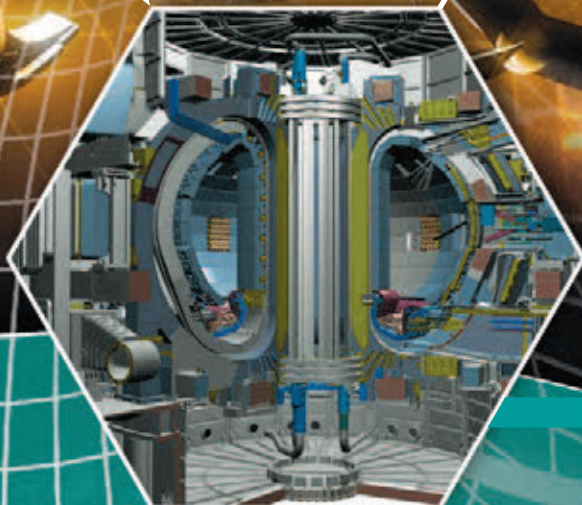
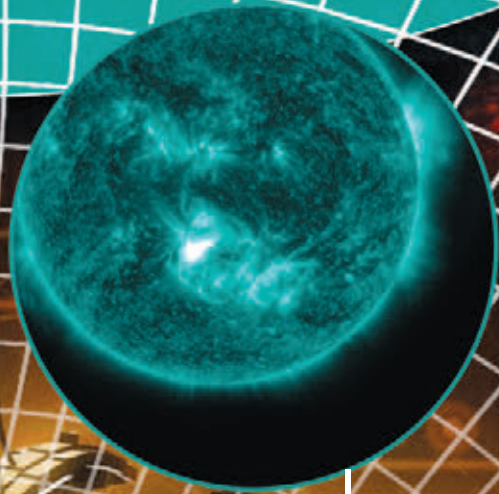
- ✓ Родился в Новосибирске, в 1981 г. окончил факультет проблем физики и энергетики МФТИ. С 1981 по 2007 г. работал в Институте атомной энергии им И.В. Курчатова.
- ✓ Кандидатскую (1994 г.) и докторскую (1999 г.) диссертации защитил по результатам разработки методов диагностики и исследований плазмы.
- ✓ Автор и соавтор более 120 научных работ.
- ✓ С 2007 г. и по настоящее время — руководитель национального агентства в Российской Федерации по сооружению Международного экспериментального термоядерного реактора *ITER*.

начнут проектировать следующую установку, целью которой станет демонстрация возможности получения электричества из термоядерной реакции.

— **В какой стадии сейчас находится проект, каков график работы?**

— Сейчас идет этап возведения зданий, т.е. залиты фундаменты и начинают подниматься стены главного здания комплекса токамака. Некоторые из построек уже закончены и сданы — в том числе офисные, главное здание, где сидит персонал. Закончены некоторые здания с технологическими лабораториями. Мы начинаем постепенно переходить к этапу их оборудования технологическими системами, стендами. К 2020–2022 гг. мы планируем получить, как я уже говорил, первую плазму, а уже к 2027 г. зажечь термоядерное горение. Глобальная цель — к 2050 г. иметь промышленную термоядерную электростанцию, но сроки постоянно сдвигаются: проект сложнейший, практически все делается впервые и выше существующего мирового уровня. ■

Подготовил Бурхан Массалимов



«НАУКА – ЭТО НЕ ИГРА В ПРЯТКИ»



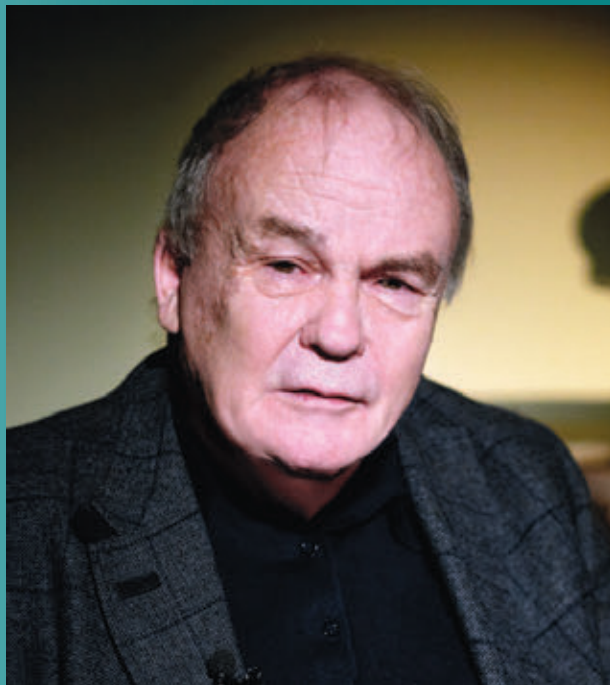
РОСАТОМ

Нестандартная и откровенная
беседа с академиком
**Евгением Павловичем
ВЕЛИХОВЫМ**

Скрывать не буду: мы знакомы добрых полвека, много раз встречались, беседовали, иногда даже спорили, помогали друг другу, если в том возникала необходимость. Я считаю, что у нас товарищеские отношения, и это важно отметить, имея в виду наш нынешний разговор и оценку сложившейся ситуации в науке, атомной отрасли и отчасти в политике.

Несколько лет назад мы долго беседовали о взаимоотношениях науки и власти, о близости ученого к «сильным мира сего», а также о влиянии того или иного политического деятеля на судьбу науки. Мне показалось, что многие идеи, высказанные тогда академиком Велиховым, не потеряли своей актуальности. Точно так же, как и размышления о термоядерной энергетике и реакторе ITER, с которым ученые и политики связывают энергетическую безопасность планеты в будущем.

Сегодня научное сообщество переживает очередной этап «реформы» (или «кризиса», как считают многие), а потому мнение Евгения Павловича Велихова, который пользуется непререкаемым авторитетом среди как ученых, так и политиков, о судьбе науки важно для всех — ведь на протяжении полувека он всегда находился на острие общественной жизни.



! Справка

Евгений Павлович Велихов

- ✓ Родился в Москве. В 1958 г. окончил физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова по специальности «Теоретическая физика».
- ✓ С 1988 г. — директор ИАЭ им. И.В. Курчатова, с 1992 г. — президент НИЦ «Курчатовский институт».
- ✓ Представитель России в Международном совете по управляемому термоядерному синтезу при МАГАТЭ.
- ✓ Действительный член РАН. Почетный член Шведской королевской академии инженерных наук, член Европейской академии наук, иностранный член Национальной инженерной академии США.
- ✓ С 2001 г. — член Президиума Совета Президента РФ по науке и высоким технологиям.
- ✓ Руководитель отделения информатики и вычислительной техники РАН, с 2009 г. — академик-секретарь отделения нано- и информационных технологий РАН.
- ✓ С 2002 г. — председатель Совета директоров российских научных учреждений, привлеченных к работам по проекту ИНПРО — международному проекту МАГАТЭ в области перспективной ядерной энергетики.
- ✓ С 2005 г. — секретарь Общественной палаты РФ.
- ✓ Лауреат многих премий, имеет многочисленные государственные награды.

О любимых детях и должностях

— Создается такое впечатление, будто Велихов везде.

Не слишком ли много должностей и обязанностей?

— Действительно, многовато. Но моей вины в том нет — так складывается судьба.

— **Мне кажется, что есть все-таки «любимые дети», которым и внимания уделяется больше, да и радости они больше приносят. Например, тот же ITER.**

— Пожалуй, можно так сказать.

— **Это самое любимое дитя?**

— А куда же Приразломную отнести? Нет, и это дитя любимое. Платформа в море стоит, действует.

— **Знаю, что она стоила много крови, борьба за Штокманское месторождение была жесткая. Во всех смертных грехах вас обвиняли. Даже заступаться пришлось. И все-таки, как мне кажется, ITER стал главным в жизни?**

— Плазма. Свою первую статью я написал в 1957 г. Опубликована она была в 1959 г. До сих пор ее цитируют. А статья простая: что происходит в жидкости, когда она вращается в магнитном поле. Эффект так и связан с моей фамилией. Тогда я учился в университете, а потом пришел на работу в Институт атомной энергии им. И.В. Курчатова. В нем и работаю всю жизнь. История той первой работы не заканчивается и сегодня. Недавно вышел отчет Национального научного фонда США, в котором пишут: самый главный вопрос сегодня сводится к тому, что все планеты, звезды, туманности, и вообще вся Вселенная вращается. Значит, вся штука в том, что если есть магнитное поле, любое, даже маленькое, то когда у тебя проводящая жидкость большая, она «наматывает» силовые линии. Это и есть ее устойчивость, которая вызывает возникновение магнитного поля практически из ничего.

После Большого взрыва, в который многие верят, а кое-кто нет, т.е., вероятно, 13 млрд лет назад, вещество начало падать обратно, на гравитирующий центр. И когда вещество падает, оно начинает быстро вращаться. Это самый мощный механизм выделения энергии во Вселенной, он на порядок мощнее, чем термоядерный взрыв в звездах.

— **Именно с рассказа о нем началась наша первая беседа полвека назад. Была группа молодых физиков, которая пыталась понять, что происходит в звездах, и смоделировать этот процесс в земных условиях. Звучало красиво: «Звезды в ладонях!»**

— Я работал в теоретическом отделе, который возглавлял Михаил Александрович Леонтович. Занимались тем, что называется фундаментальной физикой. Мы втроем — Роальд Зиннурович Сагдеев, Борис Евгеньевич Веденеев и я — сделали теорию турбулентной плазмы и доложили о ней в 1962 г. в Зальцбурге на конференции по термояду. Но это к термоядерному синтезу, к реактору и к проекту ITER не имеет абсолютно никакого отношения.

— **А как же на него вышли?**

— Лев Андреевич Арцимович после Зальцбурга назначил меня своим директором. Он решил, что есть молодой парень — пусть он и тянет, и назначил меня ответственным за термояд. В то время у нас было соперничество с американцами. Они очень бодро, бурно развивали термоядерный синтез, у них был невероятный бюджет — до \$500 млн в год, сегодня это, наверное, \$2 млрд в год. Американцы сделали ставку на новую установку. Сказали, что построят ее и будет термоядерный реактор, а потом все лопнуло и они ударились в обратную крайность: начали говорить, что термояда вообще никогда не будет.

— **Но вы упорно шли своим путем?**

— Конечно.

О токамаках и не только

— Как все началось?

— Конечно, с Игоря Васильевича Курчатова. Он активно поддерживал это направление, но всю серию сделал замечательный инженер Натан Аронович Явлинский. Сначала никто не обращал на него внимания. Арцимович увлекался тогда открытыми ловушками, и Будкер тоже. Они вместе с Игорем Николаевичем Головиным начали строить «Огру», про которую тогда Виталий Дмитриевич Шафранов написал стихотворение: «Вот лежит большая «Огра», хоть начальство смотрит бодро, знает каждый втихомолку: много шума — мало толку».

Если же говорить о токамаке, то идею магнитного термоядерного синтеза впервые принес в институт Олег Александрович Лаврентьев, моряк тихоокеанского флота. В то время синтезом занимались два человека — Игорь Евгеньевич Тамм и Андрей Дмитриевич Сахаров. Занимались применительно к бомбе. Там невероятные давления, температуры и плотности, поэтому они считали, что это и есть термоядерный синтез. И вдруг пришла эта самая бумажка от моряка. Нужно отдать должное Андрею Дмитриевичу — у него была потрясающая способность относиться к людям не формально, а по существу. Представьте: недоучившийся моряк, он даже школу не окончил — и вдруг выдвигает какие-то идеи.

— И что же предложил моряк?

— Ерунду. Он предложил электростатическое удержание. Но важно, что он впервые поставил вопрос о том, что все это можно делать при очень низких давлениях. И это повернуло мозги Сахарову, а он в это время работал с Таммом над термоядерной бомбой. О магнитной ловушке типа токамака с вращающимися поверхностями написано в учебнике И.Е. Тамма 1924 г. издания, который называется «Основы электричества», поэтому он сразу понял, что надо делать. Была написана бумага Игорю Васильевичу Курчатovu. Он ее прочел, и написал вторую бумагу уже самому Сталину, которую передал через Берию. Это был январь 1951 г. Бумага была под грифом «Совершенно секретно», т.е. после прочтения надо было сжечь. Но она сохранилась, лежала у нас в первом отделе. Мы о ней не знали, ее обнаружили только два года назад, когда отдел «чистили». Это бумага уникальная, потому что в ней написано, что надо делать не только с термоядерной, но и с атомной энергетикой. Идея очень простая. И.В. Курчатov сказал, что вся энергия заключается в двух элементах: в уране-238 и в тории. Итак, два элемента есть. Но они сами по себе непригодны для того, чтобы из них сделать реактор. Они не горят, значит, нужно их преобразовать. Тогда уже было известно, как именно это можно сделать, поскольку был уже построен первый реактор и первая бомба была сделана и испытана. Игорь Васильевич знал, что уран надо было преобразовать в плутоний, а торий в уран-233. И тогда возникал вопрос: откуда взять нейтроны для таких преобразований? Лучше всего, конечно, из дейтерия, они там самые дешевые и их много. Курчатov с Сахаровым прикинули, как бы выглядел термоядерный реактор, в котором горел бы дейтерий. Когда помотришь на эти цифры, то видишь: по параметрам это *ITER*.

Из воспоминаний И.Н. Головина:

«Никто в нашей стране не смог бы сделать так много, как Леонтович в воспитании плеяды талантливых учеников — школы Леонтовича, вскоре начавшей играть лидирующую роль в международном развитии теории плазмы <...>. Наши работы по управляемому термоядерному синтезу начались с исследования возможности создания реактора-токамака, хотя название «токамак» было изобретено мною только в 1957 г. Основоположники направления управляемого термоядерного синтеза И.Е. Тамм и А.Д. Сахаров сразу предложили нам возбуждать ток в плазме индукционным методом, подсказали роль вращательного преобразования в удержании плазмы и необходимость медного кожуха для обеспечения равновесия плазмы».

Это и есть настоящая фундаментальная физика. Курчатov получил «добро», и с этого момента началась вся наша история. Игорь Васильевич сразу же подключил к этой проблеме И.Н. Головина, так как тот был его заместителем. Был вызван инженер из Харькова Н.А. Явлинский, который и сделал всю серию токамаков.

Хорошие идеи не умирают

— Все ошибались, а вы нет?

— У нас был Курчатov. Он всегда искал простые фундаментальные физические принципы и только после этого принимал решения. Причем речь шла не просто о токамаке, о термоядерном реакторе, а о гибридном реакторе. Это решение имеет много положительных свойств. Во-первых, оно экономично с точки зрения получения и использования нейтронов, а во-вторых — безопасно. Обычный атомный реактор, как и атомная бомба, довольно прост, а потому привлекателен. Но бомба — это взрыв, а в реакторе — цепная реакция. Однако доводить дело до неуправляемой цепной реакции нельзя, поскольку это очень опасно и примеры тому — Чернобыль и Фукусима. Игорь Васильевич предложил лучший вариант: в середину поместить токамак, а вокруг него — так называемый бланкет, где горит реакция. Он небольшой, примерно в метр толщиной. Это второй слой. И дальше нужно убрать всю радиоактивность, которая там накапливается. Мы держим ее за так называемыми барьерами, т.е. мы накопили активность в самом опасном месте, где идет технологически сложная реакция. Если что-нибудь случается, вся грязь вываливается наружу. Значит, ее надо постоянно убирать из реактора. Сделать это очень просто, для этого у нас есть современная и совершенная технология: жидкая смесь, в которой растворены соли урана или соли тория. Когда накапливается радиоактивность, ее выкачиваешь. В общем, ставишь химическую фабрику, которая непрерывно очищает теплоноситель. В реакторе вообще опасной радиоактивности нет.

— Что мешает сделать эти реакторы?

— Мешает, как ни странно, мифотворчество. Мы живем в мире, который построен из мифов. И они скоро нас

Из воспоминаний И.Н. Головина:

«Наступила эра установления международного научно-государственного сотрудничества. И.В. Курчатов опасался, что Л.А. Арцимович, руководивший экспериментальными исследованиями по управляемому синтезу, со своим чувством собственного превосходства может нетактичным шагом затруднить налаживание международных контактов. Из-за этого он не пустил Арцимовича ни на Вторую международную конференцию по мирному использованию атомной энергии в Женеве осенью 1958 г., ни в Англию весной 1959 г. в ответную поездку по приглашению сэра Джона Кокрофта. В первой поездке М.А. Леонович выступал как старший от Института атомной энергии, во второй — как глава советской делегации».

уничтожат, если будем дальше так жить. Один из мифов заключается в том, что есть «чистая» энергетика, и она называется «термояд», и есть «грязная», т.е. «атомная», и их нельзя смешивать. Этот миф взяли на вооружение европейцы, американцы и японцы. Они подняли флаг «чистой» энергетике и несут его. Они идут впереди, и ничего с ними сделать нельзя. Я начал проект гибридного реактора, американцев привлек к нему

в 1973 г., когда у нас началось сотрудничество, когда встретились Леонид Ильич Брежнев и Ричард Никсон.

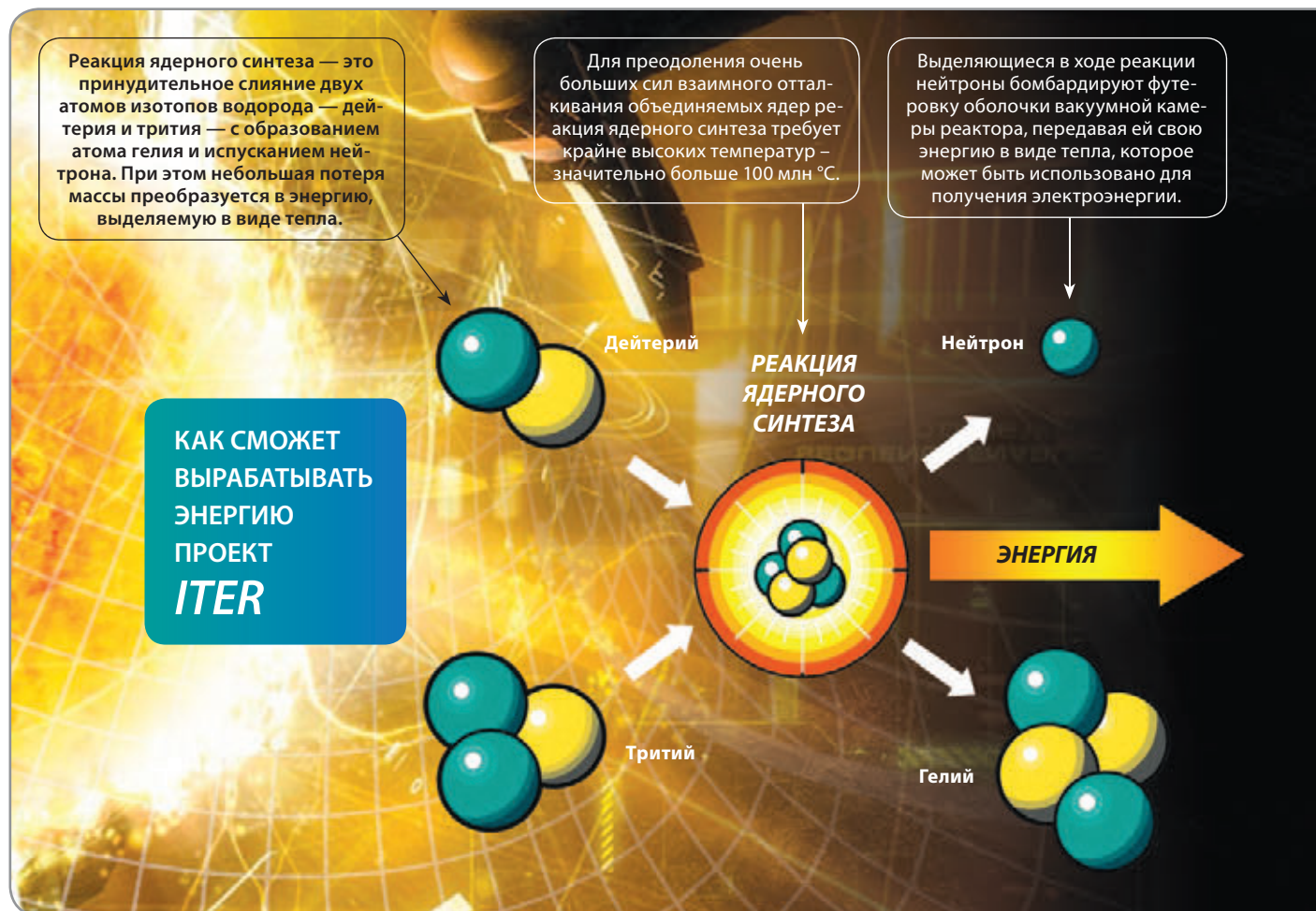
— **Программа «Союз — Аполлон» напоминает о том времени...**

— Космос — это другое. Брежнев поехал в США к Никсону, и я поехал по лабораториям. В Ливерморе встретился с молодым человеком по фамилии Холден. Сейчас Джон Холден — помощник президента, руководитель научных исследований, своеобразный «отдел науки ЦК КПСС» в администрации президента США. Он энергично взялся за дело, и мы с ним занимались проектом, составляли бумаги, письма. Однако вскоре вмешались мифотворцы — политики, политиканы, так называемые «ученые». Они возродили миф о «чистой» энергетике, отделили термояд от атомной энергетике, и в результате ни того ни другого нет и не будет.

О том, как начинался ITER

— **Когда вы были молодым, о чем мечтали? и в какой степени эти мечты осуществились?**

— Я всегда имел в виду какую-то конкретную задачу. Например, нашел метеорит — это было еще в школе, но в это не поверил даже учитель. И тогда я начал доказывать, что это метеорит. Потом занялся магнитными генераторами — делал их, потом термояд — и это стало



главным, т.е. у меня какой-то грандиозной мечты, особенно связанной с регалиями и премиями, не было никогда. Меня всегда интересовали определенные задачи, причем иногда они были не физическими, а инженерными.

— **Неужели термоядерный реактор не заслуживает, например, Нобелевской премии?**

— Во-первых, это огромная работа, в которой принимает участие множество людей. Во-вторых, *ITER* — это инженерная работа. Мог ли Эдисон получить Нобелевскую премию за свои лампочки? Нет, конечно.

— **Его лампочки выше, чем Нобелевская премия!**

— Безусловно. *ITER* — это длительная и весьма сложная история, в которой на разных этапах участвовало много людей. «Удержаться» с ним было сложно. Ведь первые идеи появились еще в 1975 г., а проект начался в 1985 г. Немногим удалось выдержать столь длительные испытания. Мы прошагали путь от голой идеи до реальности.

— ***ITER* уже можно «пощупать руками»?**

— Реактор спроектирован, есть трехмерное его изображение, можно войти внутрь, «пощупать», увидеть и оценить все сделанное. Фантастика стала реальностью. Науки осталось еще очень много, есть неясности, нужен обширный поиск, но с точки зрения инженерной его уже можно строить. Принципиальных изменений не будет.

— **Вы считаете себя одним из главных конструкторов *ITER*?**

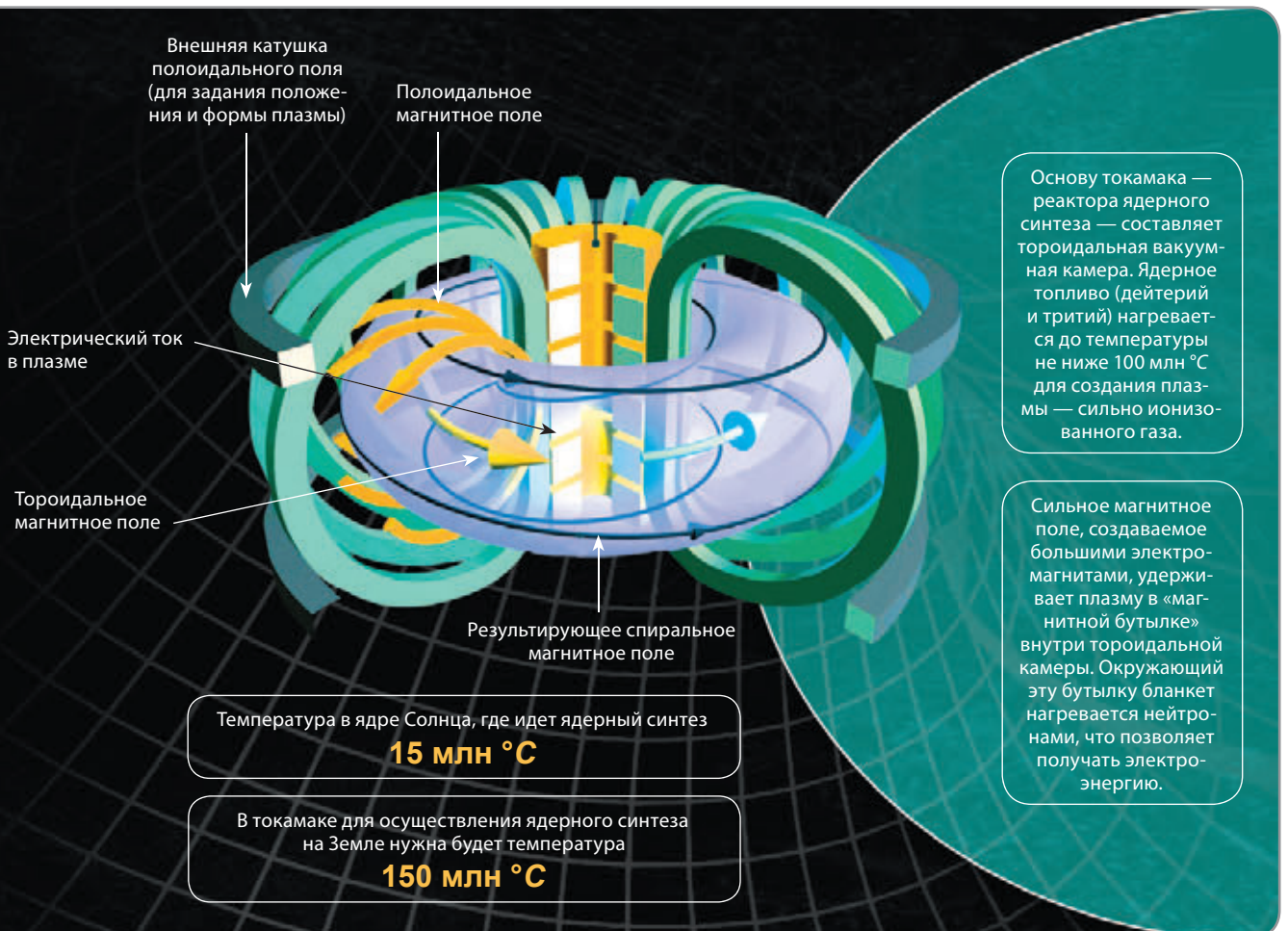
— Вопрос сформулирован неверно. Я один из участников коллектива, который создавал *ITER*. Я принимал участие в его создании с самого начала, но таких людей было немало. Это коллективное творчество — российское, американское, европейское, японское. Многие люди вложили туда свои идеи.

— **Но все-таки у вас была особая роль?**

— Задача у меня была во многом «президентская». Я должен был быть полностью в курсе всех дел, следить за тем, чтобы программа двигалась, развивалась.

— **Президент должен себя ограничивать?**

— Постоянно! Ни в коем случае нельзя брать на себя решение частных задач, многие свои функции нужно делегировать другим участникам проекта и программы. Необходимо так объяснять людям и так взаимодействовать с ними, чтобы они принимали правильные решения сами. *ITER* был построен так, что все его участники должны были на своих уровнях принимать самостоятельные решения и нести за них ответственность. Это принципиальное отличие от той системы, что существует у нас. Виза главного конструктора на проекте обязательна, она решающая. Так было в Советском Союзе, так есть и в России. Проект *ITER* требовал иных подходов,



Из интервью И.В. Курчатова:

«Первая половина XX в. завершилась крупнейшей победой науки — техническим решением задачи использования громадных запасов энергии тяжелых атомных ядер — урана и тория. Этого вида топлива, сжигаемого в атомных котлах, не так уж много в земной коре. Если всю энергетику земного шара перевести на него, то при современных темпах роста потребления энергии урана и тория хватит лишь на 100–200 лет. За этот же срок исчерпаются запасы угля и нефти.

Вторая половина XX в. будет веком термоядерной энергии. В термоядерных реакциях происходит выделение энергии в процессе превращения водорода в гелий. Быстро протекающие термоядерные реакции осуществлены в нашей стране, в США и в Англии в водородных бомбах. Сейчас перед наукой и техникой стоит задача осуществления термоядерной реакции не в виде взрыва, а в форме управляемого, спокойно протекающего процесса. Решение этой задачи даст возможность использовать громадные запасы водорода на Земле в качестве ядерного топлива».

коллективных решений каждого на своем месте и ответственности за них каждого. Эта ответственность соединялась в коллективную, и здесь уже можно говорить о роли президента. Он следил, чтобы не было ошибок и чтобы они не превращались в лавину.

— **Вам пришлось бороться с «внешними силами»? Я имею в виду президента США, который однажды объявил, что Америка выходит из проекта.**

— Это была ошибка, допущенная американцами в 1998 г. Там всегда находится группировка, которая выступает против фундаментальных исследований и международного сотрудничества. Некоторые сенаторы считают, что Америка должна поддерживать только те проекты и программы, где она играет ведущую роль. В *ITER* этого нет. К сожалению, администрация поддержала эту идею. И американское научное сообщество попало на эту удочку, поддержало ошибочное решение. Это было «глухое невежество профессоров». Я говорил об этом и с вице-президентом Альбертом Гором, и с президентом Биллом Клинтон. Как только был избран президентом Джордж Буш, он в первом же своем выступлении заговорил об энергии и энергетике, без которой будущее Америки невозможно. После этого я довольно долго пробыл в США, встречался со специалистами, близкими к Белому дому. В конце концов им удалось доказать, что проект *ITER* — проект №1 по энергетике в XXI в. Стало ясно, что американцы должны либо примкнуть к этой программе, либо делать что-то свое не менее эффективное. У президента Буша хватило мудрости принять верное решение и работать сообща с нами.

— **Вы упоминаете Буша, Клинтона, Гора, Рейгана...**

— Можно и других добавить, потому что *ITER* оказался в центре политических страстей. Михаил Сергеевич Горбачев собирался в первую зарубежную поездку

во Францию. Поскольку у меня с ним были довольно близкие отношения, я пришел к нему и рассказал об *ITER*. При встрече с Франсуа Миттераном Горбачев высказал идею о совместной работе, а я ввел президента Франции в суть дела, рассказал о деталях. А вскоре включился в проект и Буш-старший.

О Брежнев, Устинове и Горбачеве

Власть для нас ассоциируется с президентами, премьерами, министрами, генеральными секретарями и всевозможными председателями. В жизни академика Велихова их было очень много. Из портретов можно смело составить целую галерею и, попав в нее, мы с любопытством взглядывались бы в знакомые и не очень знакомые лица...

— **Я просто обязан спросить: какое отношение вы имели к власти, к тому же Горбачеву? Честно говоря, я не знаю других академиков, которые могли бы запросто зайти к Генеральному секретарю ЦК КПСС и рассказать ему о своих идеях. Как возникло такое особое отношение именно к вам?**

— Такие академики были. Помощником у него был тот же академик Юрий Андреевич Осипьян. Думаю, что могли зайти по своим вопросам и Юлий Борисович Харитон, и Анатолий Петрович Александров, и Владимир Федорович Уткин — в общем, многие. Так что о какой-то исключительности я не говорил бы. Михаил Сергеевич Горбачев был открытым человеком, с ним можно было обсуждать проблемы. Я человек скромный, но «скромности по отношению к начальству» у меня не было, потому что за мной стоял Курчатовский институт — особый в истории нашей науки. Институт был либеральный, и в то же время всегда было желание участвовать в крупных задачах. И потому многие прикасались к власти. Первым, с чем я выходил «наверх», были МГД-генераторы. Для меня было очевидно, что эту идею нужно донести до власти. Ее обсуждали в Оборонном отделе ЦК, в Совете Министров. Это были времена Хрущева, а потом и Брежнева.

— **Сегодня такое возможно?**

— Я могу, конечно, позвонить тем, кого знаю, и они, думаю, не откажут. Но я не уверен, что между нами возникнет «контакт понимания». Скорее речь идет о доверии ко мне лично, а не к науке в целом. Тогда была общая идея, общая цель. Нельзя сказать, что все было организовано разумно, но власть и наука шли в одном направлении.

От ядерного безумия к сотрудничеству

Однажды мир сошел с ума. Это случилось в Японии в августе 1945 г. После атомной атаки на Хиросиму и Нагасаки ядерное безумие, как чума в Средневековье, распространялось по планете. Казалось, ничто и никто не сможет положить этому конец.

Великие умы пытались образумить политиков. Эйнштейн и Силард, Жюлио-Кюри и Курчатова, Ферми и Сахаров, Рассел, Оппенгеймер и многие другие пытались остановить власть атомной бомбы, но их усилия, к сожалению, оказывались тщетными.

Военное безумие отвечало им ядерными грибами на полигонах в разных уголках Земли, в космос стартовали мощные ракеты, а политики уже начинали гордиться тем, что они могут уничтожить все живое на Земле более 20 раз.

Это были танцы гибели планеты, и последнюю грань так легко было переступить.

Нужны были люди, способные остановить это безумие.

Одним из немногих, решившихся на это, был Евгений Павлович Велихов.

— Как в вас оживают два человека: один воюет за ударные подводные лодки, за самое современное оружие, а другой борется за разоружение?

— Первым человеком и ученым, который принял правильное решение, был Клаус Фукс — тот самый физик, который передавал все секреты создания американского ядерного оружия в Советский Союз. Он это делал не потому, что он любил Сталина, а потому, что считал недопустимой монополию на это страшное оружие. Он был прав, поскольку планета превратилась в сумасшедший дом. Было произведено огромное количество атомных бомб — 50 тыс. боеголовок. И в этом процессе я участвовал. Но пацифизм не изменяет реальную ситуацию. Противодействие войне — трудная и повседневная работа, и ее нужно кому-то выполнять, в первую очередь тем, кто лучше понимает опасность всемирной ядерной войны. В то же время надо быть сильным, чтобы не допустить такой войны. Вот и приходится шагать по краю пропасти, постепенно от него отходя.

— И роль науки в этом особенно велика?

— Науки, на мой взгляд, недостаточно. Нужна еще политическая воля, поэтому ученые обязаны взаимодействовать с властью.

— Контакты с американцами развивались?

— Я старался найти нетрадиционные пути. Принимал тех американцев, которых никто не принимал, например одного из руководителей Информационного агентства США. Он был ярким антисоветчиком, и с ним отказались встречаться все чиновники. Я его принял в академии наук. Или тот же Шарон. С ним все отказались встречаться, я же согласился. Это не было бравадой. Просто я понимал, что есть определенные нормы отношений между государственными деятелями, и если мы намерены участвовать в мировой политике, то их нужно соблюдать. Да и цели я поставил высокие: речь шла о ядерном разоружении, ради этого догмами можно было не только пожертвовать, но и пренебречь. Такая позиция повышала мой авторитет, что открывало мне двери в очень высокие кабинеты. Я написал письмо Рейгану, и оно легло ему на стол. Дело сразу стронулось с мертвой точки.

— Зачем вам это нужно? Вы ведь Курчатовский институт, а не «Газпром».

— Курчатовский институт всегда брал на себя ответственность не только за себя, но и за тех, с кем мы работаем вместе. Мы создавали промышленность атомных подводных лодок, и была реальная опасность просто ее потерять. Все было на грани — люди жили ужасно, производство стояло. Раньше на заводе производили шесть

лодок в год, масштабы производства понятны. Чтобы сохранить хоть что-то, надо производить нефтяные платформы. Именно они поддержат технологию, сохраняют кадры, помогут коллективам выжить. В свое время я убедил Бориса Николаевича Ельцина в том, что нужно действовать именно так. Он согласился. Да, сейчас мы можем делать лишь одну лодку в течение нескольких лет, но уникальные производства существуют. Это принципиально важно!

Завтра будет лучше, чем нам кажется

— Хочу подарить свою книжку «Убийство РАН». Она только что вышла.

— С удовольствием прочитаю. Надеюсь, там написано, что последние выборы и были убийством академии?

— Почему?

— Потому что был предложен путь, который никуда не ведет. Это, конечно, длинная история. Первая попытка убийства академии была совершена в 1990 г.

— Вы подписали у Б.Н. Ельцина указ о Курчатовском институте и академии наук, перехватив его на аэродроме, когда он улетал за границу.

— Да, так и было. Тогда я остановил убийство академии, но какой ценой? Ценой того, что в академию влилось большое количество совсем бестолковых людей, а кроме того, много карьеристов. Академия наук — интересное изобретение России, хотя она была очень разной, и люди в ней разные были — вспомните хотя бы Лысенко. Но это особый разговор. Однако если судить об академии серьезно, то основой ее должен быть академический институт. Первый такой институт был создан Абрамом Федоровичем Иоффе в 1912 г. Он привез эту идею из Германии: институт с академической структурой внутри и с академическим духом. Потом все это перешло в Курчатовский институт: у нас тоже внутри академический дух. И дальше: академия должна быть корпорацией таких институтов. Необходимо корпоративное управление. Что это значит? Должен быть, во-первых, баланс интересов государства и науки. Любой университет в Америке — корпорация. Только единственное — у них есть понятие корпоративной собственности. Я пытался утвердить это у нас, когда писали конституцию России, но меня затоптали: «Какая еще корпоративная? Осталась частная собственность, государственная и муниципальная». Теперь все убедились, что еще одной собственности и не хватает. Но это тоже не страшно. Чтобы развивать науку по-настоящему, нужно создать совет. В нем должны быть выдающиеся люди, в которых общество и президент уверены. Совет и назначает директоров, так же как во всякой корпорации.

— Жалко мне академию наук и вас, академиков. Хотя мне как писателю чем драматичнее, тем интереснее.

— Не жалеть нас надо, а помогать в эти нелегкие времена, чтобы они быстрее прошли. Впрочем, я не сомневаюсь: завтра будет лучше, чем нам кажется. ■

Беседовал Владимир Губарев



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»

Больше данных,

Несмотря на определенные успехи в разработке новых парадигм компьютеринга, все компьютеры на сегодня устроены по классической архитектуре фон Неймана. И пусть до создания квантовых и нейроморфных компьютеров осталось, возможно, совсем немного времени, обрабатывать данные, объем которых растет с невероятной быстротой, необходимо уже сегодня. Способны ли нынешние технологии справиться с лавиной информации и какие вычислительные новшества нас ждут в ближайшем будущем, мы попросили рассказать начальника отделения математического моделирования и информационных технологий НИЦ «Курчатовский институт» Вячеслава Анатольевича Ильина и заместителя директора по информационным технологиям и системам НИЦ «Курчатовский институт» Василия Евгеньевича Велихова



хороших и разных!

Теоретическая альтернатива

— Вячеслав Анатольевич, Василий Евгеньевич, все ли современные компьютеры построены на архитектуре фон Неймана? Ведь были в то время возможности применить другую архитектуру? В частности, реально ли было воплотить преимущества нашего мозга — например, хранение информации там же, где она обрабатывается?

В.А. Ильин: Мы точно знаем, что наш мозг — нечто такое, что работает совсем не так, как современные компьютеры. С огромными пластами задач, которые современные компьютеры выполняют очень плохо, даже мозг трехлетнего ребенка справляется весьма эффективно. Но когда в работах фон Неймана и Тьюринга была сформулирована парадигма компьютеринга на электронных машинах, это было естественное переложение

на численные методы на таких машинах того, что люди раньше выполняли на счетах, логарифмических линейках и т.д.

Сегодня обсуждаются две парадигмы, которые обещают в достаточно отдаленном будущем переворот. Первая — это нейрокомпьютеры, и здесь определяющий «вызов» — мозг человека. Вторая — квантовый компьютер. Показателен пример с квантовым алгоритмом Шора, который разлагает целые числа на простые множители. В зависимости от числа N рост времени, который тратится на решение этой задачи в рамках парадигмы фон Неймана/Тьюринга, будет экспоненциальным. Квантовый алгоритм Шора позволит решать эту

задачу за время, пропорциональное N в кубе. Это феноменальный результат, но он лишь теоретический. Этот алгоритм пока не реализован, т.к. никакого квантового компьютера еще нет, что бы ни говорили. Но этот теоретический результат предсказывает настоящую революцию, не только в криптографии, но вообще в информационных технологиях.

— **Что мешает реализации?**

В.А. Ильин: Целый ряд фундаментальных, технологических проблем. Несмотря на то что сейчас разработаны варианты реализации алгоритма Шора на разных

квантовых объектах, теоретически для этого нужно решить проблему квантовой декогеренции. Чтобы волновая квантовая функция «жила» на достаточно большом расстоянии и довольно большое время — достаточное для создания собственно (квантового) компьютера (без разрушения волновой функции за счет воздействия классических объектов). В квантовой физике уже достигнут большой прогресс по решению этой проблемы. И в какой-то момент действительно станет возможным реализовать квантовые компьютеры.

— **То есть это все пока чистая теория?**

В.А. Ильин: Да, «чистая» в том смысле, что квантовый компьютер, если говорить серьезно, даже в экспериментах еще не строят. Нужно решить много фундаментальных проблем, а пока основа работы всех современных компьютеров — парадигма фон Неймана/Тьюринга, основанная на последовательном выполнении операций. Именно поэтому методы распараллеливания решения, допустим, задач предсказательного моделирования свойств новых материалов (например, графена), становятся результатом сложнейших математических построений и работают далеко не всегда. В определенном смысле в основе квантовой парадигмы компьютеринга лежит именно параллельное выполнение математических операций. В то же время мы видим, что человеческий мозг на языке современных компьютерных наук — изначально и по сути чрезвычайно высокоэффективная параллельная машина.

Современный статус суперкомпьютинга

В.Е. Велихов: Под руководством М.В. Ковальчука в НИЦ «Курчатовский институт» идут междисциплинарные фундаментальные и прикладные исследования, в том числе на мегаустановках мирового класса, входящих в нашу структуру, и в крупных международных проектах. Поэтому информационный комплекс — это и своеобразный «обруч», объединяющий все наши направления: от ядерной медицины до физики высоких энергий, от биотехнологий до нейроинформатики, и самостоятельный блок обширной программы развития Курчатовского НБИКС-центра. По существу это многофункциональный исследовательский комплекс, позволяющий проводить вычислительные эксперименты, обработку и анализ данных. Среди основных наших целей — развитие технологий предсказательного математического моделирования, высокопроизводительных вычислений и вычислений с высокой пропускной способностью. Еще одна очень важная часть нашей работы — поддержка участия исследователей в анализе экспериментальных данных международного научного мегапроекта «Большой адронный коллайдер» (*LHC*) на базе развития информационно-вычислительных центров НИЦ «КИ» в составе глобальной грид-системы *WLCG*. Этим мы создаем и мощный технологический задел для равноправного российского участия в обработке и анализе будущих экспериментальных данных в международных мегапроектах *FAIR*, *XFEL* и *ITER*. Мы начинаем также работу с источником ПИК в Петербургском



! Справка

Вячеслав Анатольевич Ильин — начальник отделения математического моделирования и информационных технологий Курчатовского НБИКС-центра НИЦ «Курчатовский институт», заведующий кафедрой информатики и вычислительных сетей факультета НБИК МФТИ, ведущий научный сотрудник НИИЯФ МГУ, доктор физико-математических наук.

- ✓ В 1975 г. окончил физический факультет МГУ, в 1978 г. — аспирантуру физфака МГУ.
- ✓ Сфера научных интересов: применение компьютерных методов в научных исследованиях.
- ✓ Автор более 100 научных публикаций и одного патента.

институте ядерной физики НИЦ «КИ» — нейтронным реактором, который в самом ближайшем будущем станет ядром международного нейтронного центра. Во всех этих проектах вычислительная исследовательская инфраструктура составляет значительную часть создаваемых систем. Сегодня невозможно никаким другим способом обработать и проанализировать данные мегаустановок в реальном времени.

— Как насчет инженерных расчетов?

В.Е. Велихов: Вторая часть наших работ после инфраструктуры мегаустановок — высокопроизводительные параллельные вычисления. Цель большинства вычислительных экспериментов, проводимых на наших суперкомпьютерах, — моделирование строения и динамики сложных систем, как существующих, так и вновь создаваемых, начиная со Вселенной, которую мы пытаемся изучать и с помощью анализа данных *LHC*, надеясь понять, что произошло 14 млрд лет назад во время Большого взрыва, и с помощью моделирования на суперкомпьютерных системах. Мы решаем и задачи, связанные со строением и динамикой развития Земли. Сейчас мы перешли уже к системам, связанным с человеком, — начиная с клеточного уровня и далее до уровня живого организма. Сложность задач в том, что приходится использовать различные физические представления для моделей различных уровней (технологии многоуровневого моделирования) и объединять их между собой по данным.

Мы активно занимаемся промышленными расчетами, связанными со сложными инженерными системами в процессе их создания и эксплуатации. Пожалуй, одни из наиболее перспективных задач — прецизионные расчеты нейтронно-физических характеристик ядерных реакторов на основе полномасштабных мультифизических компьютерных моделей различных реакторных установок. Еще одна очень интересная сфера — имитационное трехмерное моделирование процессов гидродинамики, теплопереноса и прочности для проектирования и создания ядерных корабельных установок и корабельных систем.

Облачность с прояснениями

— С какими вычислительными технологиями вы работаете?

В.Е. Велихов: Это технологии высокопроизводительных и распределенных вычислений. В первую очередь это грид-технологии. Сейчас стали появляться несколько более простые в использовании облачные технологии, которые тоже позволяют объединять разные ресурсы и получать их от разных провайдеров.

— В чем принципиальное отличие этих технологий?

В.А. Ильин: Грид-технологии — это когда компьютерные вычисления выполняются «поверх» Интернета. Ресурсы расположены в Интернете, через него же и посылаются, и выполняются задачи. Однако с каждым из ресурсов — вычислительным центром или отдельным компьютером — пользователь, решающий эти задачи, должен договариваться, обсуждать, какие у них

возможности. Когда концепция грид была предложена в конце 1990-х гг., ее хорошо восприняли в научном мире, в частности она была взята на вооружение в *CERN*. Вся глобальная система обработки, анализа, моделирования экспериментальных данных была построена именно в рамках концепции грид.

Однако бизнес-сообщество относилось к ней довольно прохладно, понимая, что у бизнеса здесь не очень большое поле деятельности. К 2005 г. окончательно оформилась концепция облачных вычислений. Вкратце ее суть в следующем: необходимо сделать «стену» между пользователем и людьми, которые обеспечивают функционирование сложных компьютерных установок — например, центра, кластера. В результате пользователь не будет знать, что и как делают инженеры или системщики, а облачный компьютерный ресурс (компьютер, кластер, хранилище данных) будет выглядеть для него как собственный ресурс (компьютер), к которому он привык. Соответственно, находящиеся с той стороны «не знают», что делают пользователи. Однако в реальных грид-инфраструктурах этот аспект не был реализован в сколько-нибудь полной мере. В облачной концепции именно для этой самой «стены» ключевую роль играют технологии виртуализации компьютерных ресурсов, которые развивались параллельно и грид, и облачной концепции. Одновременно шло взрывообразное развитие технологий на основе веб-сервисов (вспомним хотя бы веб-магазины). Собственно облачные технологии — это симбиоз технологий виртуализации компьютерных ресурсов и технологий веб-сервисов. Однако сейчас такая «стройная» формулировка сильно меняется. Грид-технологии давно уже реализуются через веб-сервисы, и в облачных технологиях появляются хорошо проявившие себя на практике грид-технологические решения (пример — *gridFTP*-сервис, позволяющий авторизовано передавать большие потоки данных по каналам Интернета). Наконец, сейчас происходит рождение нового пласта технологий под флагом больших данных, для которых и грид, и облачные технологии поставляют свои решения в качестве стартового капитала, так же как и технологические наработки коммерческих веб-гигантов, таких как *Google* и «Яндекс».

— И как были восприняты облачные технологии?

В.А. Ильин: Облачные технологии — это «ребенок» бизнеса, и там они сейчас широко применяются. В науке облачные технологии тоже завоевали серьезные позиции, однако есть и сложности на практике. Важнейшая сложность, особенно для российского бизнеса, в настоящее время в том, что облачный ресурс удаленный, т.е. он вроде бы свой, но все-таки чужой, и свои частные данные туда отправлять опасно, как считают многие в российском бизнесе. Возможно, это болезнь роста, но, скорее всего, решение появится в новом этапе технологического развития, например в технологиях больших данных.

В.Е. Велихов: Возникает также целый ряд вопросов, например связанных с лицензионными и экспортными ограничениями на программное обеспечение, что связано именно с удаленностью компьютерных ресурсов.

— **Какие еще задачи решаются на суперкомпьютере в вашем вычислительном центре?**

В.Е. Велихов: У нас есть ряд проектов, связанных с виртуализацией суперкомпьютерных сервисов. Сложность этих технологий связана с тем, что все суперкомпьютерные установки в достаточной мере уникальны, хотя мы стараемся не использовать экзотические архитектуры. У нас много собственных программных пакетов, в первую очередь у ядерного кластера, которые десятилетиями разрабатываются, верифицируются, валидируются для использования при проектных работах на конкретных установках. Перевод их на новые суперкомпьютерные технологии зачастую занимает больше времени, чем соответствующая технология живет.

По этой причине мы вместе с Институтом системного программирования РАН сосредоточили большие усилия на создании такого виртуализационного слоя, который бы позволял упростить с точки зрения пользователя работу с суперкомпьютером, чтобы пользователю не надо было адаптироваться каждый раз к конфигурации суперкомпьютера. В Минобрнауки этот проект называется «виртуальный суперкомпьютер».

Второе направление тоже очень важное — это использование суперкомпьютеров нового поколения с гетерогенной архитектурой. В рамках совместного проекта ЕС и Минобрнауки APOS ученые НИЦ «КИ» совместно с коллегами из целого ряда российских и европейских институтов: Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Югорского НИИ ИТ, МФТИ, а также с зарубежными партнерами из университетов Эдинбурга, Варшавы, Центра высокопроизводительных вычислений Университета Штутгарта, с участием компаний *CAPS Enterprise* и *TOTAL S.A.* решали задачи по разработке и совершенствованию программного обеспечения. Это касалось прежде всего таких стратегически важных областей, как сейсмическое моделирование, моделирование залежей нефти и газа, вычислительная гидродинамика, термоядерная энергетика и др. В результате мы создали программы численного моделирования для таких многопроцессорных вычислительных систем, как многоядерные компьютеры, гетерогенные вычислительные системы с графическими ускорителями *GPGPU*. В итоге работа получилась очень успешная, потому что различные партнеры вложили туда то, в чем они наиболее сильны. Мы, например, более сильны в алгоритмике. У европейских партнеров есть большой опыт работы с промышленностью с точки зрения расчетов, адаптации промышленных кодов к различным архитектурам. Компания *TOTAL* — один из мировых лидеров по промышленному использованию суперкомпьютеров. Различные центры фокусируются на отдельных аспектах суперкомпьютерных технологий, и когда этот опыт складывается вместе, то возникает синергия и получается очень интересный проект, особенно благодаря участию в нем таких уникальных специалистов, как академик Б.Н. Четверушкин и профессор Марк Парсонс.

Большие данные

— **Давайте вернемся к вопросу компьютеринга высоких энергий.**

В.А. Ильин: Как я уже говорил, грид-технологии возникли где-то в конце 1990-х гг. Середина 2000 гг. — это облачные технологии, а сейчас — концепция больших данных.

Грид — это технология, и облако — это технология, а большие данные — это «флаг», но не сама технология. Такой «флаг» говорит об очень серьезных изменениях в направлениях развития информационных технологий. Сейчас, с развитием программного обеспечения и мировоззренческих, сетевых технологий, да и собственно компьютерных ресурсов, мы можем не просто оперативно, а практически в реальном времени работать с огромными потоками данных. Сегодня это петабайты, через пять лет это уже будет на три порядка больше — эксабайты.

Если говорить о науке, то физика высоких энергий с 1960-х гг. всегда работает с большими данными, при этом объем их постоянно увеличивается. В распределенной глобальной системе обработки, анализа, моделирования данных говорят про «тиры» — *Tier-0*, *Tier-1*, *Tier-2* — это терминология из иерархических моделей. *Tier* — это уровень, ярус. *Tier-0* — это компьютерная система, в основном в *CERN* (сейчас создается дублер в Будапеште), когда в детектор поступают так называемые сырые данные после онлайн-обработки, которые надо записывать для длительного хранения. Затем в *Tier-0* они немного обрабатываются, фильтруется шум и появляются наборы данных, которые уже можно готовить к анализу. Такая работа идет в центрах *Tier-1*, после чего данные передаются в центры *Tier-2*, где физики проводят анализ и моделируют события, ведь в физике высоких энергий открытия делаются при сравнении экспериментальных и моделированных данных.

— **Где находятся центры Tier-2?**

В.А. Ильин: *Tier-2* в мире 150–200, и они все разного масштаба.

В.Е. Велихов: У нас сейчас во всех четырех институтах НИЦ «КИ» есть центры *Tier-2*. Мы рассматриваем возможность их укрупнения и специализации, ведь в рамках экспериментов на мегаустановках поддержка множества центров — большая проблема, связанная в первую очередь с сетями, потому что обычно мелкие центры находятся на более слабой сетевой инфраструктуре, они хуже администрируются. Соответственно, возникает больше ошибок, меньше надежность и доступность ресурсов центров. В связи с этой проблемой в Институте физики высоких энергий НИЦ «КИ» в Протвине создан центр *Tier-2D*, который имеет ряд функций центра уровня *Tier-1*.

В.А. Ильин: В экспериментах *LHC* в *CERN* начинают использовать центр *Tier-2D* в ИФВЭ НИЦ «КИ». *Tier-0*, *Tier-1*, *Tier-2* — это иерархическая модель, которая была реализована с использованием грид-технологий в глобальной инфраструктуре *WLCG* (*World-Wide LHC Computing Grid*). В 2003 г. заработала

пилотная инфраструктура *WLCG*, в которой участвовали 15 центров в мире, в том числе и один из России, в МГУ им. М.В. Ломоносова, НИИ ядерной физики МГУ им. Д.В. Скобельцына. В том же году подключились другие научные центры, включая Курчатовский институт и ОИЯИ. В последние годы строгая иерархическая система стала меняться — данные начали «бегать» не только сверху вниз (от *Tier-1* к *Tier-2*), но и между центрами *Tier-2* и *Tier-1*. Получается так называемая *mesh*-модель.

Важное технологическое решение, разработанное для эксперимента *ATLAS*, — *Panda*, технология распределенного анализа данных. Это технологическое решение часто включают в список «стартового пула» для развития новых технологий по концепции больших данных. В этом году в НИИ «Курчатовский институт» будет создана инновационная лаборатория по разработке технологий управления обработки большими потоками данных.

В.Е. Велихов: С самого начала вся обработка данных в экспериментах *CERN* ведется на слабосвязанных кластерах, и распараллеливания задач не требовалось. Задачи приходили на отдельные процессоры или ядра, там обрабатывались, взаимодействия между ними в процессе вычислений не было, да и в рамках программного обеспечения в экспериментах *CERN* не закладывались механизмы, готовые работать с «параллельным железом». Поэтому с годами эффективность программного обеспечения существенно отставала от возможной пиковой производительности «железа», куда все время закладывались новые параллельные механизмы. Они сейчас уже есть даже в мобильном телефоне, но программное обеспечение экспериментов *CERN* их фактически не замечало. Сейчас это рассматривается как определенная проблема и развиваются направления модернизации компьютеринга *LHC*, например для эффективного использования многопоточных механизмов в современных микропроцессорах. Изучаются возможности использования компьютерных систем гибридной архитектуры (*CPU+GPU*).

В.А. Ильин: Важный момент — эксперименты *LHC* стали выдавать данные для физического анализа в 2009 г., сейчас ускоритель остановлен, новые экспериментальные данные не поступают, но обрабатываются старые. В 2015 г. стартует новый сеанс работы ускорителя *LHC*, уже на проектной энергии 14 ТэВ столкновения протонов и тяжелых ядер для протонов и с серьезно увеличенной светимостью. К 2018 г. объем экспериментальных данных достигнет сотен петабайт. Курчатовский *Tier-1*-центр, *Tier-1*-центр в ОИЯИ и модернизированный российский сегмент глобальной грид-инфраструктуры *WLCG* должны будут обеспечить активное участие российских физиков в получении нового фундаментального знания о свойствах микромира — взаимодействии элементарных частиц на новом энергетическом масштабе.

— **С учетом того, что Россия станет ассоциированным членом *CERN*, это все «наше».**

В.А. Ильин: Конечно, ассоциированное членство России в *CERN* придаст новое качество участию российских ученых в его научных экспериментах. Но помимо



! Справка

Василий Евгеньевич Велихов — заместитель директора по информационным технологиям и системам НИИ «Курчатовский институт», кандидат физико-математических наук.

- ✓ В 1983 г. окончил факультет проблем физики и энергетики МФТИ, в 1986 — аспирантуру МФТИ.
- ✓ Сфера научных интересов: исследование и разработка технологий высокопроизводительных вычислений, вычислений с высокой пропускной способностью, обработка и анализ больших массивов научных данных.
- ✓ Автор более 20 публикаций, в том числе четырех авторских свидетельств.

LHC в Европе развиваются и другие научные мегапроекты, в которых Россия активно участвует. Это *FAIR* — ускоритель тяжелых ионов, запуск которого планируется в 2018 г. Эта установка родственна одному из экспериментов на *LHC* — *ALICE*: там тоже изучается физика столкновений тяжелых ионов, в том числе физика кварк-глюонной плазмы. Скоро будет обсуждаться вопрос о концепции построения компьютерной системы *FAIR* — разумеется, на основе богатейшего опыта построения глобальной грид-инфраструктуры *WLCG*, которая успешно работает для *ALICE*. Однако технологические наработки *WLCG* будут служить только в качестве начального капитала. Несомненно, технологии облачных вычислений, новый технологический вызов больших

данных, развитие параллельных вычислительных технологий и суперкомпьютинга — все это должно быть «переварено», и в итоге возникнет новая модель научного компьютеринга уровня мегапроекта. В этом процессе мы, конечно, планируем активно участвовать, так как сейчас развивается российский мегапроект НИКА — кольцевой ускоритель тяжелых ионов в Дубне, у нас в Протвине в ИФВЭ НИЦ «КИ» работает протонный ускоритель У-70, синхротрон СИ-1000 в ПИЯФ НИЦ «КИ».

— **Кстати, а куда пропал проект создания линейного коллайдера в DESY?**

В.А. Ильин: Если говорить о новом поколении ускорительных экспериментов в физике высоких энергий, он просто отошел пока на второй план.

С конца 1990-х гг. стали очевидны большие перспективы источников синхротронного излучения нового поколения, и в германском научном центре DESY начал развиваться европейский проект лазера на свободных электронах — XFEL, очень важный для материаловедения, нанобиотехнологий, исследований вещества в экстремальных условиях. XFEL — это следующий шаг в физике синхротронных источников, рентгеновский источник, который будет выдавать в секунду до 30 тыс. мощных ярчайших лазерных импульсов длительностью в несколько фемтосекунд. Это крайне интересно, потому что таким образом можно увидеть наш мир на уровне атомов в динамике, посмотреть буквально, как живет молекула — биологически сложный объект. В этом проекте европейского лазера на свободных электронах вклад России сравним с вкладом страны-хозяйки — Германии, причем как материальный, так и интеллектуальный. Собственно, сама идея такого лазера идет еще от советских физиков. Мы вступили в проект в 2005 г. по инициативе М.В. Ковальчука, сегодня именно «Курчатовский институт» осуществляет научное координирование

от России. А что касается линейного коллайдера — в 2020-е гг., когда Большой адронный коллайдер в основном отработает свой научный потенциал, к этому проекту наверняка вернутся.

Я хотел бы рассказать еще про две наши научные разработки, относящиеся к большим данным. Вы, наверное, знаете, что карты Google — это некая технология визуализации, так называемая технология пирамид. Но это статические снимки, а есть запросы на аналогичную технологию для интерактивной визуализации в видеопотоках, причем гигапиксельных. Если в фотоаппаратах сейчас мегапиксели, то здесь речь идет о потоках видеoinформации на три порядка большего масштаба. Эта технология создана у нас в Курчатовском институте. Она может использоваться и в прикладных целях, и в научных — определить какие-то события в этом гигантском видеопотоке и следить, как они развиваются. Например, есть спутниковые данные, по которым Венера прошла на фоне Солнца. Наша технология может «схватить» Венеру и отследить, увеличить масштаб и посмотреть. Целый ряд научно-технических аспектов этой технологии разрабатывались в рамках программы совместной деятельности институтов, входящих в НИЦ «КИ».

Еще одно наше достижение — совсем недавнее, в рамках федеральной целевой программы «Создание облачной среды для конвейерной параллельной обработки данных дистанционного зондирования Земли по технологии Map Reduce». Эта технология применяется в геофизике, например для обработки данных по дистанционному зондированию Земли, где уже сейчас идет гигантский поток информации. Важно в этом потоке выхватывать и маркировать важную информацию, а потом обрабатывать отдельно. Это и есть естественный параллелизм. Технология Map Reduce также представляет собой один из компонентов начального технологического капитала больших данных.

В.Е. Велихов: Я хочу отметить, что происходит переход от традиционного суперкомпьютинга к суперкомпьютингу с интенсивным обменом данными (Data-Intensive Super Computing, DISC). Фактически сами архитектуры суперкомпьютеров были направлены на то, чтобы выдавать максимальное количество циклов (пета-, эксафлопсы). При их разработке онлайн-обработка и обмен данными на различных фазах вычислений не были приоритетом, в то время как эксабайтные объемы данных уже стали реальностью. Сейчас явно идет сдвиг к DISC, к работе с анализом и визуализацией данных, для того чтобы можно было из эксабайтных массивов в результате многократных расчетов получать реальную информацию. Кстати, человеческий мозг до сих пор представляет собой непревзойденный инструмент для анализа визуальной информации. И опыт, накопленный при использовании технологий вычислений с высокой пропускной способностью, становится очень востребованным в суперкомпьютинге. ■

Подготовил Виктор Фридман



12+ РЕКЛАМА



просто о
сложном



2.0

НАУКА 2.0
ТЕЛЕКАНАЛ



На пути к искусственному интеллекту



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»

Согласно закону Мура, производительность компьютеров удваивается примерно каждые 18 месяцев. Многие специалисты полагают, что рано или поздно это развитие упрется в некий предел быстрогодействия, который будет определяться атомарной природой вещества и растущим тепловыделением рабочих элементов.

Насколько эти опасения оправданы, разберутся специалисты. К счастью, технологии не стоят на месте. Как известно, научные прорывы обычно случаются на стыке наук, и гибридные системы с искусственным интеллектом если не завтра, то послезавтра готовы прийти на смену привычному «железу», не дожидаясь его естественной смерти. О новейших разработках в этой области и участии в них российской науки мы побеседовали с заместителем директора по научной работе Вячеславом Александровичем Деминым и заведующим лабораторией нейроинтеллекта и нейроморфных систем Курчатовского НБИКС-центра Михаилом Сергеевичем Бурцевым

Вдохновение и разочарование

— Разработка теории искусственного интеллекта продолжается уже не первое десятилетие. Какие на данный момент достигнуты успехи в этой области?

В.А. Демин: Одним из первых, кто задумался о создании помощника для человека в выводе заключений, был российский ученый Семен Николаевич Корсаков. В 1832 г. он построил ряд механических устройств «для усиления человеческого разума», которые помогали в задачах поиска, сравнения и классификации множества информационных записей при работе с большими объемами данных, став фактически предтечами современных экспертных систем. Например, машины Корсакова позволяли по набору признаков заболевания ставить диагноз. Конечно, это были достаточно примитивные устройства. Корсаков первый ввел в употребление и перфокарты. Но тогда, в первой половине XIX в., на это изобретение смотрели больше как на игрушку.

— Он опередил свое время.

В.А. Демин: Причем намного. Seriously об искусственном интеллекте ученые стали задумываться только ближе к середине XX в. В первую очередь здесь потрудились такие замечательные математики, как Алан Тьюринг и Джон фон Нейман, которые формализовали понятия вычислений и вычислительной машины, разработали теорию алгоритмов. Тогда же возникла теория клеточных автоматов. Более того, Джон фон Нейман стал первым задумываться о промышленном создании вычислительных устройств. И, как мы знаем, первый реализовал архитектуру, на которой построены почти все современные компьютеры: процессор и память физически разделены, процессор постоянно обращается к памяти, причем за один такт может быть только одно обращение, поэтому данный процесс последователен и тем самым ограничен в быстродействии.

В это же время, в середине XX в., стали развиваться искусственные нейронные сети. Часть ученых пошли

по сформулированному Джоном фон Нейманом пути архитектуры компьютеров, которой мы пользуемся сейчас. Но некоторые ученые задались целью попробовать смоделировать работу мозга, где информация параллельно обрабатывается и хранится в одних и тех же структурах — нейронах.

Первые нейронные сети возникли благодаря усилиям математиков-информатиков Уоренна Маккаллока и Уолтера Питтса. Они ввели понятие формального нейрона. Чуть позже Фрэнк Розенблатт сформулировал более развитое понятие перцептрона, состоящего из ряда входов для задания на них комбинации поступающих сигналов, одного или нескольких внутренних слоев нейронов и слоя выходных нейронов, на которых вырабатывался итоговый отклик на входной сигнал в результате специального нелинейного взаимодействия связанных между собой нейронов. Такие сети продемонстрировали способность к обучению, которая выражалась в возможности, после некоторого тренировочного алгоритма, привязки близких комбинаций сигналов на входах к определенному выходу (или комбинации выходов) перцептрона и, наоборот, существенно различных комбинаций на входах — к разным выходам (их комбинациям). Таким образом, математическое развитие данной области послужило стимулом уже к ее программной реализации. Затем стали задумываться и об аппаратном уровне, но тогда, в середине XX в., не было подходящих технологий.

Таким образом, указанные две ветви (последовательных и параллельных вычислений) стали бурно развиваться. Стало понятно, что моделировать нейронные сети можно на классических компьютерах с неймановской архитектурой. Начали предпринимать первые попытки. Был построен компьютер «Марк I» на основе нейронной сети, но он работал крайне медленно из-за последовательного алгоритма обработки данных: процессор обращается к памяти, получает оттуда данные, потом обращается за инструкциями, получает их и обрабатывает эти данные. После этого процесс повторяется снова.

М.С. Бурцев: Тогда же появился и сам термин «искусственный интеллект», потому что изначально это все называлось кибернетикой, математикой, нейрофизиологией — не было четкого названия. На том этапе был огромный энтузиазм: все выглядело так, будто вот-вот мы достигнем фантастических результатов, что к концу 1960-х — началу 1970-х гг. у нас будет робот, который думает как среднестатистический человек.

В 1969 г. Марвин Минский вместе с Сеймуром Папертом опубликовали книгу «Перцептроны», в которой показали, что эти нейронные сети плохо работают в некоторых задачах классификации. Возник некий кризис. Интерес к данной области стал резко падать, и примерно на 15 лет нейронные сети были едва ли не забыты, а внимание, в том числе и средства, были в основном переключены на развитие неймановских компьютерных технологий, символичный искусственный интеллект и моделирование рассуждений. Прошли годы, но эти методы с детерминированными алгоритмами не оправдали возлагаемых на них надежд.

Новые надежды

В.А. Демин: Выход из кризиса искусственных нейронных сетей подсказал российский ученый Александр Иванович Галушкин: он одним из первых опубликовал метод обратного распространения ошибки в нейронных сетях. Это эффективный метод обучения — изменение или перекалибровка силы связей между нейронами по направлению от выходного слоя нейронов к входному за счет сравнения получаемого отклика всей сети (перцептрона) с ожидаемым.

Это и еще одно открытие для сетей с обратными связями способствовали тому, что искусственные нейронные сети с 1980-х гг. и до нынешнего дня вновь перешли в стадию бурного развития, а в 2000-е гг. сюда подключились и технологии. Это и нано-, и биотехнологии, которые позволили изучать структуру мозга, его функциональную активность во всех микроскопических деталях, а также нейрокогнитивные технологии, позволяющие исследовать то же самое на макроскопическом уровне. В России подобные методы стали появляться в исследовательских лабораториях во второй половине 2000-х гг. В 2009 г. директор НИЦ «Курчатовский институт» М.В. Ковальчук создал специальное подразделение института — Курчатовский НБИКС-центр, в котором были собраны всеядно мощнейшие научные и технологические установки для исследований, начиная практически от всех видов микроскопов и заканчивая литографическими машинами, синхротронными и нейтронными станциями. Данное подразделение воплотило в себе зримый пример масштабной реализации идеи конвергенции нано-, био-, информационных, когнитивных и социогуманитарных наук и технологий. Эта лаборатория — одна из немногих в мире, в которой присутствуют почти все составляющие — от инструментальных до интеллектуальных — для развития многих междисциплинарных направлений, включая нейрокогнитивные науки.

Изучение мозга, с одной стороны, необходимо для лечения нейродегенеративных заболеваний — таких как болезни Альцгеймера, Паркинсона, боковой амиотрофической склероз и т.п. С другой стороны, мы получаем возможность смоделировать работу мозга на уровне отдельных нейронов и их сетей и переложить эти знания уже на искусственные системы. Это, собственно, и предопределило развитие работ над искусственным интеллектом в наше время.

М.С. Бурцев: Работы в нашем центре, привлекающие нейронауки для исследования принципов создания искусственного интеллекта, очень актуальны и с точки зрения международной науки, где все проекты, связанные с мозгом, выходят на первый план. Например, в рамках европейской грантовой программы «Горизонт-2020» выделяются два флагманских проекта: первый из них связан с исследованием и моделированием на суперкомпьютере мозга человека — *Human Brain Project*, а второй с исследованием графена. Есть и аналогичный американский проект, но он больше ориентирован на исследование структуры мозга и функциональных связей между нейронами.



многое знаем о том, как изменяются связи между нейронами, но как учится целый организм, для нас до сих пор остается тайной.

Инфраструктура для искусственного мозга

— **Какая работа в этом направлении ведется непосредственно в Курчатовском институте?**

В.А. Демин: В Курчатовском институте в последние годы под руководством М.В. Ковальчука в НБИКС-центре создана вся инфраструктура для исследований мозга как в макроскопическом, так и в микроскопическом масштабе. На макроскопическом уровне — это МРТ, фМРТ, ПЭТ-томография, электроэнцефалография и появляющиеся в настоящее время ее подвиды. Ведется изучение мозга и на уровне отдельных нейронов и их популяций — с помощью флуоресцентной и других типов оптической микроскопии. Данные методы включают в себя как исследования *in vitro*, когда животное обучается, в активных нейронах экспрессируются различные белки, после чего мозг извлекается и исследуется под микроскопом, так и методы изучения работы живого мозга *in vivo*.

Последние включают в себя неинвазивные (в смысле проникновения в мозг) методы, когда мы только «вырезаем» окошко в черепе лабораторного животного и наблюдаем через лазерный микроскоп за активностью отдельных нейронов. Мы развиваем также современные инвазивные методы оптогенетики, когда в мозг вводится оптоволокно, заточенное настолько остро, что на конце может иметь размер вплоть до отдельного нейрона и меньше, и регистрируется или даже стимулируется светом активность одного или нескольких отдельных нейронов. Для стимулирования активности нейрона животное должно быть генно-модифицированным, чтобы в клетках мозга вырабатывались белки, способные реагировать на поступающий через волокно свет. Кроме того, генно-рекомбинантные животные могут содержать флуоресцентные белки, которые легко регистрировать по их свечению в ответ на лазерное излучение. В лаборатории нейрофизиологии и когнитивных наук НБИКС-центра используют оба типа генно-модифицированных мышей.

— **Вы работаете еще и с культурами живых нейронов, изучаете механизмы их действия...**

М.С. Бурцев: В нашей лаборатории мы сочетаем экспериментальные и теоретические подходы для того, чтобы понять основные принципы работы нервной системы на клеточном уровне и использовать их для разработки искусственных когнитивных систем. Что бы мы хотели в идеале от экспериментов? Так как мы сегодня уже понимаем, что наше поведение управляется распределенными сетями миллионов нейронов, мы бы хотели видеть все эти нейроны, то, как они детерминируют конкретное поведение. Но увидеть это очень сложно



— **Какие у каждого из проектов преимущества и недостатки?**

М.С. Бурцев: Минус американского подхода в том, что не задана четко конечная цель, в двух словах ее можно сформулировать так: «Мы хотим детально узнать, как устроен мозг, получим данные, потом разберемся». В европейском проекте другой подход: «С одной стороны, мы тоже хотим все узнать. Но, с другой стороны, мы работаем над созданием компьютерной модели мозга — это будет не просто модель, а база данных, в которой будут храниться все наши знания о том, как мозг работает». То есть по этой логике в конце концов такая модель начнет чуть ли не мыслить, и, используя ее, можно будет перенести какие-то когнитивные принципы на роботов. Также, например, можно будет тестировать лекарства на модели, а не на реальных людях. Проблема здесь в том, что после того, как мы «соберем» весь мозг из нейронов, учитывая наши сегодняшние знания, он с большой долей вероятности не заработает. При этом, скорее всего, будет непонятно, в каком месте у нас проблема. При всех плюсах обоих вариантов очевидно, что они очень трудозатратные, и в принципе непонятно, сколько времени надо на их реализацию. Самое же главное, что оба подхода подразумевают некий качественный скачок в нашем понимании работы мозга. Но что за скачок и на каком этапе исследований — неясно. Мы

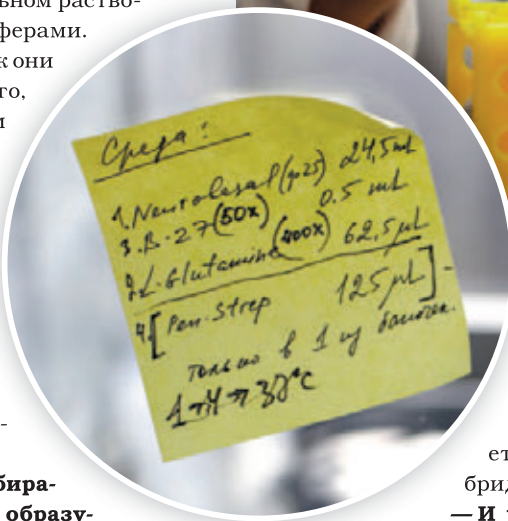
потому, что мозг имеет трехмерную структуру. Локализовать каждый нейрон? Мы, в принципе, это можем сделать, но не в живом мозге. Мы можем увидеть каждую клетку и связи между ними. Но мы ведь исследуем не просто мозг сам по себе, а то, как в нем зарождается поведение. Если представить идеальный экспериментальный метод, то мы бы хотели видеть, как животное обучается, как проявляет свои интеллектуальные способности, и одновременно — какие изменения происходят в сетях нейронов его мозга.

Как увидеть нейронную сеть целиком? Для этого можно извлечь из мозга живые клетки, высадить их в пробирку. Если это сделать, сеть нейронов начинает расти, устанавливаются связи, образовывается нейронная сеть, которая проявляет спонтанную активность. Нейроны в пробирке живут не по отдельности, а начинают друг с другом взаимодействовать, потому что «не знают», что их вынули из мозга. Они продолжают делать то, что в них заложено генетической программой. Обычно клетки объединяются в группы и плавают в питательном растворе в виде шаров, называемых нейросферами.

Их не очень удобно исследовать, так как они все время передвигаются, кроме того, они трехмерные. Но если мы покроем дно чашки специальным составом, то клетки к нему «прилипнут»: они могут передвигаться по поверхности, но не могут оторваться и образовать нейросферы. Тогда, поместив чашку с клетками под микроскоп, мы сможем увидеть всю сеть, в которой обычно десятки или сотни тысяч клеток. Мы можем встроить в них микроэлектроды и зарегистрировать электрическую активность.

— Но ведь если обычно клетки собираются в нейросферу, то на дне чашки образуется «нейроплоскость». И там будет всего лишь взаимодействие в рамках какой-то смоделированной системы. Насколько то, что мы увидим, будет отражать действительность?

М.С. Бурцев: Мы не знаем точно, будут ли они воспроизводить то, что делают в мозге. Насколько это относится к реальной деятельности мозга? И как это связано именно с обучением, которое мы хотим понять? В идеальной модели мы должны видеть и весь мозг, и поведение. В культуре нервных клеток в пробирке мы видим весь «мозг», но поведения нет никакого. Можем ли мы этой культуре придать какое-то поведение? Мы как раз и занимаемся тем, что пытаемся добавить в эту экспериментальную биологическую модель поведение, стараясь соединить культуру нейронов с внешней средой — реальной или виртуальной — при помощи некоторого «тела». В нашем случае — работа. У него есть сенсоры, которые позволяют чувствовать окружающий мир. Сигналы от сенсоров при помощи электродов транслируются в культуру, позволяя ей «увидеть» то, что видит робот. И в обратную сторону: активность культуры



нейронов преобразуется в команды для робота. Так у нас получается робот, который управляется живыми нейронами. Такой гибрид называется нейроанимат или нейрогибридная система.

— И у вас уже есть действующая модель такого нейроанимата?

М.С. Бурцев: У нас есть культура с нейронами, с которой мы можем взаимодействовать, регистрируя активность клеток и стимулируя их. И есть робот. Но чтобы у нас была готовая система, нужно соединить одно с другим. Над этой частью, которая их соединяет, мы сейчас и работаем.

В.А. Демин: Есть интересный промежуточный результат. Когда на дно лабораторной чашки со специальной средой высаживают стволовые нейрональные клетки, они начинают расти и объединяться связями посредством синапсов. Когда уже через месяц эта сеть вырастает, она начинает проявлять собственную активность как целое. Возникает синхронная работа отдельных нейронов, синхронное возбуждение — так называемая пачечная активность. Через определенные промежутки времени — такты — одновременно появляются электрические сигналы на каждой из связанных друг с другом клеток, т.е. живая нейронная сеть начинает развиваться как единое целое, что говорит о ее самоорганизации. Пока не ясно в деталях, как это происходит.

От электронов к нейронам

— Каковы основные преимущества нейронных сетей перед традиционной компьютерной архитектурой?

В.А. Демин: Первое: обработка, запись и хранение информации производятся в одном месте, в одних и тех же структурах — в нейронах. Это позволяет нам производить масштабные параллельные вычисления. В классической архитектуре процессор должен постоянно обращаться к памяти, а здесь мы можем одновременно и извлекать данные, и производить вычисления с ними — поскольку это происходит в одном и том же месте, параллельно. Второе: нейросети весьма устойчивы к помехам на входах и даже к разрушениям их отдельных частей за счет изменения силы связей и перекоммутации сигналов через другие нейроны. Это же свойство позволяет создавать устойчивые и надежные нейросистемы из ненадежных элементов, имеющих значительный разброс параметров. Третье: способность к обучению. Когда вы предъявляете некую обучающую выборку объектов, закодированных комбинациями входных сигналов, нейронной системе, она обучается. Формируются определенные силы или веса связей между нейронами, и за счет изменений этих весов формируется память. Затем предъявляется уже тест, который не присутствовал в обучающей выборке, — система должна отреагировать на этот входной сигнал в соответствии с проведенным обучением. Такой метод называется обучением с учителем, потому что внешний агент — учитель — должен предъявить системе обучающую выборку.

— Как именно реагирует система после обучения?

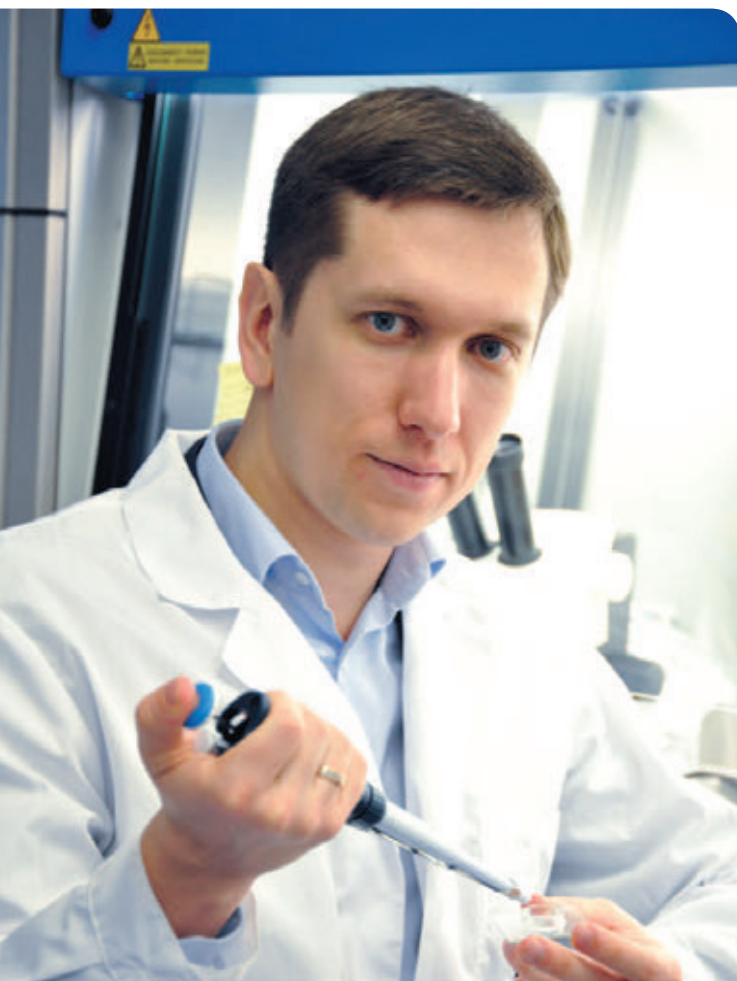
В.А. Демин: Приведу пример. Классические задачи, которые уже сейчас решаются во многих компьютерных системах на основе программируемых искусственных нейронных сетей, — задачи распознавания образов, например букв. У каждого человека свой почерк: наклон букв, непрерывность или дискретность написания элементов и т.п. Задача состоит в том, чтобы распознать одни и те же буквы, написанные разными стилями. Когда мы предъявляем нейросети, допустим, тысячу вариантов написания буквы «А», то уже с большой вероятностью тысячу первый вариант эта сеть распознает как букву «А». Такие программно реализуемые искусственные нейронные сети прекрасно подходят для конкретных специфических задач, например по адаптивному управлению, прогнозированию, аппроксимации данных, распознаванию и классификации образов, причем самых различных — зрительных, звуковых, тактильных и т.д. Нужно лишь перевести эти образы в комбинации сигналов, подаваемые на вход нейронной сети.

— Означает ли это, что удалось найти аналог синапсу, благодаря которому, собственно, и происходит обучение?

В.А. Демин: То, о чем я говорил выше — реализация того или иного типа математической нейронной сети в виде программы на обычном неймановском компьютере. Именно поэтому такие программы работают довольно медленно, ведь в данном случае мы не используем



основное преимущество нейросети — параллелизм. Поэтому в последние годы с развитием технологий наметился другой подход к созданию нейроморфной сети — аппаратная реализация. Для этого нужно смоделировать в материальных элементах сети как минимум два существенных свойства живых нейронных клеток: пластичность синапсов, то есть способность изменять силу связи между клетками за счет величины или частоты протекания сигнала, и «пороговость» нейрона, т.е. его возбуждение только при превышении суммой входящих сигналов некоторой пороговой величины. Данные свойства могут быть смоделированы, хотя бы частично,



Справка

Вячеслав Александрович Демин — заместитель директора по научной работе Курчатовского НБИКС-центра.

- ✓ Родился в Сарове. В 2007 г. окончил физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова. В 2008 г. получил степень кандидата физико-математических наук.
- ✓ Сфера научных интересов: искусственный интеллект, адаптивные нейроморфные сети на мемристорах, транспорт наночастиц в живых организмах, физика низкоразмерных структур.
- ✓ Автор более 15 научных публикаций.

на основе, например, мемристоров, которые были экспериментально открыты только в 2008 г. Мемристоры — это резисторы с памятью, *memory resistor*. Здесь принцип очень простой. Это двухполюсник, который под действием напряжения, обычно выше некоего порога, может менять свое сопротивление, причем изменение тем больше, чем больший электрический заряд через него прошел. Ключевая характеристика такого элемента — наличие петли гистерезиса на вольт-амперных характеристиках. Это свидетельствует о том, что мемристор может «помнить» свои состояния: он остается в проводящем или непроводящем состоянии даже после снятия напряжения.

Я покажу, как происходит переключение мемристора из одного состояния в другое на примере мемристивного устройства из диоксида титана. Такое устройство представляет собой двуслойную гетероструктуру — непроводящий слой TiO_2 и следующий за ним слой TiO_{2x} с хорошей проводимостью, т.е. TiO_2 , легированный вакансиями кислорода, которые обладают положительным зарядом. В результате их дрейфа под действием напряжения слой TiO_2 насыщается вакансиями и становится проводящим, т.е. вся структура переходит в проводящее состояние. Если убрать напряжение, то структура, естественно, остается в том же физическом состоянии, в котором была непосредственно до этого. Зависимость сопротивления от протекшего через него заряда — основное свойство мемристора. Это и есть реализация сигнала «в железе».

— В Курчатовском институте такая работа тоже ведется?

В.А. Демин: Да. У нас ведутся работы с неорганическими материалами для мемристоров именно на диоксиде титана. Это соединение признается многими исследовательскими группами как один из наиболее перспективных неорганических материалов для мемристоров. *Hewlett-Packard* сейчас пытается реализовать на них память, совмещенную с процессором. В свою очередь, мы планируем делать именно нейроморфные системы на этой основе, т.е. нейронные компьютеры. И для этого у нас тоже все есть: и литографическая зона, и другое необходимое технологическое и измерительное оборудование, кадровый и методический потенциал.

Кроме того, в кооперации с ведущим ученым по данному направлению В.В. Ерохиным из Института материалов для электроники и магнетизма (Парма, Италия), мы разрабатываем и органические мемристоры на основе полианилина — известного проводящего полимера. В отличие от неорганики на основе органических материалов можно создавать так называемые стохастические нейроморфные трехмерные сети, в которых отдельные микромемристоры, образуемые, например, пересечениями волокон полианилина, соединены друг с другом в случайном порядке, т.е. примерно так, как наблюдается в нашем мозге на микромасштабе.

В органическом мемристоре данного типа переключение происходит за счет электрохимической реакции в полианилине.

— Все это очень интересно. Но обывателя в гораздо большей степени интересуют бытовые вопросы, чем высокие материи. Что новая технология может предложить обычному человеку?

В.А. Демин: Аппаратная реализация искусственных нейронных сетей значительно ускорит их производительность за счет использования истинного параллелизма обработки, чтения и записи информации. Такая технология фактически создаст новые продуктовые ниши интеллектуальных устройств практически во всех сферах человеческой деятельности. Именно поэтому усилия целых стран и частных промышленных гигантов, таких как *Google*, *IBM*, *HP* и др., направлены на создание аппаратных нейроподобных систем. Кардинальные изменения могут произойти в медицине, фармацевтике, в тяжелой и легкой промышленности, в авиации и космическом приборостроении, в электронной отрасли и т.д. Конечно, основное применение таких систем предполагается в робототехнике — от бытовых устройств до техногенных, например при устранении последствий различных аварий — когда нужен робот, способный самостоятельно разобраться на месте и принять решение в зависимости от внешних обстоятельств. Огромный интерес представляют также нейроморфные сети для электронных бытовых приложений, например «умные» помощники для нас. Представьте, что будет создано устройство, с которым вы сможете разговаривать почти как с другом или личным референтом, который знает ваши привычки, во сколько вы встаете, что любите на завтрак, какие фильмы или стихи предпочитаете, когда вам нужно принять витамины или лекарства и т.п., при этом используя все эти знания, чтобы вовремя посоветовать, напомнить, заказать что-то для вас через Интернет и т.д.

— Немного пугает такая перспектива.

В.А. Демин: Немного. Но я думаю, что мир пойдет по этому пути. Пока нет никаких экспериментальных или теоретических оснований полагать, что интеллектуальные устройства на основе нейроморфных сетей будут обладать сознанием или искренне переживать эмоции. В то же время доработка их до бессознательных устройств, обладающих способностью к рассуждению в указанном выше смысле, представляется мне разрешимой задачей. Конечно, в первую очередь необходимо еще разработать правильную архитектуру, продемонстрировать успешность обучения, стабильность и т.д. Как только эти стадии по формированию прототипа будут пройдены, на мой взгляд, потребуются лет 10–15, чтобы развить это в массовую инженерную технологию.

М.С. Бурцев: Обычно работа с искусственным интеллектом рассматривают как некоего помощника человека, который может что-то делать быстрее или же может заменить человека в делах, кажущихся неинтересными, сложными, опасными, освободить нас от каких-то рутинных вещей. Однако есть другая неочевидная на первый взгляд сторона исследований в области искусственного интеллекта. Она связана с тем, что это не только



! Справка

Михаил Сергеевич Бурцев — заведующий лабораторией нейроинтеллекта и нейроморфных систем Курчатовского НБИКС-центра. Специалист по эволюционной кибернетике.

- ✓ Родился в Ульяновске. В 2000 г. окончил Московский энергетический институт со степенью магистра по специальности техники и технологии. В 2005 г. получил степень кандидата физико-математических наук.
- ✓ Сфера научных интересов: искусственная жизнь, моделирование эволюционных процессов, эволюция кооперации, рост сложности в природе, проблема адаптивности обучения, селекционные теории обучения, эпистемология и методология науки.
- ✓ Автор более 50 научных публикаций.

прикладное, но и фундаментальное направление исследований, итогом которых станет понимание сущности сознания, мозга и природы человека. Мы можем говорить, что мы знаем, как человек мыслит. Но пока мы не смогли воспроизвести феномен мышления в виде формальной системы, программы или устройства, наше знание неполно. Искусственный интеллект — это проверка на практике всех наших теорий о том, что представляет собой человек. Если мы знаем, как работает наш интеллект, это значит, что мы можем его воспроизвести. ■

Подготовил Виктор Фридман



ГЛАЗ

как у орла



Работа современного микрохирурга — сложный технологический процесс. В особенности это касается такой революционной области, как офтальмохирургия, где врач выступает еще и в роли инженера, управляющего фемтосекундным лазером. Об этом и многом другом мы беседуем с главным врачом ФГБУ «Межотраслевой научно-технический комплекс «Микрохирургия глаза» им. академика С.Н. Федорова» Николаем Петровичем Соболевым

Операция по удалению катаракты сегодня может выглядеть так: хирург с помощью лазера вскрывает переднюю стенку хрусталика — капсулу, разделяет ее на мелкие фрагменты, как пирог, и формирует в передней стенке глаза микроскопический тоннель в полтора миллиметра шириной — настолько тонкий, что его трудно заметить без специальных приборов и устройств. Пациент при этом вообще ничего не чувствует. Никаких инструментов, никакой крови и боли — операция происходит как некое магическое действие всего за три минуты. В следующие пять минут хирургу остается при помощи специального тончайшего наконечника через тот же тоннель удалить из глаза, как пылесосом, разделенный на части хрусталик, а затем имплантировать на его место хрусталик искусственный.

После этого пациент встает с фактически восстановленным глазом и навсегда забывает о прежней проблеме. Канал, через который проводилось воздействие, закрывается абсолютно бесследно, как будто ничего и не было. Уже через полчаса обнаружить его невозможно. Обыкновенная фантастика.

— Святославу Николаевичу Федорову, имя которого носит ваш институт, в 2013 г. исполнилось бы 85 лет, и он вполне мог бы дожить до этой даты, не случись того трагического происшествия летом 2000 г. Вы его ученик?

— Все, кто работает в этой клинике, — ученики Святослава Николаевича. Да, я из поколения тех, кто работал с ним бок о бок и хорошо его знал. Его энтузиазм касался работы всех и каждого, поэтому он был нашим безусловным лидером. Могу считать его и своим учителем тоже.

— Святослав Федоров был очень практической личностью: его называли человеком результата, человеком дела. У него было множество революционных разработок, а одной из его главных идей было распространение этих разработок по всей стране, чтобы каждый человек, где бы он ни жил, мог прийти в ближайшую больницу и прооперироваться по поводу того или иного заболевания глаз. Я знаю, что вам удастся осуществлять эту идею, — у вас существует множество филиалов, которые сейчас отмечают свой юбилей.

— Святослав Николаевич стал первым, кто стал внедрять на территории России технологии имплантации искусственного хрусталика. Он был новатором в этой области, а потому встречал ожесточенное сопротивление со стороны многих именитых коллег. Сподвижников у него вначале было очень немного, некоторые из них у нас до сих пор работают, в частности те люди, которые вместе с ним предлагали первые модели хрусталика. Деятельность Федорова вообще вплотную связана с возможностью получить хорошее зрение в результате операции. Это касается практически каждого человека, который сегодня оперируется у нас в связи с катарактой. Если бы наши пациенты не имели такого хрусталика, они могли бы видеть исключительно с очень толстыми очками и не всегда хорошо. Так вот, когда Федоров стал активно внедрять идеи микрохирургии, он дополнительно ввел множество элементов, без которых современная хирургия не могла бы существовать. Это, например, операции под микроскопом. Без них не было бы микрохирургии вообще, не только офтальмологической.

Именно Федоров впервые сделал операции «массовым продуктом». Мы хорошо помним время, когда в институт стояла очередь за несколько километров, чтобы сделать так называемые насечки — операции, позволяющие людям избавиться от очков. Прошло время, технологии изменились, но мы по-прежнему делаем массовые операции. Гений Федорова позволил создать такую систему, которая распространяет свои возможности на всю страну. Это стало возможным после того, как он обратился в Совет Министров СССР, пообщался с Николаем Ивановичем Рыжковым, зарядил его своей энергией, энтузиазмом и смог добиться результата.

— Я слышала, что Рыжков, послушав Федорова, сказал: «Зачем вкладывать деньги в один институт? Давайте создадим целую сеть!»

— Да, действительно, Федоров пришел с идеей одного института, но достаточно большого и содержательного, а Рыжков выступил со встречным предложением — создать сеть филиалов по всей стране, потому что был уверен: при таком энтузиазме Федоров справится с любым объемом работы. Помню, как Федоров пришел окрыленный и объявил всему коллективу о новом этапе нашей жизни. Были выбраны города-миллионники, наиболее значимые регионы, где было решено строить такие



Искусственные радужки глаза



Работа офтальмохирурга под микроскопом (слева); этап причаливания при работе с фемтосекундным лазером (справа)

центры. На сегодня у нас есть десять филиалов от Санкт-Петербурга до Хабаровска, и фактически мы покрываем своей сетью всю страну. В 2013–2014 гг. наши филиалы отмечают свое 25-летие. У каждого из них есть свои мини-филиалы, что дает возможность пациенту не добираться до клиники из глубинки, издалека. Клиники сами приходят в регионы.

— **То есть у вас гора идет к Магомету, а не наоборот. Что же это, передвижные клиники?**

— Да, и не только. У нас есть клиники в северных регионах, где наши филиалы имеют свои кабинеты по отбору пациентов, по долечиванию и по проведению наиболее типовых видов хирургических вмешательств. Конечно, для более сложных, высокотехнологичных операций мы приглашаем людей в свои филиалы, но далеко не всегда. Выгода здесь очевидна. Сегодня стоимость операции меньше, чем переезд из Владивостока в Москву. Людям нередко легче добраться до Хабаровска и сделать операцию там.

— **А качество? У нас исторически принято считать, что в Москве лучше всего.**

— В нашей системе это не так. Технология абсолютно одинакова во всех филиалах, которые даже построены по одной технической схеме и одному проекту. Именно поэтому мы можем распространить технологию от появления идеи до внедрения в течение года-полтора, и это касается всех филиалов. Практически ни одна система в медицине не может работать настолько быстро и эффективно. Обычно от идеи до внедрения проходит от пяти до десяти лет.

— **Кто сегодня генерирует идеи?**

— Идеи возникают во многих местах — в крупных университетских клиниках как на Западе, так и у нас в стране, в том числе в нашей клинике и в ее филиалах.

— **Святослав Федоров был человеком, у которого новые революционные идеи в офтальмологии рождались постоянно. Ирэн Федорова рассказывает, что его идея конвейерных операций родилась на даче у друзей, когда их усадили за круглый стеклянный столик и предложили не ставить на него множество тарелок, а переставлять их от одного к другому — «как в Китае». Федорову это показалось невероятно интересным, он оживился и сказал, что ведь можно точно так же делать и операции: не толпиться, не нависать над больным, мешая друг другу, а работать всем вместе за круглым столом по принципу конвейера. Это гениальная идея: каждый видит стеклянный столик, но не каждый может эту идею использовать. Такие люди у вас не перевелись?**

— Нет, не перевелись. При этом мы понимаем: для того чтобы выучить грамотного, квалифицированного хирурга, надо много времени. Хорошим хирург может стать примерно через шесть-семь лет интенсивной практики.

— **А может и не стать никогда.**

— Совершенно верно. Тем не менее есть определенные сроки. Конвейер хорош еще и этим. На нем самые ответственные этапы операции может выполнять самый грамотный и универсальный хирург, какие-то рутинные этапы — специалисты, которые еще только набирают квалификацию. А повязку может наложить и медсестра. Я пришел сюда в 1987 г., когда меня приняли на работу в составе 12 человек, которые были выпускниками разных медицинских вузов. Через очень короткое время все мы начали оперировать самостоятельно: нас шаг за шагом допускали от самых простых до более сложных этапов операции. В результате мы научились их делать интенсивно, быстро и качественно. На сегодня многие наши



лидеры, которые стали руководителями, директорами филиалов, нередко сами генерируют различные идеи.

Одна из таких идей касается следующего. Сейчас дети нередко рождаются недоношенными и в этом случае имеют ряд проблем, в том числе связанных со зрением. Если глаз не развит полностью, то возникают сложные изменения, которые в будущем часто приводят такого ребенка к инвалидности. Недостаточно просто выходить в кювезе килограммовый плод, нужно еще его полностью реабилитировать. Для таких целей теперь работает целая сеть перинатальных центров, толчком к развитию которых стал наш калужский филиал. Там первыми пришли на помощь детям, имеющим офтальмологические проблемы и наладили собственную службу.

— Как это происходит?

— Наши доктора идут в перинатальные центры, осматривают недоношенных детей на ранних стадиях, когда родители еще не определили неприятности со зрением, а ребенок пока не может пожаловаться, выявляют эти проблемы, проводят хирургическое, лазерное или комбинированное лечение, восстанавливают глаз до работоспособного, и ребенок хорошо развивается, растет, иногда вообще не возникает никаких напоминаний о прошлых проблемах. Главное — вылечить вовремя. Есть золотое время, когда ребенку надо оказать помощь. Если это время упущено, помочь нельзя.

— Когда же нужно помогать? До года?

— Все зависит от степени ретинопатии, но обычно период значительно более короткий — исчисляется днями, иногда месяцами.

— Иначе говоря, новорожденного ребенка должен обязательно посмотреть специалист?

— Есть федеральная программа, в рамках которой всех недоношенных детей офтальмолог обязан осмотреть

сразу после рождения. Это важнейшая задача, иначе мы можем привести этого малыша к инвалидности. Государство обратило внимание на эту проблему: развивается целая сеть специальной помощи при перинатальных центрах, однако начал эту грандиозную работу именно наш калужский филиал. Если посмотреть статистику новорожденных детей с ретинопатиями, то лучшая сейчас как раз там. В Калужскую область едут лечить детей даже из соседних регионов. И таких примеров множество в разных местах.

— Я знаю, что вы тоже автор изобретения.

Его удалось внедрить?

— Да, удалось. Дело в том, что кроме стандартных методов лечения в офтальмологии мы занимаемся редкими заболеваниями, которые невозможно лечить в обычных региональных клиниках. Темой моей научной работы стала разработка способов реабилитации больных с аниридией — отсутствием радужки. Аниридия может быть как врожденной, так и возникшей в результате травмы. Представьте, что в высокоточном фотоаппарате не будет диафрагмы, а значит, не будет и возможности сделать хорошие кадры. Так и глаз человека без радужки не сможет дать качественного изображения. При этой болезни есть и еще целый ряд сопутствующих неприятностей, таких как переносимость яркого света, двоение, глаукома или косметический дефект, который для многих становится доминирующим: если человек выглядит неестественно, он имеет ряд ограничений в общении. Это колоссальная социальная проблема. Мы первыми в мире разработали искусственные радужки, которые можно успешно имплантировать в глаз. Эти радужки полностью повторяют по цвету и текстуре радужку парного глаза, оставшегося здоровым: мы его фотографируем и изготавливаем точную копию.

— Если он, этот здоровый глаз, есть.

— Да, если патология врожденная, то она часто бывает на обоих глазах. Тогда мы предлагаем пациенту (или его родителям, если речь идет о маленьком ребенке) самому решить, какой цвет глаз он предпочитает. Таким образом, мы подбираем цвет, текстуру, имплантируем радужку, и пациент обретает счастье быть красивым и хорошо видеть. Уверяю вас, редкие клиники в мире справляются с данной проблемой. К тому же это наше, отечественное производство: мы делаем радужки сами, и мы делаем их лучше, чем кто-либо в мире.

— Однако, как вы сами говорите, эта проблема касается немногих. В то же время сейчас ваш институт выступает с предложением внедрить в массовое здравоохранение новую технологию, которая может помочь миллионам людей.

— Да. Основная патология, приводящая в случае отсутствия адекватного лечения к слепоте, — катаракта, беда нашего времени. Катаракта — это помутнение одной из главных линз в глазу: если свет не проходит через линзу, то изображение получить невозможно. Катаракта — удел практически всех пожилых людей

и пациентов, переносящих разные рода травмы, а иногда это врожденная проблема. То есть спектр проблемы чрезвычайно широк — от новорожденных детей до лиц преклонного возраста.

— **Я слышала, что катаракта стремительно молодеет. Это так?**

— Да, экология не улучшается, количество травм, в том числе контузий, очень высоко. К тому же мы резко меняем экологию зрения, нагружаем глаза всяческими техническими устройствами — компьютерами, электронными книгами, разного рода излучениями, которые сказываются на нашем здоровье не позитивно.

— **Компьютеры, планшеты — все эти устройства заставляют держать зрительный орган в напряжении. Это касается и глаз человека, который много времени проводит за рулем.**

— Кроме того водитель, как и пассажир общественного транспорта, находится в состоянии вибрации, и это дополнительный фактор, который также приводит к раннему формированию катаракты.

— **Все это понятно. Но я правильно понимаю, что вы считаете, что к тому же результату ведут и СВЧ-печи, и мобильные телефоны, и вся прочая наша техника?**

— Уверен в этом. Разумеется, не за один раз работы с этими устройствами, а постепенно. Когда существует комплекс таких факторов, то катаракта стремительно молодеет. И действительно к нам все чаще обращаются пациенты 40-летнего возраста, что раньше было исключением. Нередко это сочетание разных факторов — скажем, близорукость плюс катаракта. Пациентов, которые нуждаются в хирургическом лечении по поводу катаракты, согласно нашим расчетам, в государстве примерно 1,2 млн человек в год. Если посчитать, сколько таких операций в России делается сегодня, то окажется, что это, по разным оценкам, от 350 тыс. до 500 тыс. Даже если взять оптимистичные цифры, они не удовлетворяют спрос более чем в половину.

Наша клиника делает очень большое количество операций. Только в московском офисе — свыше 20 тыс. операций катаракты в год. Каждый из наших филиалов ежегодно проводит около 10 тыс. таких вмешательств. Таким образом, в одной только системе наших клиник выполняется более 100 тыс. таких операций. Это

почти треть того, что делается во всей стране, но этого недостаточно. Недостаточность обусловлена рядом причин. Не хватает высококвалифицированных хирургов, население недостаточно информировано о том, что это можно сделать вовремя, с идеально высоким качеством, без рецидивов и осложнений. Не хватает хирургического оборудования. Но если вопрос с оборудованием решить можно, просто купив его, то вопрос с кадрами быстро не решается. Здесь требуются годы.

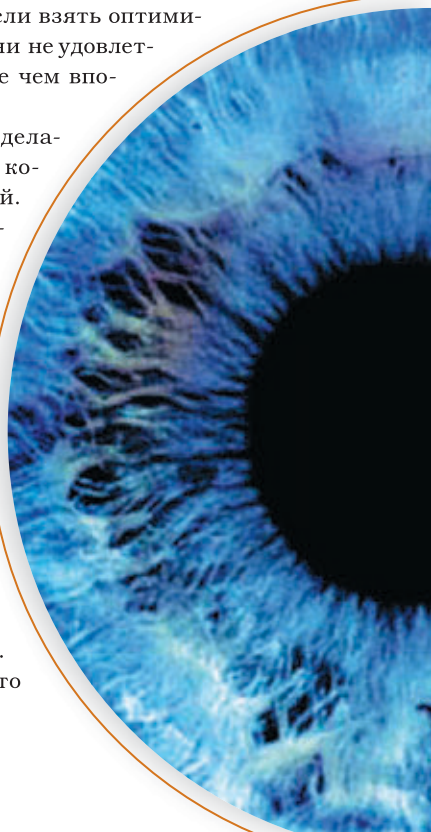
И приходят на помощь технологии. Они позволяют интенсифицировать труд хирурга. Последние годы стали поистине прорывными в этом направлении. На ответственных и очень точных этапах оперативного лечения мы стали применять автоматизированные приборы и лазерные устройства.

— **Речь идет о так называемых фемтолазерных технологиях?**

— Совершенно верно. Они произвели настоящую революцию в офтальмологии. Сейчас в мире существует несколько приборов, которые используют фемтолазерную энергию. В России есть два сертифицированных прибора, лучшие на данный момент, производства США и Германии. Сейчас ведется разработка аналогичного прибора в Институте лазерной физики в Троицке.

Используемые параметры прибора настолько малы, что обычному обывателю трудно понять величины. Времени воздействия на глаз — фемтосекунды. При этом прибор занимает малую площадь. Надо всего 3 x 4 м площади в операционной, чтобы массово выполнять такие манипуляции.

Интересно, что изначально эти устройства были предназначены для лечения больных с дальнозоркостью, близорукостью, астигматизмом. Теперь приборы с такими же лазерами, но другой конструкции и специфики,



Дистанционная работа лазера, этап разделения ядра хрусталика



стали помогать хирургам, оперирующим катаракту. Сегодня с помощью подобных лазеров можно пройти отдельные, но очень важные этапы операции: например, сделать высокоточные разрезы или, вернее, разделение ткани на уровне размера клеток. Это абсолютно бескровная и безболезненная технология. Ткань не разрезается, как всегда было во время операций, а раздвигается, как створки шкафа. Представьте, что нужно разорвать тоненькую капсулу хрусталика в несколько микронов толщиной, и сделать это по определенным параметрам, под увеличением микроскопа в 30 раз. Уверяю вас, эта работа более сложная, чем работа ювелира, и повторить, исправить ее нельзя — с первого раза все должно быть сделано идеально. Это очень сложно. И если рука хирурга, которая берется за такую работу, должна быть натренирована многолетней практикой, то лазеру такая учеба не нужна — он делает свою работу беспристрастно, идеально качественно, а главное — быстро.

Раньше хирурги использовали только инструменты и ультразвуковые приборы, а это приводило к большей зависимости от квалификации хирурга, попаданию лишней энергии в глаз, после чего ему требовалось больше времени на заживление. Сейчас с помощью лазеров достигнуты результаты, когда энергии в глаз попадает на порядок меньше, срок заживления сокращается, пациент не чувствует никакой боли и даже не испытывает неприятных ощущений. Это безопасно, потому что делается с математической точностью, и продолжительная реабилитация пациенту фактически не требуется, потому что травмы почти не было.

Недавно мы провели акцию, приуроченную к 85-летию академика С.Н. Федорова. Поехали к самым сложным больным в геронтологический центр, посмотрели пожилых пациентов и выбрали женщину в возрасте

96 лет с катарактой. Мы специально взяли непростого больного. Любой хирург скажет, что в таком возрасте существует масса трудных моментов, в связи с чем хирургия катаракты может быть осложнена. Кроме того, у пациентки была возможность сравнить: на другом глазу ей была проведена операция по прежней технологии десятилетием раньше. Она отметила, что ничего не чувствовала, но при этом стала хорошо видеть практически сразу после операции.

— Насколько я поняла, это был подарок. А как же все остальные? Им придется копить денюжки?

— Ясно, что такого рода высококачественные технологии не могут быть дешевыми и тем более бесплатными. Например, сам прибор стоит около 22 млн руб. Если операция проводится по этой технологии, то прибор сопрягается с глазом человека специальным одноразовым устройством, и оно тоже стоит недешево. Таким образом, цена операции складывается из цены прибора, устройства и работы персонала. Мы очень надеемся, что наше государство через систему государственных гарантий, систему обязательного медицинского страхования, понимая важность этой социальной проблемы, найдет возможность финансировать данные расходы за наших больных, потому что все они честные налогоплательщики. В таком случае мы сможем революционно увеличить количество операций и помочь миллионам людей. Персональное участие хирурга будет необходимо только в части операции, а другая часть будет выполняться в автоматическом режиме, но при этом на уровне лучших, продвинутых хирургов, каких в мире единицы. На текущий момент несколько клиник в Москве и часть наших филиалов готовы к такой работе.

Конечно, мы можем делать это на платной основе, что будет добавлять к цене операции около 35–40 тыс. руб.



Это немаленькие деньги, и не все могут себе такое позволить. При этом поверьте, что мы не кладем эти деньги себе в карман. Это — себестоимость операции. Здесь еще важно понимать, что нужные приборы появились только сегодня, завтра они будут дешевле и доступнее. И нужно вовремя освоить эту технологию, представить необходимость ее использования для всех нуждающихся.

— **Правильно ли я поняла, что не только сам человек, но даже организм не успевает понять, что с ним происходит?**

— Да, воздействие настолько быстрое, что даже ткань не реагирует на него, не ощущает его. Если, получая травму, скажем, в виде ножевого ранения, мы ощущаем боль и чувствуем последствия, то здесь нет ни боли, ни последствий, потому что воздействие моментальное. Через полтора часа после операции мы не найдем никаких следов этого вмешательства, даже если применим микроскоп.

— **Сложно даже назвать такое операцией. Выходит, вы обманули природу?**

— Совершенно верно. Прибор на сегодня способен делать три этапа операций. В дальнейшем его возможности будут наращиваться.

— **Таким образом можно оперировать любой случай катаракты, в том числе осложненный, скажем, макулодистрофию сетчатки, или только простые случаи?**

— Практически любую катаракту можно оперировать с помощью этого прибора. Более того, в ряде случаев это даже предпочтительнее, чем любые другие техники. Дело в том, что существуют специальные связи, на которых хрусталик подвешен внутри глаза, за счет чего в молодости может изменяться его кривизна. Эти связи нередко приобретают дефекты, в том числе с возрастом или из-за травм. И если хирурги выполняют операции вручную, то связи подвергаются большому стрессу. В любом случае это воздействие. Если речь идет о лазерных технологиях, то стресс фактически отсутствует. Связки интактны: в каком виде они были до операции, в таком же остаются и после. Поэтому в ряде случаев лазерная техника может добиться значительно более высоких результатов, чем самый квалифицированный хирург.

Есть и другие бесспорные плюсы: интерфейс, соединяющий лазер с пациентом, только одноразовый. Мы можем гарантировать, что это изделие может служить одному пациенту, — там есть специальные штрихкод и номер, и прибор просто не позволит повторно использовать этот интерфейс. Как следствие — безопасность, особенно важная сейчас, когда во всем мире существуют угрозы вирусных гепатитов и ВИЧ. Здесь подобные риски исключены.

Немаловажно и то, что во время такой операции пациент лежит свободно, как в кресле косметолога. Он ничем не обременен, мы его не удерживаем, не делаем никаких уколов. Только капаем в глаз капельки, которые не доставляют ему ни жжения, ни боли.

— **Не может ли случиться, что пациент испугается, дернет головой и все испортит?**

— Нет, этого не может быть. Интерфейс с помощью вакуума фиксируется на глазу, и если пациент пытается пошевелиться, то воздействие лазера прекращается. Защита от такого рода неприятностей предусмотрена внутри прибора. Хотя ни один пациент обычно не двигается, потому что практически ничего не чувствует.

— **Это технология внедренная, вы ее уже используете?**

— Да, но пока не по ОМС. Хотя рассчитываем, что в ближайшее время это получится. Сегодня мы можем оказать такую помощь всем нуждающимся в нашей стране. Это вполне в наших силах, если будут приобретены такие приборы. Масштабная социальная программа, которую могло бы осуществлять государство, способна стать моментом прозрения для россиян в буквальном смысле слова.

— **Как чиновники реагируют на ваш призыв?**

— Конечно, государство у нас плановое, и бюджет формируется на год вперед. Поэтому мы не надеялись, что, когда в середине 2013 г. у нас появилась такая возможность, будут сразу найдены дополнительные средства для этих целей. Но сегодня мы на наших клинических конференциях, в печати, по телевидению стараемся донести мысль о возможности использования такой технологии. Мы очень надеемся, что нас услышат на разных уровнях и позволят применять ее в интересах наших пациентов. Конечно, это потребует некоторых дополнительных затрат, но если подумать и посчитать, сколько пациентов в результате выздоровеют, то окажется, что это намного дешевле, чем выплачивать им пенсии по инвалидности, причем выплаты придется осуществлять пожизненно, а операцию надо сделать один раз. Поэтому мы думаем, что это решаемый вопрос, ведь наше государство идет навстречу пациентам.



Система ОМС прогрессивно развивается, хотя есть и проблемы: тарифы за операции растут не так быстро, как хотелось бы. При этом тарифы на одну и ту же операцию крайне разнятся. Например, в Чебоксарах и Санкт-Петербурге они отличаются в три раза.

— **Не говоря о Москве.**

— Наоборот, в Москве один из худших тарифов. Если мы оперируем катаракту в Санкт-Петербурге, то получаем за свой труд в три раза больше, чем за точно такую же в столице. В этом есть огромный тормоз для развития технологий. Конечно, тариф на одну и ту же технологию в государстве должен быть фиксированным. Пока это не так, нам трудно быстро развиваться. Но мы надеемся, что ситуация изменится, тарифы повысятся и встанут на один уровень, и тогда мы сможем повсеместно оказывать людям одинаково качественную помощь.

— **Какие хрусталики вы имплантируете?**

— Мы отбираем лучшие на сегодня. Но они обладают разными свойствами. Мы не рассматриваем хрусталики, предполагающие большой разрез, используем только эластичные, которые могут быть помещены в глаз при помощи специального автоматического устройства — инжектора. Они проходят через тот же мини-прокол, через который мы делаем операцию.

Сами хрусталики, как линзы фотоаппарата, могут быть разными. Есть «мыльница» с одной линзой, но она тоже делает фотографии, а есть зеркальный прибор с асферичной оптикой и специальными фильтрами, которые отсекают ультрафиолет, неблагоприятные синие лучи, и качество снимка становится лучше. Так и линзы — они бывают и асферичные, и со специальными фильтрами, и с определенными новыми свойствами, такими как мультифокальность, — это то, к чему мы привыкли в юности, когда можем вдали и вблизи смотреть без очков. Такие хрусталики сейчас тоже существуют.

Однако понятно, что простой фотоаппарат от зеркального по цене отличается драматически. Точно так же и хрусталики.

Мы в своей клинике имеем весь спектр хрусталиков, и наши пациенты располагают возможностью выбрать от самых дорогих и экзотических до наиболее бюджетных. Массовые и самые востребованные — это высококачественные хрусталики с фильтрами, вполне доступные нашим пациентам в системе ОМС.

— **А какие фирмы их делают?**

— Хрусталики выпускаются разными компаниями. Импортные производятся миллионными тиражами, но отечественные тоже имеют очень высокое качество. В частности, научно-производственное предприятие «Репер-НН» в Нижнем Новгороде выпускает хрусталики мирового класса.

У нас в институте есть экспериментально-техническое производство хрусталиков. Мы не ставим перед собой задачу сделать хрусталики для всего мира, но мы отработаем самые передовые технологии их изготовления, в том числе и индивидуальных хрусталиков для сложных случаев, когда невозможно применить типовые; делаем хрусталики и с новыми свойствами.

Наше производство — одно из самых передовых в мире, оно оснащено совершенными станками для точения хрусталиков. Это наше будущее. Глаз с искусственным хрусталиком, если можно так сказать, обладает даже более высоким качеством, чем глаз здорового человека: он часто способен видеть лучше, чем обычный зрительный орган. Когда-то Святослав Николаевич Федоров делал линзу в Чебоксарах практически на коленке, а сейчас условия принципиально изменились. Думаю, он был бы счастлив, увидев работу своих учеников. ■

Беседовала Наталья Лескова

! Справка

- ✓ **Николай Петрович Соболев** — автор оригинальных патентов на изобретения и полезные модели, в том числе уникальной двухкомпонентной искусственной радужки.
- ✓ В 2010 г. назначен на должность главного врача ФГБУ МНТК «Микрохирургия глаза».
- ✓ Занимая административную должность, успешно совмещает ее с хирургической практикой, выступая новатором в освоении новейших методик хирургии катаракты и имплантологии.
- ✓ Член Российского, Европейского и Американского обществ катарактальных и рефракционных хирургов (RSCRS, ESCRS, ASCRS).
- ✓ Неоднократно выступал с докладами на ведущих офтальмологических форумах и участвовал в проведении показательных операций в Российской Федерации и за рубежом.





**ЧЕЛОВЕК,
ПОЙМАВШИЙ ВЕТЕР**

ИДЕИ, МЕНЯЮЩИЕ МИР



РОССИЯ 24

очевидное
невероятное



ежемесячный научно-информационный журнал

SCIENTIFIC
AMERICAN

В мире науки

Бертран Пикар — представитель знаменитой династии изобретателей и путешественников. Он внук физика и покорителя стратосферы Огюста Пикара и сын океанолога Жака Пикара. Как и его предки, представитель третьего поколения династии посвятил большую часть жизни изучению пределов возможного и организации сложных проектов на стыке передовой науки и путешествий. Последние десять лет все его время посвящено совершенствованию конструкции экологически чистого и энергоэффективного самолета Solar Impulse на солнечных батареях. Через год господин Пикар обещает облететь на нем вокруг Земли без капли топлива. Именно этому красивому проекту и красивому человеку был посвящен первый в этом году выпуск программы «Идеи, меняющие мир», совместного проекта телекомпании «Очевидное — невероятное» и телеканала «Россия 24», автор и ведущая — Эвелина Закамская.

Проект журналов «В мире науки» и Scientific American в России

Бертран Пикар живет и работает в одном из самых живописных и спокойных мест мира. Это Лозанна, берег Женевского озера в обрамлении Швейцарских Альп. Принимая съемочную группу в своем кабинете, господин Пикар — как все люди его профессии — излучал благополучие и внутреннее спокойствие. Он профессиональный психотерапевт и психиатр, практикующий врач, владеет гипнозом и, конечно, умеет управлять собственными эмоциями. Однако его внешняя жизнь всегда была далека от обывательского спокойствия. Именно экипажу Бертрана Пикара в 1999 г. удалось впервые облететь на специально созданном для экстремальных нагрузок воздушном шаре вокруг Земли, проведя почти три недели в герметичной капсуле. За 40 лет в воздухе он установил десятки рекордов, рисковал жизнью, терпел неудачи и испытывал триумфы. Он не аэродинамик и не инженер, но умеет вдохновлять ученых и конструкторов на новые изобретения. Легендарное имя, заразительная вера в инновации и сила харизмы Пикара вселяют оптимизм в спонсоров, позволяя ему собирать под свое легендарное имя десятки миллионов долларов.

Солнце — двигатель прогресса

«О нашей миссии в Америке вышло множество сюжетов в прессе по всему миру. Мы посчитали — это девять миллиардов потенциальных контактов с аудиторией. Девять миллиардов всего за три месяца!». Бертран Пикар с увлечением рассказывает автору и ведущей программы «Идеи, меняющие мир» Эвелине Закамской о главном событии минувшего года и огромных возможностях, которые открывает его проект для компаний-партнеров. В мае-июне 2013 г. созданный его командой самолет на солнечных батареях *Solar Impulse* впервые совершил трансконтинентальный перелет через Северную Америку, используя только энергию Солнца. Путь с промежуточными остановками занял несколько недель и кроме внимания прессы спровоцировал шквал звонков в службу 911. Многие обыватели в глубинке приняли детище Пикара за НЛО — настолько необычными показалась многим его внешний вид и поведение в небе.

Это не единственный в истории «солнечный» самолет, да и сейчас есть энтузиасты, которые параллельно занимаются похожими проектами (например, *Solar Flight* в Германии). Но Бертран Пикар и возглавляемая им команда впервые замахнулись на решение главной проблемы всех подобных летательных аппаратов — необходимости совершать посадку с наступлением темноты. Анонсируя свой проект широкой общественности в 2003 г., он поставил целью сделать «Солнечный импульс» независимым от смены дня и ночи. Поставленная задача предполагала совершенно особые требования к конструкции самолета. Чтобы продолжать полет после заката Солнца, требовались аккумуляторы (а это лишней вес) и огромная площадь солнечных батарей для создания достаточного запаса электричества в течение дня. Около 12 тыс. солнечных элементов приходится

располагать большей частью на крыльях. А если говорить точнее, то батареи фактически и составляют «тело» крыла, поскольку, уменьшая вес конструкции, приходится выгадывать каждый лишний грамм. В случае с самолетом Пикара их площадь достигла около 200 кв.м, а размах оказался сопоставим с параметрами пассажирских лайнеров (60 м).

Платой за автономность летательного аппарата стали необходимость использовать сверхлегкие углеродные материалы для рамы и сопутствующая хрупкость всей конструкции. Построенная командой Пикара огромная стрекоза габаритами с *Airbus* весит всего 1,6 т и имеет четыре электродвигателя мощностью всего в 10 л.с. каждый. Это значит, что она очень медленно летает (70 км/ч), уязвима для стихии и турбулентности. Снижение массы в уже представленном публике самолете *HB-SIA* достигается в том числе за счет крошечной

Через шесть лет после презентации идеи самолет был сконструирован и построен. «Дурацкая затея, надеюсь, пилот выживет», — так комментировали в Интернете некоторые скептики амбициозный план круглосуточного полета. Но в 2010 г. бывший военный пилот, второй руководитель и главный инженер проекта Андре Боршберг — как и было обещано — благополучно переночевал в кресле самолета, непрерывно проведя в небе над Швейцарией более 26 часов.

и даже не обогреваемой кабины пилота, где можно сидеть только в термостюме из сверхтонких материалов и дышать через кислородную маску. «Мы имеем дело с листами углеродного волокна, которые в три раза тоньше и легче листа бумаги в вашем принтере», — объясняет господин Пикар суть инноваций российским зрителям. Когда его проект только-только стартовал, многих использованных в *Solar Impulse* технологий и материалов еще не существовало. «Я встречался с крупными специалистами в области авиации, и все говорили одно и то же: “Солнечный импульс” невозможен, вы никогда не построите самолет таких размеров с размахом крыла 64 м и весом с небольшой автомобиль. Но люди, которые нам помогли, были далеки от авиации и не знали, что это невозможно». Действительно, получив отказ

от ряда лидеров отрасли, Бертран Пикар и его партнер по проекту Андре Боршберг обратились с проектом будущего летательного аппарата в весьма неожиданное место — к производителям гоночных яхт, на швейцарскую судостроительную компанию *Décision*. И там это восприняли просто как интересную задачу. Сверхлегкие углеродные материалы — это именно их разработка. «Важно понимать, что инновации обычно не возникают внутри системы, они приходят извне», — поясняет Пикар.

Через шесть лет после презентации идеи самолет был сконструирован и построен. «Дурацкая затея, надеюсь, пилот выживет», — так комментировали в Интернете некоторые скептики амбициозный план круглосуточного полета. Но в 2010 г. бывший военный пилот, второй руководитель и главный инженер проекта Андре Боршберг — как и было обещано — благополучно переночевал в кресле самолета, непрерывно проведя в небе над

предусматривает функцию автопилота. Естественно, это влечет за собой усложнение систем и увеличение габаритов (размах крыльев — 80 м).

Стоимость второго самолета *HB-SIB* оценивается уже в \$100 млн. Но даже при более щадящих для пилота условиях непрерывный перелет через Тихий океан может занять у солнечного «тихохода» до шести дней. А это, по мнению опытного Пикара, физиологический предел для летчика-одиночки. «Если иметь на борту лишь одного пилота, то более пяти дней за штурвалом при недостатке сна скажутся на его концентрации, это может стать опасным», — пояснил он нам. Поэтому там, где это возможно, будут предусмотрены более частые посадки для смены летчика, раз в три-пять дней. «Но из этого можно извлечь пользу: проводить мероприятия и презентации в школах, университетах, для прессы и правительств, — рассуждает на камеру «Идей» наш герой. — Половину перелетов совершит Андре Боршберг, половину я».

Полет Пикара

Еще в 16-летнем возрасте Бертран Пикар увидел окружающие родную Лозанну красоты с трапеции дельтаплана и полюбил летать. Его страстью надолго стала сверхлегкая авиация. В 1980-х гг. он завоевал титул чемпиона Европы в воздушной акробатике на дельтапланах, в течение жизни получил лицензии на пилотирование планеров, самолетов и воздушных шаров. То, что по роду своих основных занятий в жизни он был психотерапевтом, сыграло судьбоносную роль в его будущем воздухоплаватель. Однажды Пикара пригласили для участия в его первой трансатлантической гонке на воздушных шарах именно в качестве психотерапевта. Пилоту нужен был напарник, который помогал бы регулировать потребность в сне и бороться со стрессом. В итоге в 1992 г. их экипаж победил. В своих выступлениях наш герой неоднократно подчеркивал, что увлечение полетами никогда не было для него источником адреналина и у обоих его занятий общий корень: «Исследовать можно не только внешний мир, но и внутренний». Вспоминая первые полеты, он как-то сказал: «Я почувствовал, что в большей степени имею дело с философией, чем со спортом».

С тех пор полеты на воздушных шарах надолго стали еще одним главным делом жизни Пикара, и к концу 1990-х гг. он инициировал свой первый персональный амбициозный проект — беспосадочный кругосветный полет на воздушном шаре *Breitling Orbiter*. Это тоже была битва высоких технологий. Множество команд с внушительной спонсорской поддержкой пытались обогнуть земной шар и терпели фиаско одна за другой.

Швейцарией более 26 часов. Потом были полеты в европейские столицы, посещение авиасалона в Ле-Бурже, перелет из Европы в Африку, наконец, упомянутое путешествие из Сан-Франциско в Нью-Йорк. Но главной целью программы остается воспитать еще Жюлем Верном и пока не достигнутая планка — кругосветный перелет.

Стоимость прототипа *HB-SIA*, на котором международная команда сейчас обкатывает идею, презентует проект общественности, выявляет риски и уязвимости, перевалила за \$72 млн. Однако через год в кругосветный полет отправится не этот летательный аппарат, а его совершенная версия с регистрационным кодом *HB-SIB*, которую начали строить в 2011 г. Кабину версии *HB-SIB* сделают более комфортабельной, там можно будет передвигаться и лежать, управление



Завершились неудачей попытки миллионеров Ричарда Брэнсона, Джеймса Стивена «Стива» Фоссетта и многих других путешественников. Да и самому Пикару дистанция покорилась лишь с третьей попытки. Момент, когда его первый аэростат вместо расчетных 15 дней полета упал в воды Средиземного моря спустя всего шесть часов после старта, он и сейчас называет одним из самых тяжелых уроков в своей жизни.

Проект *Breitling Orbiter 2* застопорился из-за отзыва разрешения на использование воздушного пространства Китая. И только *Breitling Orbiter 3*, стартовав в Швейцарских Альпах в 1999 г. в день рождения Пикара, 1 марта, благополучно облетел Землю и приземлился в Египте. По итогам полета команда установила семь рекордов в области воздухоплавания, а сам Бертран Пикар стал медиазвездой. Пикар утверждает, что именно это экстремальное путешествие заставило его задуматься об идее полного перехода на альтернативные источники энергии для осуществления следующего кругосветного полета. Отправляясь в полет, *Breitling Orbiter 3* нес на борту 3,8 т сжиженного пропана, а приземляясь, имел в запасе лишь 40 кг. Для Пикара это стало поводом поразмышлять о пагубе зависимости человека от невозобновляемых источников энергии в целом.

В результате следующий проект *Solar Impulse* стал экологически чистым. При этом Пикар не устает подчеркивать, что его идея не столько «зеленая», сколько гуманистически ориентированная. Беседуя со съемочной группой «Идей, меняющих мир», он расставил акценты так: «Мы все время говорим о защите окружающей среды и забываем о том, что настоящая проблема заключается в защите человека. Природа всегда выживет, что бы мы ни делали, а человек будет страдать. Поэтому надо прекращать говорить “защитим природу”, нужно говорить “защитим человека”». Пикар мечтает, чтобы в ближайшие 15 лет человечество снизило потребление традиционных видов топлива вдвое.

За десять лет работы над проектом *Solar Impulse* Бертрану Пикару удалось собрать 80 компаний-партнеров из разных стран, каждая из которых выразила готовность разделить его ценности и приняла вызов в своей технологической сфере. «У нас есть партнеры из области химии, специалисты по страхованию, по часам, по лифтам, консультанты, косметологи, интернетчики. В то же время у нас много открытых позиций для компаний из энергетического сектора, из компьютерных технологий, из фармацевтики, телекоммуникаций, телефонии». Имея огромный опыт фандрайзинга при реализации подобных проектов, Пикар прекрасно осознает,

чем мотивировать потенциальных партнеров. «Принимая участие в подобном проекте, компании могут продемонстрировать всем, насколько они инновационны. Они вселяют уверенность в будущем в своих акционеров, показывают, что они думают на ход вперед», — раскрыл он Эвелине Закамской секрет взаимодействия с бизнесом. Пролетая над территорией США, лидеры проекта нашли применение даже для *Google Glass*. На последнем отрезке пути при помощи этого гаджета Боршберг передал его картинку за бортом на очки Пикара, который ждал его на Земле.

Пикар часто вынужден повторять: «Наш самолет призван не везти пассажиров, а нести миру послание», т.е. не плодить готовые инновации, а мотивировать научное сообщество, корпорации, политиков и потребителей к дальнейшему поиску и принятию верных решений. Он убежден, что за пределами авиационной промышлен-



ности простор для инноваций особенно широк. «Многие наши партнеры по проекту *Solar Impulse* сейчас производят оборудование, которое снижает энергопотребление в автомобилях, холодильниках, домах, системах освещения и т.д. Новые технологии подвластны тем, кто достаточно широко мыслит, чтобы их использовать».

Чайка по имени...

Конечно, образ человека, сутки напролет парящего над морской гладью наедине со своими мыслями, наводит на параллели с героем культовой повести Ричарда Баха. Сложно сказать, искренен ли Пикар, называя экранизацию этой книги своим любимым фильмом, или это просто красивая PR-заготовка для журналистов. В своих интервью наш герой утверждает, что смотрел фильм

«Чайка по имени Джонатан Ливингстон» более десятка раз и для гипотетического досуга на необитаемом острове снова предпочел бы его. Эта метафора силы человеческого духа, способного к полету и самосовершенствованию, вполне отвечает мировоззрению нашего героя. В беседе со съемочной группой «Идей, меняющих мир» он высказался о человечестве как мягкий элитарист: «Эволюция — это процесс индивидуальный, а не коллективный. Я считаю, что есть индивиды, которые обладают духом первооткрывателей и могут создать что-то великое. Но если говорить о людях в целом, то я не уверен, что человечество становится лучше».

Доктор Пикар — профессиональный знаток человеческих душ. Второй его дед был пастором, и при посредничестве матери потребность к исследованию внутреннего мира стала такой же частью его личности, как и тяга к приключениям, доставшаяся от Пикаров. Он

Пикар убежден, что за пределами авиационной промышленности простор для инноваций особенно широк. «Многие наши партнеры по проекту Solar Impulse сейчас производят оборудование, которое снижает энергопотребление в автомобилях, холодильниках, домах, системах освещения и т.д. Новые технологии подвластны тем, кто достаточно широко мыслит, чтобы их использовать», — подытожил он этот заочный спор со скептиками, беседуя с нами.

закончил медицинский факультет Лозаннского университета со специализацией по психиатрии и психотерапии, в том числе детской. Его докторская диссертация касалась обучающей ценности стрессовых обстоятельств и положительных следствий экстремального опыта для психики. Сразу после окончания университета доктор Пикар открыл собственную терапевтическую практику и посвятил два десятилетия своей жизни коррекции фобий и других серьезных душевных проблем у детей и взрослых.

Параллельно активной жизни в небе он всегда продолжал совершенствовать себя и в основной профессии. Заинтересовавшись техниками эриксоновского гипноза, получил дополнительное образование в США, стал признанным специалистом в области гипноза

и самогипноза, супервизором профильного медицинского общества в Швейцарии. Он и сейчас остается практикующим гипнотерапевтом, поэтому журналисты и партнеры нередко подшучивают над ним: не применяет ли он гипноз для склонения к участию в *Solar Impulse* людей бизнеса? В беседе с Эвелиной Закамской доктор Пикар в ответ на похожий вопрос не отшучивался и не говорил о профессиональной этике, но подчеркнул, что использовать психологическое насилие в созидательных целях непродуктивно. «Из практики гипноза я усвоил одну вещь: убеждать человека совершенно бесполезно. Убеждая, вы боретесь с той его частью, которая говорит “нет”. В крупном проекте важно не убедить, а мотивировать. И когда вы мотивируете людей, вы создаете связку с той частью человека, которая может сказать “да”, с его инновационной частью».

В попытке исследовать себя и человека вообще Бертран Пикар в разное время обращался не только к академической науке, но и к нетрадиционным течениям в психотерапии, к восточной философии и даже к современным эзопрактикам. Так, в интервью газете *The New York Times* минувшим летом он с восторгом отозвался о книге российского автора Вадима Зеланда «Трансерфинг реальности» и признался, что читает уже второй том. Имея редкую возможность оттачивать любые методики в условиях экстремального стресса, Пикар выработал и собственные подходы к искусству управления жизнью, а технология полета на воздушном шаре стала удачной метафорой для иллюстрации этих идей широкой публике.

Имея огромный опыт организатора сложных проектов и диплом в науках о сознании, наш герой давно стал признанным экспертом в областях психологии коммуникаций, мотивирования, управления стрессом и работы в команде. На вопрос Эвелины Закамской, может ли стать партнером его собственной команды *Solar Impulse* какая-нибудь российская компания, герой январского выпуска «Идей» ответил с искренним энтузиазмом: «Я был бы счастлив партнерству с российской авиационной промышленностью, поскольку на данный момент у нас нет ни одного крупного авиационного партнера из Европы или Америки. Может быть, в России найдутся крупные компании, готовые продемонстрировать дух первооткрывательства и принять участие в таком проекте, как наш». Поиск совершенного способа летать продолжается. ■

Подготовила Ольга Платицина





ИДЕИ, МЕНЯЮЩИЕ МИР

Десять способов, которыми наука может изменить до неузнаваемости привычные гаджеты, помочь решить самые трудные проблемы и сохранить жизни

Достижения науки могут быть значительными, заманчивыми, невероятными — и при этом так и не выйти за стены лабораторий. Чтобы изменить мир, новая идея должна иметь возможность пройти путь от чертежной доски до реализованных на практике продуктов и производственных процессов: как говорят в Кремниевой долине, она должна «масштабироваться». Никто не может предсказать будущее, но каждая из десяти революционных идей, представленных на последующих страницах, имеет серьезный потенциал. Мы начнем с большой статьи о новом способе поатомного конструирования материалов с помощью суперкомпьютеров и уравнений квантовой механики, а продолжим короткой пробежкой по метаматериалам, которые сулят сделать сотовые телефоны тонкими, как банковская карточка; геномной терапии, которая превращает микрофлору кишечника в оружие против болезней; самолетам и мостам, собираемым из сверхлегких деталей, скрепляющихся друг с другом, как детали детского конструктора *Lego*; антисептическим средствам, способным предотвратить 500 тыс. детских смертей в год, и другим хорошим и интересным идеям. Следите за ними в предстоящие годы.

Редакция

Кристин Перссон
и Гербранд Сидер

Идеи, меняющие мир

С помощью
суперкомпьютеров
и уравнений
квантовой
механики ученые
конструируют
новые материалы
атом за атомом
еще до проведения
экспериментов

МАТЕРИАЛЫ МЕЧТЫ

В 1878 г. Томас Эдисон вознамерился усовершенствовать электрическое освещение. Чтобы создать компактные лампы, пригодные для использования в помещениях, ему нужно было найти долговечный, выделяющий мало тепла и потребляющий малую мощность материал для светящегося элемента. Руководствуясь в основном интуицией, он взялся испытывать тысячи углеродсодержащих материалов — самшит, скорлупу кокосовых орехов и даже

волосы из бороды своего лаборанта. Через 14 месяцев он запатентовал лампу с нитью накаливания из обугленной хлопковой нити. Пресса назвала это «триумфом великого изобретателя в деле электрического освещения». Однако для нитей накаливания существовали и более подходящие материалы. На рубеже столетий другой изобретатель, Александр Лодыгин, создал вольфрамовую нить накаливания, которая и по сей день применяется в лампах. Хлопковая нить Эдисона ушла в прошлое.



Со времен Эдисона материаловедение — наука о создании новых полезных форм вещества — прошло долгий путь. Квантовая механика дала ученым глубокое понимание поведения вещества и, следовательно, больше возможностей направлять исследования с помощью теории, а не предположений. Но разработка новых материалов все же остается делом кропотливым, долгим и дорогим. Компании вкладывают в это дело миллиарды, но успехи редки и разрозненны. Как установил наш коллега из Массачусетского технологического института Томас Игар (Thomas Eagar), чтобы пройти путь от лабораторных испытаний до практического применения, даже удачным материалам требуется 15–20 лет. Так, когда компания Sony объявила в 1991 г. о выпуске на рынок литий-ионных аккумуляторов, это казалось внезапным огромным прорывом, но чтобы совершить его, потребовались почти два десятилетия работы сотен тысяч исследователей, сопровождавшейся блужданиями и отступлениями.

Однако сегодня материаловедение находится на пороге революции. Появилась возможность использовать результаты столетия развития физики и информатики, чтобы вырваться за рамки «эдисоновского» процесса. Экспоненциальный рост мощности вычислительной техники в сочетании с результатами работы, выполненной в 1960-х и 1970-х гг. Уолтером Коном (Walter Kohn) и покойным Джоном Поплом (John Pople), которые разработали упрощенные, но точные решения уравнений квантовой механики, открыл возможность разработки новых материалов с чистого листа с использованием суперкомпьютеров и основных законов физики. Этот метод был назван высокопроизводительным компьютерным конструированием материалов (ВККМ). Идея его проста: использование суперкомпьютера для одновременного виртуального изучения сотен тысяч химических соединений позволяет быстро и эффективно выискивать наилучшие строительные блоки для новых материалов, будь то электрод аккумулятора, сплав или новый тип полупроводника.

Большинство материалов состоят из ряда химических соединений. Хорошим примером могут служить электроды аккумуляторов — композиты из нескольких соединений. Но есть и гораздо более простые материалы, например графен, который позиционируют как будущее электроники: он представляет собой всего лишь монослой углерода. Однако независимо от степени сложности материала есть одна вещь, остающаяся

ОБ АВТОРАХ

Кристин Перссон (Kristin Persson) — научный сотрудник Национальной лаборатории им. Лоуренса в Беркли, докторскую степень по физике получила в Королевском технологическом институте в Стокгольме (Швеция).



Гербранд Сидер (Gerbrand Ceder) — профессор материаловедения и инженерного дела в Массачусетском технологическом институте, вместе с Кристин Перссон основал *Materials Project*, который предоставляет сообществу исследователей рассчитанные свойства материалов.



истиной всегда: его свойства — плотность, твердость, блеск, электропроводность и др. — определяются квантовыми характеристиками атомов, из которых он состоит. Поэтому первым шагом ВККМ становится виртуальное «выращивание» новых материалов путем выполнения тысяч квантово-механических вычислений. Суперкомпьютер выстраивает сотни и тысячи виртуальных кристаллических структур из виртуальных атомов. Затем мы рассчитываем свойства этих виртуальных соединений. На что похожи получаемые кристаллические структуры? Насколько они жестки? Как они поглощают свет? Что происходит, когда мы их деформируем? Диэлектрики они или металлы? Мы поручаем компьютеру поиск среди полученных соединений тех, которые обладают нужными нам свойствами, и вскоре перспективные соединения выводятся в верхнюю часть списка. В конце процесса данные, полученные в ходе этого исследования, заносятся обратно в базу данных, в которой исследователи смогут затем вести поиски.

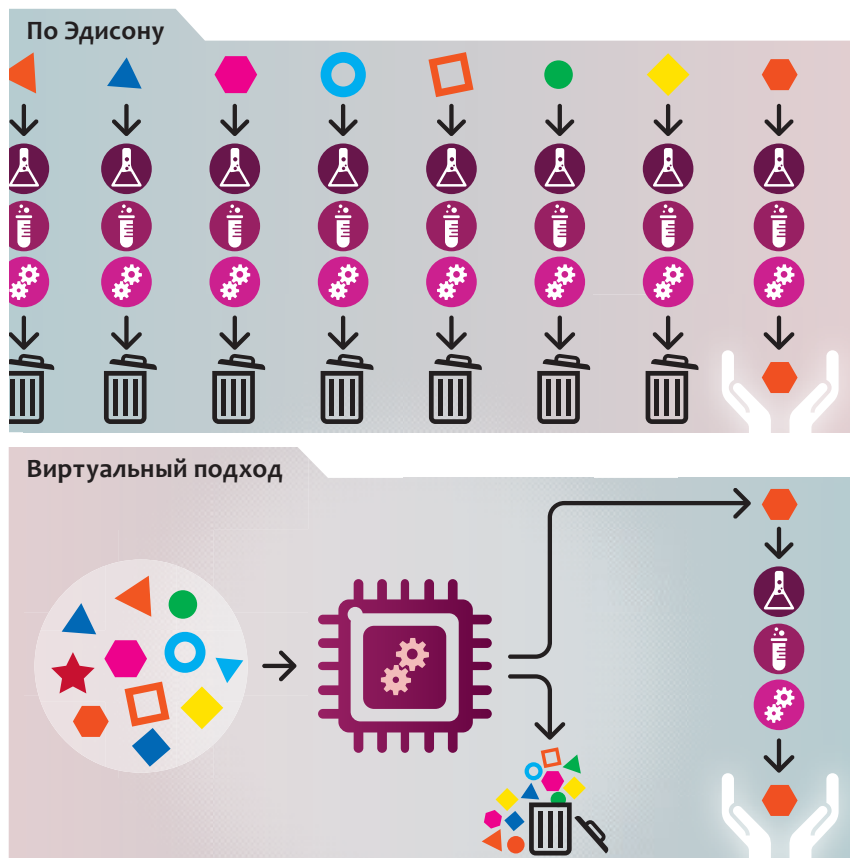
С 2011 г. мы возглавляем сотрудничество исследователей под названием *Materials Project*, направленное на ускорение компьютерной революции в материаловедении. Его цель — создание общедоступных бесплатных баз данных, содержащих фундаментальные термодинамические и электрические свойства всех известных неорганических соединений. На сегодня мы рассчитали основные свойства (строение кристаллической решетки, электрические свойства, оптическую прозрачность и т.п.) почти всех из примерно 35 тыс. известных природных неорганических соединений. Кроме того, мы рассчитали свойства нескольких тысяч соединений,

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Такие технические материалы, как кремний полупроводникового качества и стекло для оптических волокон, стали важнейшими элементами современного мира. Однако до последнего времени создание новых материалов требовало огромного количества трудоемкой и малоэффективной работы «на ощупь».
- Рациональные формы уравнений квантовой механики в сочетании с использованием суперкомпьютеров для решения этих уравнений позволяют проводить виртуальные испытания тысяч материалов одновременно, что исключает необходимость в этой работе вслепую.
- Сегодня исследователи используют метод высокопроизводительного вычислительного конструирования материалов (ВККМ) для создания новых аккумуляторов, топливных элементов, микросхем и других технических устройств.

ЧТО ДАЕТ СУПЕРКОМПЬЮТЕР

Подход Эдисона к поиску материала состоял, грубо говоря, в том, что он испытывал каждый материал, который казался ему перспективным, и отбрасывал все, что не подходило. С помощью ВКМ исследователь может быстро «просеять» представляющиеся многообещающими материалы виртуально, на огромной компьютерной системе, сэкономив время и деньги и избежав разочарований. Когда компьютер переберет сотни тысяч материалов и выделит с десяток наиболее перспективных, исследователь начинает синтезировать реальные образцы этих материалов и испытывать их обычными лабораторными методами.



В ближайшем будущем материаловеды станут использовать высокопроизводительные вычисления для проектирования почти всего на свете. Мы уверены, что это приведет к появлению технологий, которые изменят наш мир, — к прорыву, который преобразует вычислительную технику, исключит загрязнение, обеспечит обилие чистой энергии и улучшит наши жизни способами, которые сегодня даже трудно вообразить.

Геном материалов

Современный мир опирается на успехи материаловедения. Изобретение прозрачного проводящего стекла повлекло за собой создание тактильных экранов смартфонов. Передавать информацию эти устройства могут потому, что специалисты научились делать стекло, не содержащее примесных ионов, которое стало основой для создания оптоволоконной связи. А способность смартфонов работать без подзарядки целый день обусловлена изобретением учеными в 1970–1980-х гг. оксидных материалов, способных хранить литий, которые стали основой литий-ионных аккумуляторов.

И именно наша работа над созданием этих аккумуляторов стала главной причиной,

существующих только в теории. Сейчас для доступа к этим данным зарегистрировалось около 5 тыс. ученых, которые используют их в целях разработки новых материалов для солнечных элементов, источников тока и других технологий.

Рассматриваемый подход применяем не только мы. Консорциум исследователей во главе со Стефано Кортароло (Stefano Cortarolo) из Университета Дьюка рассчитал десятки тысяч сплавов. Их результаты могут привести к созданию более легких и прочных автомобильных рам, строительных балок для небоскребов, обшивки самолетов и т.п. А проект *Quantum Materials Informatics Project*, в котором участвуют исследователи из Аргоннской национальной лаборатории, Стэнфордского университета и Технологического университета Дании, использует высокопроизводительные вычисления для изучения очень важных для энергетики каталитических процессов на поверхностях металлов.

по которой мы обратились к высокопроизводительному конструированию материалов. Мы долго работали над компьютерным конструированием материалов, но до переговоров с руководством компании *Proctor&Gamble (P&G)* не задумывались о том, как много времени для работы на самых мощных суперкомпьютерах мира может быть нам предоставлено. Руководители *P&G* хотели найти более подходящий материал для катода щелочных гальванических элементов, которые производило их подразделение *Duracell*. Они задали нам неожиданный вопрос: можно ли с помощью компьютеров «просеять» все известные соединения, чтобы найти что-то лучшее? Поразмыслив, мы поняли, что реальными препятствиями для этого выступают только машинное время и деньги. *P&G* была рада предоставить нам и то и другое. Она выделила на наш проект миллион долларов и обеспечила нашей маленькой группе полную власть над своим суперкомпьютерным центром.

Мы назвали эту свою работу *Alkaline Project*. Мы рассмотрели 130 тыс. реальных и гипотетических соединений и представили руководству P&G список из 200 соединений, удовлетворяющих требованиям компании и потенциально существенно лучших, чем применявшиеся компанией на тот момент. И к тому времени мы убедились, что наше будущее поле деятельности — высокопроизводительное конструирование материалов. Мы набрали еще людей, увеличили ресурсы и в 2011 г. организовали сотрудничество МТИ и Национальной лаборатории им. Лоуренса, которое поначалу назвали *Materials Genome Project*. С тех пор к этому проекту присоединились группы из Калифорнийского университета в Беркли, Университета Дьюка, Висконсинского университета в Мадисоне, Университета штата Кентукки, Левенского католического университета в Бельгии и других организаций. Все они вносят получаемые ими данные в общедоступное бесплатное хранилище данных в Калифорнийском университете в Беркли.

Уравнения квантовой механики могут рассказать, какие именно изменения нужно вносить — какие элементы использовать и как встраивать их в структуру. Однако эти уравнения настолько сложны, что решать их на практике может только компьютер

Вскоре мы убрали из названия нашего проекта слово «геном», чтобы избежать путаницы с названием проекта, запущенного Управлением научно-технической политики Белого Дома. Кроме того, свойства химических соединений, строго говоря, нельзя назвать генами: это не наследуемые единицы информации, задающие определенную последовательность данных. Однако прямая взаимосвязь между функциями или свойствами материала и его основными дескрипторами существует. Как голубые глаза могут быть приписаны определенному гену, так, например, электропроводность материала можно проследить назад к свойствам и структуре элементов, из которых он состоит.

Такого рода корреляции представляют собой основу материаловедения. Вот простой пример: известно, что, вводя определенные дефекты в кристаллическую структуру минералов, можно «настраивать» их цвет. Рассмотрим рубин. Его красный цвет обусловлен хаотическим замещением ионов алюминия в основной структуре корунда (Al_2O_3) ионами хрома (Cr^{3+}). Когда эти ионы

вводятся в среду корунда, их электронное состояние изменяется, что меняет характеристики поглощения и испускания света материалом. Если известна первопричина свойства (в данном случае — красного цвета рубина), т.е. его фундаментальный дескриптор, то можно создать это свойство методами синтеза. Варьируя химические дефекты, можно производить новые рубины с точно настроенными цветами.

Уравнения квантовой механики могут рассказать, какие именно изменения нужно вносить — какие элементы использовать и как встраивать их в структуру. Однако эти уравнения настолько сложны, что решать их на практике может только компьютер. Пусть вам нужно просеять группу из нескольких сотен соединений, чтобы выявить, какие из них имеют нужные вам свойства. До недавнего времени сделать это было просто невозможно, поэтому так много работ по материаловедению проводилось методом проб и ошибок. Теперь же, когда мы располагаем большой вычислительной мощностью, появилась возможность использовать весь предсказательный потенциал квантовой механики.

Предположим, что мы рассматриваем термоэлектрические материалы, которые генерируют электрический ток, когда в них создается большой градиент температуры. (Для этих материалов верно и обратное: при пропускании через них тока они способны создавать разность температур; представьте себе возможность очень быстрого охлаждения.) При сжигании топлива в ходе производственных процессов и в холодильной технике общество тратит впустую огромное количество тепла. Располагая мы эффективными дешевыми и стабильными термоэлектрическими материалами, это тепло можно было бы улавливать и превращать в электроэнергию. Термоэлектрические устройства могли бы использовать тепловые отходы промышленности для выработки электроэнергии на электростанциях. А тепло от выхлопной системы автомобилей можно было бы использовать для питания всей их электроники. Термоэлектрика могла бы также обеспечить охлаждение тела человека: небольшие устройства, встроенные в одежду и включаемые простым перекидным выключателем, охлаждали бы нас без всяких вентиляторов и компрессоров.

Один из лучших известных на сегодня термоэлектриков — теллурид свинца, но он слишком ядовит и дорог для коммерческого применения. Вообразите себя исследователем, который ищет более подходящий термоэлектрический материал. Если у вас нет мощного компьютера, вам нужно было бы действовать следующим образом: начать с известных соединений, имеющих, подобно теллуриду свинца, высокий коэффициент Зеебека (показатель количества электричества, вырабатываемого при данной разности температур), но не состоящих из редких, токсичных или дорогих элементов, затем внимательно просмотреть таблицы, сопоставляя цифры. Если повезет, вы найдете несколько соединений, которые теоретически могли бы подойти. Потом нужно синтезировать эти соединения в лаборатории. Синтез материалов — дело дорогое, трудное и долгое. При этом вы

обычно даже не догадываетесь, будет ли это соединение стабильным. Определить его свойства вы сможете только после того, как синтезируете вещество и повторите этот процесс необходимое для получения чистого образца количество раз. Это может занять несколько месяцев для каждого из испытываемых соединений.

До сих пор ученым не удалось найти альтернативных термоэлектрических материалов. Но они даже не пытались применить ВККМ. Скоро все изменится. Мы начинаем работать с исследователями из Калифорнийского технологического института и пяти других организаций для проведения высокопроизводительного поиска новых термоэлектрических материалов. И мы намерены продолжать эту работу до тех пор, пока не найдем химические соединения, способные сделать технологии энергосбережения и чудесного охлаждения реальностью.

Золотой век конструирования материалов

Наши возможности автоматизированного доступа к характеристикам материалов, отбора этих материалов и их сопоставления находятся еще в стадии младенчества. Что может дать развитие этой области? Предложим несколько оценок.

Многие перспективные технологии производства чистой энергии только и ждут новых материалов, чтобы стать реальностью. Фотокаталитические соединения вроде диоксида титана можно было бы использовать для превращения солнечного света и воды в водород и кислород, которые затем можно превратить в жидкое топливо. Другие фотокатализаторы могли бы делать то же самое с углекислым газом. Мечта — «искусственный лист», способный с помощью солнечного света получать из воздуха жидкое топливо вроде метанола, которое можно будет сжигать в двигателях автомобилей и самолетов (см.: *Регаладо А. Изобретая лист // ВМН, № 11–12, 2010*). Материалы, которые могли бы позволить реализовать эту технологию на практике, ищут ученые из Объединенного центра искусственного фотосинтеза Министерства энергетики США.

А как дела с поиском новых сплавов для тех же автомобилей и самолетов? Уменьшение массы транспортного средства на 10% могло бы дать экономию топлива на 6–8%. Промышленность США уже ежегодно вкладывает миллиарды долларов в исследования по разработке и производству новых сплавов. ВККМ позволило бы многократно увеличить эффективность этих вложений. Существенные достижения в создании прочных легких сплавов, пригодных для повторного использования, оказали бы огромное влияние на мировую экономику, повысив энергетическую эффективность транспорта и строительства.

Другая область, где требуются материалы с изменяемыми свойствами, — вычислительная техника. Недавно был сделан ряд серьезных предсказаний о том, что мы находимся вблизи конца срока действия закона Мура, согласно которому вычислительная мощность компьютеров удваивается примерно через каждые два года. Что кремний — не самый лучший полупроводник, известно

давно, просто его много в природе и он хорошо изучен. Но что может быть лучше? Ключевой параметр, по которому следует вести поиск, — быстрота переходов между проводящим и непроводящим состояниями. Группа из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе создала исключительно быстрые транзисторы из графена, а коллектив из Стэнфордского университета сообщил, что может переключать магнетитовый электрический ключ между проводящим и непроводящим состояниями за одну триллионную секунды — в тысячи раз быстрее, чем это могут делать современные транзисторы.

Этот список может быть продолжен. Ученые используют ВККМ для разработки новых полупроводников, катализаторов и сцинтилляторов. Эти три класса материалов должны преобразовать информатику, технологию улавливания и удаления углекислого газа и обнаружение ядерных материалов.

Компьютерное конструирование материалов может привести к прорывам, которые сегодня даже трудно вообразить. Возможно, удастся получить новое жидкое топливо на основе кремния, а не углерода, теплотворная способность которого будет больше, чем у бензина, а продукты сгорания — экологически безвредными (песок и вода). Обсуждение этой идеи идет уже не один десяток лет, но работоспособной формулы пока не найдено. ВККМ может хотя бы продемонстрировать, возможна ли она или нам нужно направить свои усилия на что-то другое.

Исходя из всего вышеизложенного, мы надеемся, что вступаем в золотой век конструирования материалов. Огромные вычислительные мощности предоставляют человечеству небывалые возможности в деле превращения природных материалов в полезные технологии. И это благо. Поскольку проблемы глобального потепления и перенаселения планеты требуют немедленного решения, наступление этого золотого века ни в коем случае не будет преждевременным. ■

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Opportunities and Challenges for First-Principles Materials Design and Applications to Li Battery Materials. Gerbrand Ceder in *MRS Bulletin*, Vol. 35, No. 1, pages 693–701; September 2010.
- The Materials Project: A Materials Genome Approach to Accelerating Materials Innovation. Anubhav Jain et al. in *APL Materials*, Vol. 1, No. 1; July 2013.
- Слайд-шоу о материалах и атомных свойствах, определяющих их поведение, см. по адресу: ScientificAmerican.com/dec2013/materials



Хранилища углерода

Превращение CO_2 , закачанного глубоко под землю, в твердую породу

к сожалению, со временем улетучивается, поднимается на поверхность и снова попадает в атмосферу.

Альтернативой могут служить породы вулканические, например базальтовые, составляющие часть земной коры. Входящие в их состав минералы, такие как магний, кальций и железо (вернее, их силикаты), вступают в реакцию с CO_2 , и в результате в порах и воздушных прослойках между пластами базальта формируются устойчивые карбонатные минералы, удерживающие твердый углерод. Этот процесс можно назвать ускоренным выветриванием; он позволяет фиксировать большие количества CO_2 , и сегодня его пытаются применять на практике.

Летом 2013 г. вблизи городка Уоллула, штат Вашингтон, в пласт базальта, залегающий на глубине более 800 м, закачали почти 1000 т CO_2 . Весь 2014 г. инженеры будут следить за тем, когда начнут формироваться карбонатные кристаллы и как быстро они будут расти. Некоторые ученые полагают, что результаты можно будет увидеть воочию лишь спустя тысячелетия, однако, по данным лабораторных исследований, на это потребуются не более десятилетия. «Речь идет не о тысяче лет и даже не о нескольких столетиях, — считает Пит Макгрейл (Pete McGrail), специалист

Если удастся найти простой способ извлечения диоксида углерода из выбросов угольных электростанций и превращения его в твердую породу глубоко под землей, это решит главную проблему применяемых сегодня способов геологического секвестра углерода. В их основе лежит закачивание CO_2 в пористые осадочные породы, например в песчаник, откуда он,

по охране окружающей среды из Тихоокеанской северо-западной национальной лаборатории, куратор проекта. — Мы надеемся, что полная минерализация займет от нескольких лет до нескольких десятилетий». Этого достаточно, чтобы существенно повлиять на скорость глобального потепления. В декабре с помощью бурения были получены первые образцы породы, и скоро мы сможем уточнить прогнозы.

В рамках другого проекта, *CarbFix*, который осуществляется в Исландии, в течение более двух лет под землю закачали около 1,5 тыс. т CO_2 . По словам участника проекта Юрга Маттера (Juerg Matter) из Колумбийского университета, первые образцы должны извлечь в мае-июне 2014 г., а затем наблюдения будут продолжены вплоть до декабря.

Некоторые ученые сомневаются, смогут ли карбонатные минералы достаточно прочно удерживать углерод. Сюзан Ховорка (Susan Hovorka), геолог и эксперт по геологическому секвестру углерода, работающая в Техасском университете в Остине, говорит, что при определенных условиях глубоко под землей CO_2 может растворяться в воде, омывающей карбонатные минералы, и в результате газ опять выйдет на поверхность. Чтобы определить, насколько хорошо базальт будет удерживать углерод, потребуются специальные исследования.

По словам Макгрейла, основной преградой на пути решения проблемы хранения углерода может стать вовсе не техническая сторона дела, а политика. Без финансовых вложений внедрение любого метода секвестра CO_2 невозможно. Но если пилотные проекты покажут, что газ можно надежно хранить под землей, а правительства разных стран придут к соглашению по поводу квотирования содержания углекислого газа в атмосфере, то метод хранения углерода в базальтовых породах может найти широкое применение. В Индии примерно четверть многочисленных угольных электростанций сооружены на огромной базальтовой формации Деканские траппы. Если базальт сможет вернуть главного виновника глобального потепления туда, откуда он появился, то значительную часть углекислого газа на планете можно будет превратить в твердую породу.

Дэйв Левитан

Сверхлегкие композиты

Создание композиционных материалов по принципу конструктора Lego

В прошлом году исследователи из Массачусетского технологического института успешно завершили испытания нового прочного сверхлегкого композиционного материала, который обладает гибкой ячеистой структурой и состоит из деталей, сцепленных друг с другом подобно деталям детских конструкторов Lego или K'nex. Из них можно собирать трехмерные конструкции, в десять раз более прочные, чем такие же по весу, но сделанные из существующих сверхлегких материалов. Инженеры испытывали на изгиб и деформацию прототипы крыльев и других аэродинамических поверхностей, сделанных из новых материалов, в мощном воздушном потоке, создаваемом в аэродинамической трубе. Теперь их мечта о легких и при этом более надежных и прочных самолетах, космических аппаратах и даже мостах, собираемых из стыкующихся друг с другом частей, стала значительно ближе к реальности.

Эта принципиально новая технология позволит создавать невероятно легкие и прочные конструкции для аэрокосмической отрасли, тяжелой и легкой промышленности, строительной индустрии. К идее ее разработки конструкторов подтолкнула решетчатая структура полых костей животных, которая обеспечивает высокую прочность скелета при относительно небольшом весе.

Обычные композиционные материалы состоят из спрессованных слоев волокнистого материала, перемешанного с вязким веществом (матрицей). В процессе нагрева матрица отвердевает и конструкция приобретает жесткость. Для создания габаритных конструкций в огромных цилиндрических печах «запекают» крупные детали, из которых затем собирают еще более крупные узлы. Разработанный в МТИ композит позволяет строить поистине гигантские объекты — например, фюзеляж воздушного лайнера — без единой заклепки. Каждый «кусочек» материала в нем будет сцеплен с соседними, образуя цельную конструкцию. При необходимости отдельные кусочки можно отъединять от остальных, что позволяет ремонтировать или видоизменять самолеты или мосты на месте либо же демонтировать их для переплавки.

«Новые композиты расширяют само понятие материала, — говорит Ход Липсон (Hod Lipson), доцент Корнеллского университета, специалист по машиностроению и аэрокосмической технике. — Обычные материалы повторяют структуру и свойства своих основных компонентов на молекулярном и атомном уровнях, а новые композиты повторяют их на макроуровне, делая конструкцию одновременно и прочной, и гибкой». У сооружений, построенных из композиционных материалов, нет слабых соединений, которые могут неожиданно сломаться, их проще возводить по индивидуальному заказу.

Основные строительные блоки представляют собой плоские полимерные детали в виде буквы X около 5 см в поперечнике, армированные углеродным волокном, с прямоугольным



выступом в перекрестии и маленьким кольцом на конце каждого плеча. Блоки сцепляют друг с другом, надевая кольцо на выступ. На каждый выступ надевают четыре кольца и скрепляют их прочным хомутом из углеродного волокна. Так создается кубическая решетка, состоящая из восьмигранных элементов — октаэдров. В Массачусетском технологическом институте изготовлены и прошли испытания десятки вариантов таких блоков; длина плеча у них варьирует от нескольких миллиметров до 10 см. Жесткость и вес композита зависят от его плотности (она определяется толщиной плеча блока) и размеров составляющих его элементов-ячеек (они определяются длиной плеча блока), а от этих параметров, в свою очередь, зависит способность материала противостоять изгибу.

Каким образом лучше всего осуществлять сборку конструкции — остается предметом споров и обсуждений. Сегодня элементы соединяют с помощью пинцета. Однако в Центре битов и атомов МТИ уже создана «команда» роботов, которые способны собирать объекты из блоков или ремонтировать конструкции, медленно перемещаясь вдоль них. Кеннет Чун (Kennet Cheung), принимавший участие в разработке данного композиционного материала, а теперь работающий в NASA в Исследовательском центре Эймса, считает оптимальной такую сборочную систему, при которой каждый робот выполняет свою задачу: один осуществляет контроль, другой сборку или разборку и т.д.

В решении проблемы сборки участвуют и другие исследовательские коллективы. Так, Липсон и его коллеги сконструировали роботов, способных определять свое местонахождение и направление дальнейшего перемещения. Подобные роботы могли бы создавать материалы, состоящие из миллиардов строительных элементов,

Эластомерный робот может помочь врачам проводить биопсию или ангиопластику, осторожно захватывая ткань или закрепляя стенки кровеносных сосудов, не повреждая их

Мягкие роботы

Черви и осьминоги подсказали идею гибких машин, способных проникнуть туда, куда не доберутся металлические роботы

Спасательные команды прибывают на аварийную шахту и бурят скважину на глубину в несколько сотен метров до небольшой каверны. Они опускают в эту скважину сделанный из металла цилиндрический робот с видеокамерой, который должен искать выживших людей. Пока робот опускается, происходит смещение горной породы, в результате скважина сужается вдвое. Аппарат раз-

давлен. И что теперь делать? Будь этот робот сделан из деформируемых полимеров, он мог бы просто сжаться и удлиниться, как червь, и был бы способен продолжить свою работу.

Такие мягкие роботы существуют сегодня только в лаборатории, но успехи материаловедения, теории управления и гибких электронных устройств могут открыть им дорогу к практическому применению. Скоро могут стать доступными гибкие автоматы, способные выполнять сложные задачи в шахтах, на заводах и даже в теле человека.

При создании гибких роботов инженеры копируют движения осьминогов, червей и других беспозвоночных. Зачем тратить время и деньги на то, чтобы воспроизвести кисть руки человека с помощью исполнительных устройств, кабелей и электродвигателей, если полимерное щупальце с пневмоприводом может выполнять ту же работу дешевле и эффективнее? Исследователи из Корнеллского университета создали «универсальный захват» из маленького шара, заполненного воздухом и кофейной гущей. Когда этот захват соприкасается с объектом, он плотно облегает его, принимая форму объекта. Откачивая воздух из шара, исследователи заставляют его медленно твердеть, мягко захватывая объект. Подобный робот можно сделать также из мягких полимеров, расширяющихся, сжимающихся или изгибающихся под действием электрического тока.

Роботы традиционного типа, созданные по образу и подобию беспозвоночных, могут быть быстрее и сильнее своих прототипов, но мягкие роботы, приводимые в действие сжатым воздухом или электрическим током, способны более эффективно манипулировать самыми разнообразными предметами и лучше адаптироваться к движению в разнообразных условиях. Кроме того, их эластичная структура делает более вероятным их «выживание» при падении на твердую поверхность, а также если на них случайно наступят.

Ученые из группы известного химика и материаловеда Джорджа Уайтсайда (George M. Whitesides) в Гарвардском университете создали ряд различных роботов из полимеров, способных изменять форму, в том числе метровой длины

а также оперативно возводить временные плотины при наводнениях или собирать из отдельных частей спутники прямо в космосе.

Однако прежде чем роботизированный сборочный конвейер начнет штамповать новенькие самолеты и автомобили, композиционный материал должен получить сертификат безопасности и пройти квалификационную проверку. «Тогда появится возможность создавать совершенно новые механизмы и устройства, например самолеты с крыльями меняющейся формы или роботов с цельными гибкими руками без швов и стыков, — говорит Чун. — Вполне возможно, что эти материалы вскоре найдут применение в других областях науки и техники, например при изготовлении беспилотных спутников или космических зондов, которые отправятся в полет в ближайшие годы».

Марисса Фессенден

«четверонога», выглядящего как две буквы Y, соединенные ножками. Накачивание воздуха в различные слои пневмоканалов этого робота заставляет его раздуваться, изгибаться и двигать конечностями, передвигаясь ползком. Робот, оснащенный аккумуляторной батареей и компрессором, извивался и ползал по полу лаборатории, по снегу и даже по горячему решетчатому настилу. В 2011 г. они создали гораздо меньший привязной вариант этого робота, способный протискиваться в щели высотой всего в несколько сантиметров. «Если робот может работать без привязи, его возможности намного расширяются, и мы перешли эту важную черту», — сказал Уайтсайдз. Ученые сумели также увеличить скорость движения аппарата путем повышения эффективности передачи сжатого воздуха по его внутренним каналам вместо того, чтобы заставлять его части «бесполезно раздуваться», отметил Уайтсайдз. Вдохновленные успехом, изобретатели предлагают лицензии на эту свою технологию и недавно создали компанию *Soft Robotics* для разработки биомедицинских устройств. Эластомерный робот может, например, помочь врачам проводить биопсию или ангиопластику, осторожно захватывая ткань или закрепляя стенки кровеносных сосудов, не повреждая их.

Согласно первому номеру нового журнала *Soft Robotics*, в ближайшее десятилетие могут появиться такие коммерческие продукты, как носимые вспомогательные устройства — искусственные мышцы, способные оказывать физическую помощь людям с двигательной недостаточностью или тем, кому приходится поднимать тяжелые вещи, например при работе на складах. Финансированием разработки мягких роботов в рамках своей Программы максимальной мобильности и маневрирования (*Maximum Mobility and Manipulation program*) заинтересовалось также Агентство передовых оборонных исследовательских проектов США (DARPA).

Однако успех мягких роботов зависит от достижений в развитии ряда технологий. Исследователи из Университета штата Северная Каролина бьются над вопросом о материалах, разрабатывая гидрогели, которые можно было бы структурировать, сгибать и использовать для манипулирования различными объектами. Гидрогели, для которых агентом, вызывающим набухание, выступает вода, прозрачны и потенциально биосовместимы. В одном эксперименте исследователи ввели в V-образный блок гидрогеля ионы меди, и это заставило стороны буквы V изогнуться напоподобие лапок пинцета. В другом эксперименте в результате химической реакции ветви крестовидного образца гидрогеля изогнулись так, что получилось нечто вроде четырехлопастного грейфера.

Но у мягких роботов есть и еще одно величайшее преимущество, которое легко проглядеть: кусок полимера, маленькие трубки для подачи воздуха и миниатюрный источник питания могут обойтись в намного меньшую сумму, чем требуемая для создания движущегося металлического робота. Эта экономия может привести к широчайшему распространению мягких роботов, если, конечно, люди согласятся на роботов, больше похожих на головоногих моллюсков, чем на девушку-гуманоида Розы из фильма «Джетсоны».

Ларри Гринмейер

Метаматериалы

Новые материалы, способные отклонять свет, могут привести к созданию сверхбыстрого Интернета и сверхтонких смартфонов

Голос Николая Желудева доносится ко мне в Нью-Йорк из Англии через Атлантический океан. Его несут провода, оптоволоконные кабели и микроволны. Разговор затрудняют шумы и задержки. Желудев говорит из Саутгемптонского университета, рассказывая о созданных человеком структурах, называемых метаматериалами, и о том, как они могут сделать почти любые мыслимые устройства более быстрыми,

дешевыми и эффективными. Он отмечает, что наша трансокеанская беседа — как раз тот случай, когда дополненная метаматериалами оптическая сеть позволит исключить досадные паузы и перекрестные помехи в разговоре. «Мы больше не ограничены тем, что дает нам природа или что мы можем сварганить химическими способами, — говорит Желудев. — Мы способны делать лучшие вещи». Метаматериалы сделаны из крошечных совокупностей микроскопических элементов, например металлических колец или стерженьков, которые могут отклонять, рассеивать или передавать электромагнитные волны такими способами, какими этого не могут делать никакие природные материалы. Размеры этих элементов должны быть меньше длины волны излучения, для управления которым они предназначены. Вообразите сетку настолько мелкую, что она может отклонять световую волну таким же образом, каким высокая сетка позади основной базы на бейсбольном поле отклоняет фал-болы. А теперь вообразите, что, варьируя размеры и состав ячеек этой сетки, можно не только отклонять свет или пропускать его, но также изменять траекторию его распространения, изменять цвет и даже гасить. Метаматериалы, управляющие светом таким образом, могут стать основой более надежных беспроводных интернет-соединений, запоминающих устройств с более высокой плотностью хранения и вообще электроники с более широкими возможностями, не говоря уже о смартфонах толщиной с банковскую карточку.

Однако многие из этих усовершенствований могут стать реальностью только в том случае, если метаматериалы смогут выполнять описанную работу с видимым светом. На сегодня они лучше всего работают с излучением больших длин волн — радиоволнами и микроволнами, для которых требуются элементы с размерами порядка десятых долей миллиметра. Их легко изготавливать с помощью широко распространенных промышленных технологий.

В январе 2013 г. группа Дэвида Смита (David Smith) из Университета Дьюка продемонстрировала СВЧ-камеру на основе метаматериалов, требующую минимальной емкости памяти и минимального количества датчиков и способную заменить более громоздкие и дорогие отображающие СВЧ-устройства, применяемые сегодня в некоторых системах безопасности аэропортов. А компания Kymeta уже использует результаты работы группы Смита в новых широкополосных реконфигурируемых антеннах малой мощности для самолетов, кораблей, поездов и автомобилей. Эти антенны могут поступить на рынок уже в 2014 г., предоставив пассажирам транспортных средств возможности более дешевого высокоскоростного спутникового Интернета. Исследователи разрабатывают также «одежды-невидимки» — оболочки из метаматериалов, способные «обводить» радио- и микроволны вокруг объектов, чтобы скрыть их от радаров.

Создание метаматериалов для более коротких волн, в частности для видимого света, — дело более трудное, поскольку

требует изготовления элементов меньше микрона, приближающихся по размерам к компонентам современных компьютерных микросхем. Более того, во многих случаях требуется возможность изменения конфигурации элементов в ходе работы для манипулирования светом различными способами.

Желудев называет эти динамические структуры метаустройствами (*metadevices*) и уже создал кое-что со своими сотрудниками в своей лаборатории. В марте 2013 г. его группа опубликовала проверку концепции оптического метаустройства из наномасштабных элементов, вытравленных в пленках золота и соединенных затем с микроскопическими струнами. С помощью этих струн можно электронным способом управлять положением каждого элемента, изменяя конфигурацию устройства в реальном времени, чтобы модифицировать характеристики пропускания или отражения видимого света. Желудев говорит, что эта технология может позволить создать идеальный переключатель для сверхбыстрых оптических систем связи и компьютеров.

По мнению Федерико Капассо (Federico Capasso) из Гарвардского университета и других исследователей, наилучшим путем к созданию метаматериалов для видимого света и ближнего ультрафиолета может быть создание вначале двумерных «метаповерхностей»; и лишь после этого ученым следует заняться рассмотрением более сложных трехмерных структур для таких приложений, как голографические дисплеи с правильной цветопе-

Структуры из микроскопических металлических колец и стерженьков могут отклонять, рассеивать или передавать электромагнитные волны такими способами, которые до сих были недоступными

редачей или «одежды-невидимки», как у Гарри Поттера, позволяющие скрывать людей и предметы. Пожалуй, главное достижение группы Капассо — «плоский объектив», фокусирующий луч света в точку, что может привести к созданию сверхтонких смартфонов и цифровых фото- и видеокамер. Именно объективы и аккумуляторы остаются на сегодня препятствием для дальнейшего уменьшения толщины этих устройств.

Однако до того, как метаматериалы смогут войти в широкую практику, предстоит сделать еще очень многое. «Я всерьез считаю, что у этой материи правильный аромат, — говорит Капассо. — Ею заинтересовались серьезные люди. Они сказали мне: "Федерико, то, что ты варишь, хорошо пахнет!"».

Ли Биллингз



Микробиом

Микроорганизмы, обитающие в нашем желудочно-кишечном тракте, можно направить на борьбу с различными заболеваниями

В поддержании здоровья на должном уровне нам помогают триллионы вирусов, грибов и бактерий, которые обитают на коже, в полости рта, желудочно-кишечном тракте. Исследование их свойств было затруднено, поскольку они плохо растут в культуре. Но теперь эту проблему можно решить, используя быстро развивающиеся и недорогие методы секвенирования генетического материала. Заключив союз с микрофлорой, а не ведя с ней борьбу на уничтожение, микробиологи находят пути к искоренению хронических заболеваний и улучшению общего состояния здоровья человека.

Не так давно можно было только мечтать об исследовании больших сообществ микроорганизмов, а сегодня это вполне разрешимая задача. Так считает Дэвид Релман (David Relman), профессор Медицинской школы Стэнфордского

университета. Эта новая область метагеномики позволяет сравнить популяцию микроорганизмов, заселяющих желудочно-кишечный тракт больных и здоровых людей. Располагая такими данными, микробиологи намереваются манипулировать соотношением между разными представителями микрофлоры человека, чтобы бороться с ожирением, воспалительными заболеваниями органов пищеварения и многими другими распространенными и не очень патологиями.

Так, уже получен генетический профиль популяций микроорганизмов, населяющих желудочно-кишечный тракт больных язвенным колитом, и установлена его связь с изменением микрофлоры кишечника. Основываясь на этих данных, фармацевтический гигант *Johnson & Johnson (J&J)* сообщил этим летом о выделении \$6,5 млн на финансирование проекта *Second Genome*, по итогам которого можно было бы разработать новые подходы к терапии многих болезней. Применяемые сегодня методы основаны на назначении противовоспалительных препаратов и иммуносупрессантов, а также на хирургическом вмешательстве и часто не приводят к желаемым результатам. Терапия, напрямую изменяющая микробиом, дает меньше побочных эффектов и не открывает дорогу другим инфекционным заболеваниям.

«Инициатива *J&J* — это некий водораздел, — говорит Рита Колуэлл (Rita Colwell), куратор исследований в области здравоохранения в Мэрилендском университете и Университете Джонса Хопкинса. — Сегодня самый подходящий момент для привлечения новых биотехнологических подходов, момент, когда к чисто академическим исследованиям начинают проявлять интерес частные компании. Следующий этап — приток больших денег от фармацевтических гигантов».

Новые подходы к изменению микробиома в борьбе с различными патологиями гораздо эффективнее уже используемых. Последние применяют в основном фекальные транспланты и пробиотики — культуры живых бактерий в составе биологических добавок и пищевых продуктов (например, йогурта). Фекальные транспланты помогают избавиться от *Clostridium difficile*, бактерии, вырабатывающей токсины и часто проявляющей устойчивость к антибиотикам; но практика показывает, что необходима неоднократная трансплантация и при этом пациенты не всегда излечиваются. Пробиотики же вызывают лишь небольшое неспецифическое изменение кишечной микрофлоры.

Метагеномика дает точную картину всего спектра бактерий кишечника и позволяет определить, как они взаимодействуют друг с другом и с организмом-хозяином. Одна из основных проблем в ее применении на практике — обработка огромного массива данных. При сегодняшних возможностях быстрого секвенирования генома всего микробного сообщества, обосновавшегося в организме человека,

нужно вычленил из этой информации то, что связано с нашим здоровьем. Для этого привлекаются математические методы обработки данных. Далее лечащим врачам необходимо будет понять, какие изменения происходят в микробиоме данного пациента и по какой причине; только тогда можно подобрать адекватную схему лечения.

Например, большинство из нас выступают носителями кишечной бактерии *Escherichia coli*, оставаясь при этом совершенно здоровыми. Релман связывает надежду на «лечение» кишечной микрофлоры с поддержанием в должном состоянии

всей микросистемы, которая могла бы сдерживать распространение опасных пришельцев, проникших в наш организм, подобно тому как «здоровая» макросистема не позволяет разрастаться сорнякам.

Мы должны культивировать свое микробное сообщество так, как культивировали бы приусадебный участок. В этом кардинальное отличие нового подхода от «залпового» приема антибиотиков, который часто приводит к нежелательным последствиям. Антибиотики широкого спектра действия уничтожают не только патогены, но и полезные бактерии, открывая путь к быстрому размножению новых

«пришельцев». Ингибиторы протонов, принимаемые для нейтрализации кислоты в желудке, изменяют pH его содержимого, что создает непереносимые условия для многих полезных микроорганизмов.

Метагеномика же подразумевает применение целого ряда процедур, подобранных так, чтобы направленно повлиять на микробиом, вводя микроорганизмы, преобладающие в кишечнике здорового человека, и все это — на фоне тщательно подобранной диеты.

Кэтрин Хармон Каридж

Вычисления в облаке

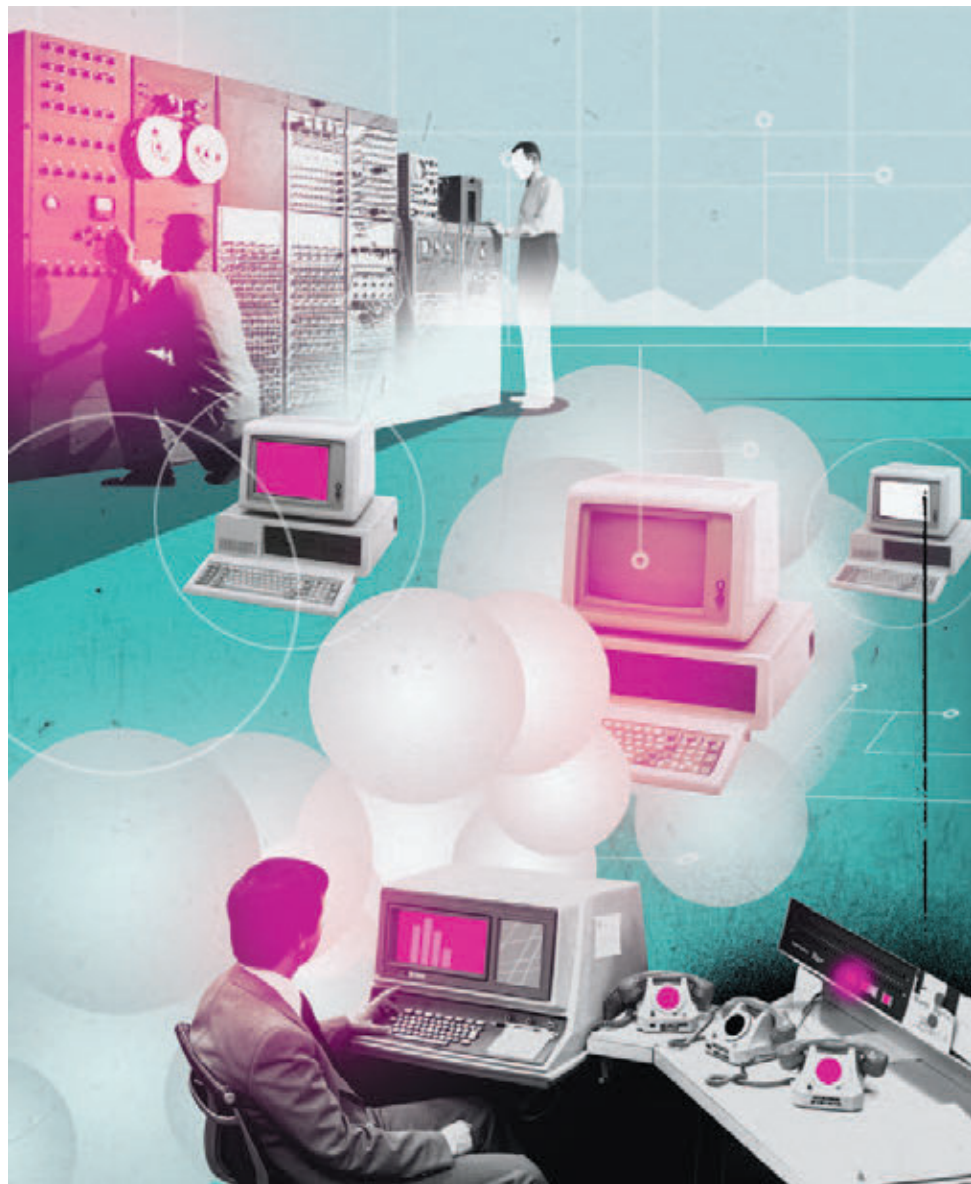
Микросхемы защиты нового типа предохраняют от крупномасштабного снупинга

Подключение ноутбука или смартфона к огромным удаленным вычислительным банкам открывает доступ к гораздо большим мощностям обработки данных, чем те, которые когда-либо могли бы быть достигнуты в любом из этих устройств, но в то же время и ко всем вашим данным и документам из любой точки мира. Ахиллесова пята безопасности: данные, живущие в облаке, уязвимы для хакеров.

Однако решения проблемы могут быть на подходе. Исследователи из Массачусетского технологического института сообщают, что они разработали способ защиты серверов от хакерских атак методами анализа схемы доступа к памяти и времени выполнения некоторых вычислений. Короче говоря, решение состоит в установке микросхемы, которой они дали название *Ascend* и которая посылает дымовую завесу ложной информации каждый раз, когда сервер запрашивает данные из удаленного источника.

Даже если данные зашифрованы, способ их хранения и предоставления доступа к ним — схемы доступа к памяти — может раскрыть конфиденциальную частную информацию. Допустим, человек обращается к *Google Maps* и запрашивает маршрут от Бостона до Торонто. «Наблюдая схему доступа, перехватчик данных узнает, где вы находитесь, ваш маршрут и пункт назначения», — говорит специалист по информатике Кристофер Флетчер (*Christopher Fletcher*) из МТИ.

Облачные серверы могут выведывать секреты и по количеству времени, которое затрачивает компьютер на некоторые вычисления. Представьте себе, что облачный сервер получает задание сравнить снимок подозреваемого, сделанный



камерой наблюдения, с разными снимками во Всемирной паутине. «Изображение может быть зашифровано и, следовательно, защищено от посторонних глаз, но шпионская программа облачного сервера все же может определить, с какими

несекретными фотографиями оно сравнивается», — говорит Флетчер. Время, затрачиваемое сервером на сравнение, может выявить кое-что об изображении подозреваемого. «Снимки явно непохожих людей отвергнуть легко, а для различения

Микросхема защиты посылает запросы к памяти компьютера через регулярные интервалы времени даже тогда, когда процессор занят и ему не нужны новые данные: это не позволяет шпиону узнать, сколько времени обрабатывается какая-то определенная порция данных

в сети. Для поддержания надежности этой дымовой завесы Ascend меняет порядок опроса узлов.

Метод защиты от атак с анализом времени выполнения вычислений, примененный в микросхеме Ascend, более прост: она через регулярные интервалы времени посылает запросы к памяти компьютера «даже тогда, когда процессор занят и ему не нужны новые данные», — говорит Флетчер. Это не позволяет шпиону узнать, сколько времени компьютер обрабатывает какую-то определенную порцию данных.

Однако эта защита не дается даром: Ascend будет работать шестеро медленнее обычных серверных микросхем, выполняющих популярные у пользователей программы. «Есть разница между Google, представляющим вам ответ с той скоростью, с какой он сегодня работает, и получением ответа с задержкой на несколько секунд», говорит Флетчер. Хуже то, что Ascend существует пока только в теории: Флетчер с коллегами детально представили ее архитектуру в июне 2013 г. на Симпозиуме по архитектуре компьютеров в Тель-Авиве, сейчас они ее строят и рассчитывают закончить изготовление прототипа в начале 2015 г.

Чарльз Чой

изображений людей, очень похожих друг на друга, требуется больше времени», — объясняет Флетчер.

Эти два типа атак особенно опасны потому, что они скрытны. Человек, сделавший запрос в Google Maps, и люди, анализирующие снимок подозреваемого, получают те же самые результаты, какие они получили бы в отсутствие всякого постороннего вмешательства. «Он не может знать, что секретность была нарушена», — говорит Флетчер. Для защиты от атак методом анализа схемы доступа к памяти сервер может при каждом обращении к какому-то адресу запрашивать информацию со всех известных ему адресов, а затем

отбрасывать все данные кроме тех, которые ему нужны. Проблема с таким подходом очевидна: он требует неприемлемо больших затрат времени.

Схема работы Ascend экономнее. Сначала микросхема присваивает случайному узлу в сети данных некую порцию данных, которые она могла бы искать. Когда процессор запрашивает данные из определенного узла в сети (например, адрес в Торонто), он должен послать запросы всем другим узлам в сети, связанным с этим узлом: узлам, содержащим адреса по всем точкам мира от Тампы до Тимбукту. Шпион не может понять, какой именно узел интересует компьютер на любом из путей

Лекарственные средства

Лаборатория размером с ящик для инструментов проверяет качество лекарственных препаратов

До 30% лекарственных препаратов, поступающих на рынок развивающихся стран, низкого качества — потому, что их либо изготавливали ненадлежащим способом, либо неправильно хранили, либо производили на подпольных предприятиях. Такие лекарства малоэффективны, дают множество побочных действий, а иногда приводят к гибели пациента. Обнаружить подделку или некачественный продукт очень трудно, а во многих странах третьего мира отсутствуют даже простейшие системы контроля. Оборудование для тестирования стоит дорого, оно громоздкое и сложное в применении, а получаемая информация недостаточно полна и достоверна.

Простое решение предлагает Бостонский университет, создавший компактное и недорогое устройство под названием *PharmaCheck*. Размером оно не превосходит ящик для инструментов, но измеряет концентрацию активных ингредиентов препарата и скорость их превращения.

«Последнее принципиально отличает *PharmaCheck* от других приборов, — говорит Мухаммад Заман (Muhammad Zaman), инженер, руководитель проекта. — Слишком быстрое превращение активных ингредиентов может привести к передозировке».

Работает *PharmaCheck* следующим образом. Таблетку или капсулу помещают в воду объемом несколько децилитров и добавляют раствор флуоресцирующего вещества, прилагаемый к прибору. Флуоресцентный зонд связывается с активным ингредиентом данного лекарственного препарата или группы препаратов. Связывание происходит в крошечных каналах кремнево-полимерного чипа. Свет, испускаемый флуоресцирующим зондом, улавливается датчиком. Его показания с помощью компьютерной программы, разработанной в лаборатории Замана, автоматически переводятся в концентрацию тестируемого ингредиента. Следя за изменением концентрации во времени, определяют скорость превращения ингредиента, и уже через минуту можно сказать, качественный препарат или нет.

Зимой Заман собирается провести испытания своего устройства в Гане и Индонезии в рамках международной программы *Promoting the Quality of Medicines*. Пока в его арсенале имеются три зонда для тестирования наиболее распространенных медикаментов — противомаларийных средств и антибиотиков. На подходе — зонды для препаратов, стимулирующих сокращение матки, а также для противотуберкулезных медикаментов и лекарственных средств, применяемых при ВИЧ-инфекции. Пока *PharmaCheck* тестирует одномоментно только один активный ингредиент. Он

не может напрямую выявлять нежелательные примеси, но поскольку последние обычно влияют на превращение активных ингредиентов, информацию об их наличии можно получить косвенным путем.

PharmaCheck — это лишь одна из инноваций, иллюстрирующих успехи в развитии технологий, которые тестируют растворы в каналах диаметром менее миллиметра. «Еще десять лет назад таких технологий просто не существовало», — говорит Заман. В будущем так называемые «лаборатории на чипе» будут проверять пищевые добавки, пробы крови и слюны, медицинские препараты, применяемые в ветеринарии.

На стадии разработки находятся и другие методы тестирования нестандартных медикаментов. Так, химики из Университета Нотр-Дам в Саут-Бенде (штат Индиана) используют для этого специальные индикаторы в виде бумажных карточек. Карточку смачивают водой и прикладывают к раздробленной таблетке. В результате на бумаге появляется набор цветных пятен, по которому можно судить о содержании таблетки.

Если такие способы тестирования ввести в практику небольших фармацевтических компаний, обучить работать с ними фармацевтов, медиков и тех, кто занимается проверкой качества лекарств, то контроль можно будет осуществлять на всех стадиях их изготовления, в процессе хранения и перед использованием. Это поможет исключить наводнение фармацевтического рынка беднейших стран контрафактной продукцией и такими продаваемыми через Интернет «блокбастерами», как виагра.

Дейзи Юхас

Заболевания

Небольшие одноразовые тюбики с гелем антисептика могут ежегодно спасать жизни 500 тыс. новорожденных

У новорожденных в сельских регионах Непала отсеченный пупочный канатик обычно перетягивают хлопчатобумажной ниткой. У многих народов культу обмазывают золой, минеральным маслом, специями, особой грязью или даже калом. Принимающие роды далеко не всегда обрабатывают руки антисептиком, а пуповину перерезают грязным ножом, ножницами, бритвенным лезвием или просто осколком стекла. Свежеперерезанный пупочный канатик — прекрасное место для размножения бактерий, и такое обращение с ним — основная причина массового инфицирования новорожденных в странах третьего мира.

Долгое время в акушерской среде придерживались мнения, что пуповинную культу не следует ничем обрабатывать, пока она не отпадет сама. В клиниках развитых стран с их стерильными условиями такая практика вполне разумна. В развивающихся же странах врачи стали от нее постепенно отходить. Если культу обрабатывать хлоргексидином, недорогим, широко применяемым и легко доступным антисептиком, это поможет ежегодно спасать жизни 500 тыс. новорожденных.

Хлоргексидин давно используется в хирургии; он эффективен, безопасен, прост в применении, не требует хранения в холодильнике. Это более мощный антисептик, чем мыло, и более мягкий, чем другие средства этого типа. Одноразовый тюбик с гелем хлоргексидина стоит всего 23 цента.

В 2002 г. Люк Маллани (Luke Mullany), эксперт в области здравоохранения, вместе с коллегами из Университета Джона Хопкинса начал испытание нового метода в Непале. Результаты не вызвали сомнений: при обработке культуры хлоргексидином в течение первых пяти дней после рождения смертность уменьшилась на 24%. Если бы такая процедура применялась повсеместно во всех развивающихся странах, это помогло бы спасти жизнь каждому шестому младенцу. «Мы можем в корне изменить ситуацию с детской смертностью», — говорит Карл Боуз (Carl Bose), неонатолог из Университета Северной Каролины в Чапел-Хилле.

В Непале, где большинство новорожденных появляются на свет дома, работники службы здравоохранения распространяют



одноразовые тюбики с гелем хлоргексидина среди женщин на последнем месяце беременности. Пока эти мероприятия оплачивают западные страны, но правительство Непала намеревается начать финансирование программы, охватывающей всю страну, к 2015 г. Аналогичные пилотные проекты осуществляются в Нигерии, Занзибаре и Замбии.

Ожидается, что Всемирная организация здравоохранения будет рекомендовать применение хлоргексидина при всех домашних родах, поскольку риск инфицирования в таких случаях выше обычного. Сторонники этой инициативы выражают ей полную поддержку, но отмечают, что пока ВОЗ не настаивает на запрете традиционного выжидательного подхода в отношении пуповины в медицинских учреждениях развивающихся стран, однако рекомендует при этом применять хлоргексидин. Антисептики могут увеличивать время отпадения культуры, но, как показывают наблюдения, риск инфекции это не повышает.

Дина Файн Марон

Электронные дисплеи

Гибкие, способные растягиваться экраны, возможно, приведут к созданию карманных планшетников, сворачиваемых в рулон

Исследователи уже несколько лет пытаются разработать гибкие электронные дисплеи. Это был бы прорыв, позволяющий создать сворачиваемые в рулон планшетные компьютеры и одежду с растяжимыми видеоскренами, вделанными в ткань. Главной проблемой всегда была необходимость найти сверхтонкую

По тонкости, легкости и гибкости светодиодные дисплеи схожи с пищевой пленкой

гибкую подложку для дисплея. Дисплеи на полимерных светодиодах (Polymer Light-Emitting Diode, PLED), применяемые сегодня в сверхдорогих чрезвычайно тонких телевизорах, имеют толщину всего в несколько микрон и гибки, но изготавливать их приходится на подложках из стекла или пластика, которые в тысячи раз толще самих светодиодов и совсем не гнутся.

Однако изменение технологии изготовления может позволить избавиться от этих толстых негибких подложек. Международная группа ученых, используя метод самоклеянки, сумела создать PLED-дисплеи толщиной всего 2 мкм — в несколько раз тоньше пищевой пленки.

Сначала они наложили майларовую пленку толщиной 1,4 мкм, которая должна служить подложкой для PLED-дисплея, на жесткую стеклянную пластину. «Эта пленка подобна той, что накладывают для защиты экранов большинства новых смартфонов

и планшетных компьютеров при заводской упаковке, — говорит материаловед Мэтью Уайт (Matthew White) из Университета Иоганна Кеплера в Линце (Австрия). — Мы просто поняли, что можем применить для изготовления устройства метод самоклеянки, и тем самым отодвинули предел уменьшения толщины подложки».

На майларовой пленке, наложенной на стекло, Уайт с коллегами сформировали PLED-дисплей. Он состоит из трех слоев: металлического электрода толщиной 100 нм, прозрачного электрода толщиной 200 нм и слоя светодиодов толщиной от 225 до 330 нм между этими электродами. Затем пленку с дисплеем они отделили от стекла. Получился дисплей, легкий, гибкий и сминаемый, как пищевая пленка.

Нанесение элементов PLED-дисплея на тонкую резиноподобную пленку позволяет создать дисплей, способность которого растягиваться теоретически ограничивается только свойствами подложки.

Летом 2012 г. ученые изготовили два восьмипиксельных гибких дисплея — один с красным свечением, другой с оранжевым. Пиксели имели размер 3 × 6 мм — гораздо больше, чем в современных экранах высокого разрешения. Однако по яркости свечения PLED почти соответствуют требованиям к дисплеям, а что касается размеров, то ученые уверены, что легко смогут их уменьшить.

Однако до того, как эти дисплеи смогут выйти на рынок, предстоит преодолеть еще множество препятствий. Главное из них — нестабильность металлических электродов на воздухе: светодиоды постепенно угасают всего примерно за час. Поэтому для вывода технологии на рынок потребуются другие материалы. Кроме того PLED-дисплеи имеют довольно низкую энергоэффективность, но Уайт говорит, что его группа знает, как сделать их такими же экономичными, как и обычные осветительные приборы.

Чарльз Чой

Перевод: И.Е. Сацевич,
Н.Н. Шафрановская

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Reversibly Assembled Cellular Composite Materials. Kenneth C. Cheung and Neil Gershenfeld in Science. Vol. 341, pages 1219–1221; September 13, 2013.
- О мягких роботах: liebertpub.com/SoRo
- Видео о том, как из метаматериалов можно создать плащ-невидимку, см. по адресу: ScientificAmerican.com/dec2013/world-changing-ideas



Выходит 6 раз в год

Познавательный журнал для хороших людей

В ближайшем будущем органы для трансплантации будут производиться методом трехмерной печати из клеток самого пациента

Противоопухолевый препарат RL2 – генно-инженерный аналог белка женского молока лактапина, разработанный новосибирскими исследователями, сейчас проходит стадию доклинических испытаний

Магнитно-резонансная томография позволяет в прямом смысле увидеть работу мозга в режиме реального времени

Парижский издатель всемирно известной «Энциклопедии» под редакцией Д. Дидро был книготорговым комиссионером Петербургской Академии наук

В древнем Китае процесс изготовления лакового изделия мастером шел под руководством и контролем нескольких чиновников разного ранга

ПОДПИСКА на 2014 г.

«Роспечать», индекс **46495**
«Пресса России», индекс **42272**

На сайте журнала:

www.sciencefirsthand.ru

В редакции: zakaz@infolio-press.ru



ФЕВРАЛЬ 1964

Вред от табака. «Курение сигарет имеет причинную связь с раком легких у мужчин; его влияние намного перевешивает воздействие всех прочих факторов». Это решительное заявление в публикации Министерства здравоохранения США от 11 января дает ответ на вопрос, обсуждавшийся больше

десяти лет. Результаты первого крупномасштабного статистического исследования вреда сигарет были опубликованы в 1954 г. За девять лет, прошедших после этой публикации, от рака легких умерло больше 300 тыс. американцев. И все эти девять лет табачная индустрия опиралась на единственный аргумент: статистическая связь между курением и заболеванием не доказывает причинно-следственной связи.

Вред от фильмов. «Вполне можно предположить, что агрессивное поведение вызывается больше сценами насилия в фильмах, чем агрессивными наклонностями человека. На самом деле жестокость в телевизионных фильмах может побуждать к агрессивным действиям не только людей с эмоциональными нарушениями, но и вполне нормальных людей. Я бы добавил важную оговорку: нормальные люди совершают такие действия только в определенных условиях. На некоторые из условий, которые способны побудить зрителей жестоких фильмов к агрессивным действиям, указывают эксперименты». — Леонард Берковиц (Leonard Berkowitz).

Примечание: сегодня Берковиц — почетный профессор психологии Висконсинского университета в Мадисоне.



ФЕВРАЛЬ 1914

Существует ли мировой эфир?

Понятие о мировом эфире, пронизывающем все пространство, пережило много перемен. На сегодня существуют по крайней мере три теории. Одна рассматривает эфир как несжимаемую среду, очень жесткую и очень плотную, другая — как состоящий из частиц,

намного меньших электрона, а третья вообще отрицает его существование и стремится исключить из списка физических понятий. И эта последняя день за днем набирает все больше сторонников. И мы снова видим возрождение таинственного и весьма пугающего представления об абсолютной пустоте мирового пространства, хотя с введением понятия эфира оно казалось успешно исключенным.

Большая сталь. На заводе компании *Illinois Steel Co.* в Южном Чикаго поражает всепроникающая атмосфера первоочередности безопасности. Во всех местах, где существует возможность несчастных случаев, развешаны

предупредительные таблички на пяти языках. Более того, сами люди кажутся пропитанными духом заботы о безопасности и с энтузиазмом поддерживают соответствующие методы работы. На приводимой иллюстрации показан большой ковш с расплавленным металлом.

Примечание: слайд-шоу о технике черной металлургии см. по адресу: www.ScientificAmerican.com/feb2014/steel-1914



Сталь для века машин: ковш с 50 т расплавленного металла, 1914 г.



ФЕВРАЛЬ 1864

Полемика о метрической системе.

Английские консерваторы яростно ополчились против предложения о введении метрической системы мер и весов в Англии. Это предложение, к которому убедительно призывали страны христианского мира, в ходе общего рассмотрения на недавнем Национальном конгрессе в Берлине, где США представлял Сэмюел Рагглиз (S.B. Ruggles) из Торговой палаты Нью-Йорка, озвучил в Палате общин м-р Уильям Юарт (William Ewart). Представитель тори в еженедельной прессе Лондона Джон Булл (John Bull) отверг это предложение как «абсурдное и наглое» и как «идею, которая могла прийти в головы только тупицам, вигам и революционным тиранам».

Примечание: метрическая система была принята в 1799 г. в революционной Франции.

Америка и измерения. «Господа редакторы, по прочтении отчета о французской метрической системе у меня возникла мысль, что времени и денег, потраченных на пропаганду и поддержание нашей беспорядочной системы мер, хватило бы на то, чтобы дать всему населению университетское образование». — Дж. Иди (J. Edi).

Сарафанное радио доносит. Калифорнийский изюм — величайшая новинка. Он не хуже лучших импортных сортов, но не так дорог. В восточных штатах его пока очень мало, но со временем он вытеснит с рынка импортный. ■

Необычное грибковое
заболевание, обнаруженное
в Канаде и США, • • • • •

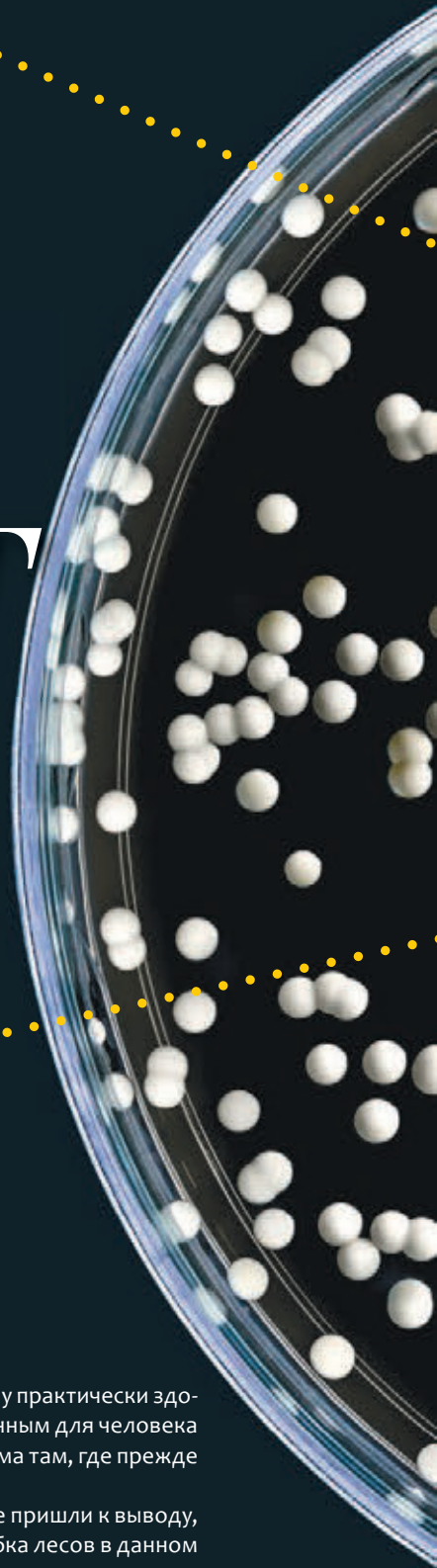
Дженнифер Фрэзер

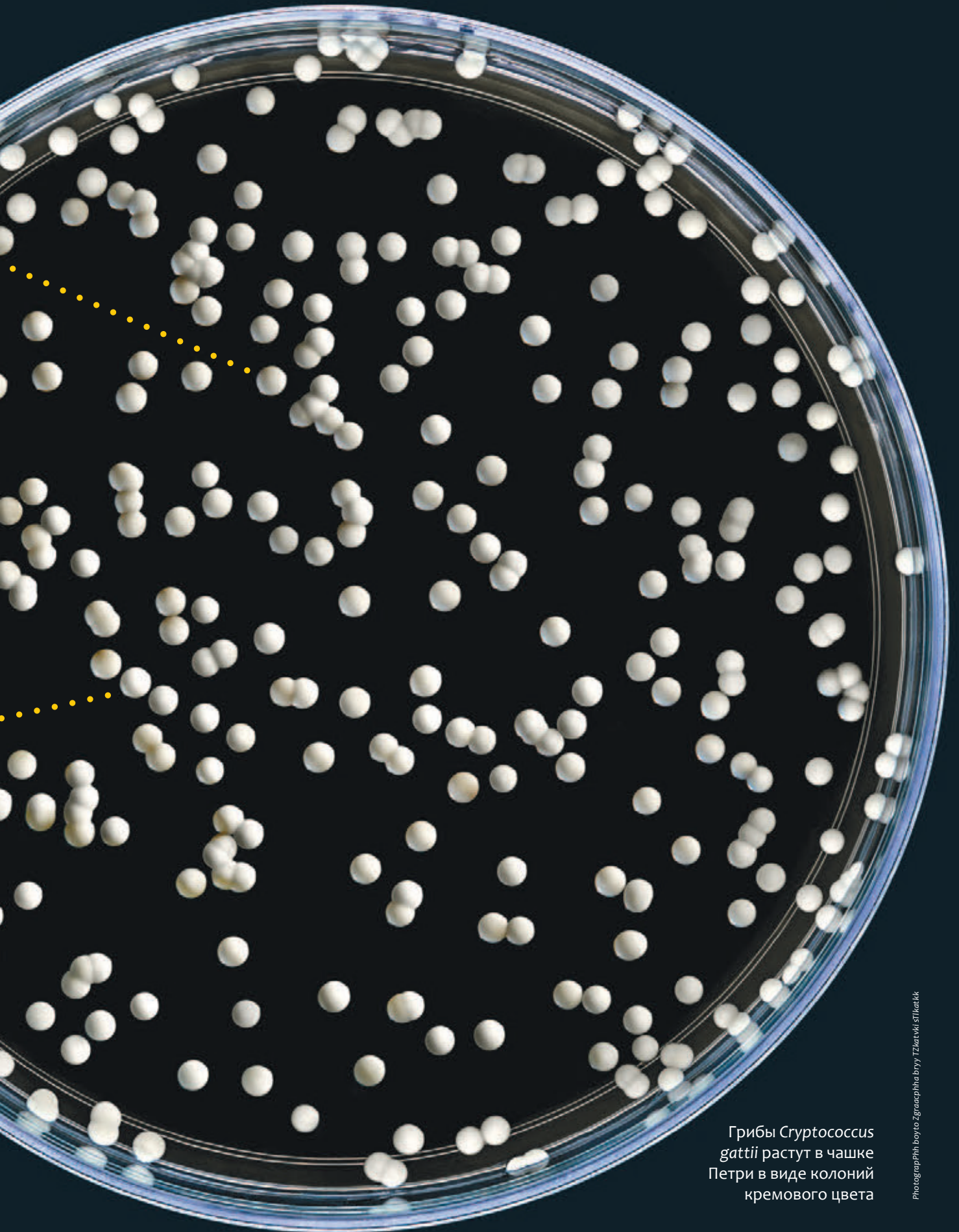
ГРИБЫ АТАКУЮТ

несет новую • • • • •
угрозу здоровью
человечества

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Распространяемые воздушно-пылевым путем дрожжи, вызвавшие в 2001 г. заболевание у практически здоровых людей на острове Ванкувер (Британская Колумбия, Канада), стали первым патогенным для человека грибом, неожиданно превратившимся в вирулентную разновидность этого микроорганизма там, где прежде она не встречалась.
- Определить происхождение нового патогена оказалось трудно. В конце концов ученые пришли к выводу, что одними из провоцирующих факторов стали потепление климата и интенсивная вырубка лесов в данном регионе.
- Скорее всего, вспышки грибковых инфекций продолжатся. Чтобы поставить заслон на их пути, необходимо усилить контроль импортируемых из эндемичных регионов земного шара растений и животных, а также заниматься поисками более эффективных лекарственных средств.





Грибы *Sporosaccus gattii* растут в чашке Петри в виде колоний кремового цвета

ОБ АВТОРЕ

Дженнифер Фрэйзер (Jennifer Frazer) — журналист и блогер, пишет статьи для *Scientific American Blog Network*, сотрудничает также с журналами *Nature* и *High Country News*. Лауреат премии Американской ассоциации содействия развитию науки (AAAS).



В 2001 г. на юго-восточное побережье острова Ванкувер в провинции Британская Колумбия (Канада) выбросило туши морских свинок, чьи легкие были заполнены дрожжами. Пораженные органы весили в несколько раз больше нормы, для воздуха места в них почти не оставалось. Ванкуверские ветеринары раньше не видели ничего подобного. У кошек и собак тоже отмечались проблемы с дыханием, неизвестное респираторное заболевание встречалось и среди людей, живущих вне тихоокеанского побережья Канады. Их мучили непрекращающийся кашель, слабость, бессонница, при рентгеновском обследовании в легких и спинном мозге выявились узелковые образования. Последующая биопсия показала, что это не очаги опухолевого роста, а скопления дрожжевых клеток.

При всех различиях в симптомах у морских свинок, домашних животных и человека виновник заболевания был один: *Cryptococcus gattii*. Этот микроорганизм на острове никогда не встречался, и не было известно ни одного случая его выживания вне тропиков и субтропиков. И вот теперь он обнаружился в совершенно иных климатических условиях, а как он туда попал и когда — никто не знал; неизвестны были и число уже зараженных людей и животных, а также вероятность дальнейшего распространения патогена. Здесь было над чем подумать.

Грибы — давно известные паразиты растений, на востоке США они часто поражают вязы и каштаны. Не так давно эпидемии грибковых заболеваний стали обычными среди животных. Что касается человека, то грибы вызывали в основном только инфекционные заболевания кожи. Мощная иммунная система и слишком высокая для большинства этих микроорганизмов температура нашего тела препятствовали их размножению, и считалось, что здоровому человеку они не страшны.

Впрочем, было известно несколько исключений. В США такие передаваемые воздушно-пылевым путем инфекционные заболевания, как ривинная лихорадка на Юго-Западе и гистоплазмоз на Юго-Востоке, постепенно ослабляли здоровье людей. По неясным причинам в период между 1999 и 2011 г. заболеваемость ривинной лихорадкой увеличилась в восемь раз. За последние десять лет частота грибковых инфекций тоже значительно выросла, поскольку иммунная система миллионов людей была ослаблена в результате приема противомикробных средств: свою лепту внесло и применение иммуносупрессантов при пересадке органов. В таких условиях патогены всегда процветают. Но в целом вспышки грибковых заболеваний среди здоровых людей все же

были редкими и возникали там, где климатические условия благоприятствовали размножению возбудителей.

Ситуация с *C. gattii* была иной. Еще до появления в Ванкувере инфекция возникала непредсказуемым образом среди вполне здоровых людей то в одном месте, то в другом, но до массовых заболеваний дело не доходило. Распространение на территорию Канады с ее более суровым климатом, чем в других местообитаниях *C. gattii*, ознаменовало новый шаг в эволюции микроорганизма, который в новых условиях необъяснимым образом стал более опасным для человека. В период между началом вспышки (2011 г.) и ее завершением (конец 2012 г.) в Британской Колумбии было инфицировано 337 человек, две трети из них проживали на острове Ванкувер. А к 2005 г. *C. gattii* распространился далеко к югу, вдоль северо-западного тихоокеанского побережья США. С тех пор было инфицировано по крайней мере 100 человек, от 25 до 30% из них умерли. «Это очень высокая смертность для заболевания, вызванного грибами, лишь недавно освоенными новыми территориями», — считает Джозеф Хейтман (Joseph Heitman), директор Центра по изучению патогенеза микробных заболеваний в Университете Дьюка. Примерно у половины умерших был ослаблен иммунитет в результате приема медикаментов или длительных заболеваний (речь не идет о СПИДе), а многие страдали такими недугами, как диабет. Но 20% до этого были совершенно здоровы. «Представьте себе человека, не испытывающего никаких проблем со здоровьем, много времени проводящего на воздухе — и вдруг серьезно заболевшего», — добавляет Хейтман.

Все последующие вспышки заболевания, вызванные *C. gattii*, говорили о том, что микроорганизм неуклонно продвигается к югу. Иммунолог Артуро Касадевалл (Arturo Casadevall) из Медицинского колледжа Альберта Эйнштейна полагает, что дрожжи — грибы, существующие в виде отдельных клеток, — в конце концов достигнут Флориды. Несомненно, события в Британской Колумбии и на северо-западном побережье Тихого океана — важная веха в «истории болезни» человечества: произошла первая вспышка заболевания, вызванного грибами, которые неожиданно стали гораздо более вирулентными, чем прежде, причем случилось это в регионе, где данный микроорганизм ранее не встречался. Таким образом, история с *C. gattii* высвечивает одну тревожную тенденцию: вполне здоровый человек не может больше рассчитывать на то, что его иммунная система справится с любым ставшим вирулентным грибом. И глобальное потепление только усугубляет проблему.

Вездесущий и неостановимый

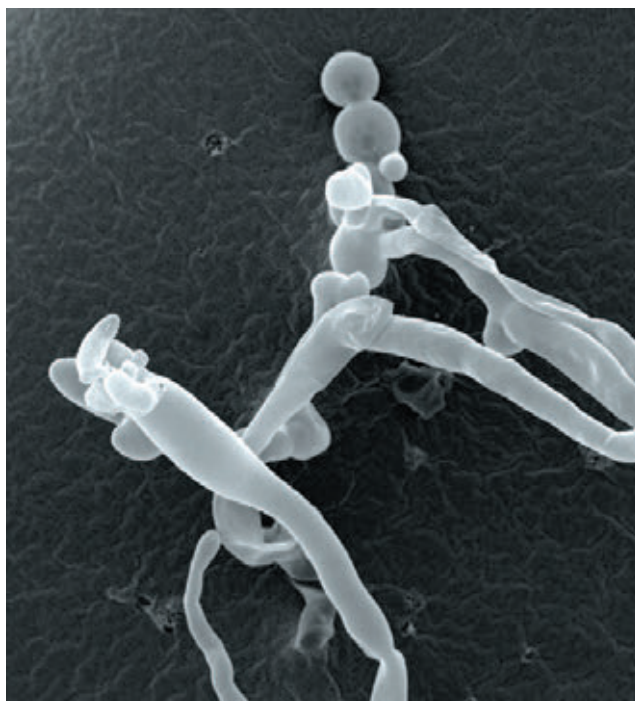
Вспышка 2001 г. на острове Ванкувер, как обнаружилось позже, была не первым инцидентом, просто все предыдущие случаи работники здравоохранения упустили. По словам Марри Файфа (Murray Fyfe), работавшего ранее в Центре по контролю распространения инфекционных заболеваний в Британской Колумбии, первым тревожным сигналом был звонок от одного ветеринара из провинции, который сообщил ему о странном увеличении числа инфицированных грибом *Cryptococcus* кошек и собак на острове Ванкувер. Местные врачи заметили также рост заболеваемости среди людей. Тестирование показало, что возбудителем выступает не обычный гриб *Cryptococcus neoformans*, а другой вид — *C. gattii*. Врачи обратились к коллекциям культур центра с тем, чтобы проверить, встречались ли случаи заражения *C. gattii* людей на острове Ванкувер раньше и не могло ли так случиться, что их ошибочно отнесли на счет *C. neoformans*. Обнаружилось, что подобного рода инциденты действительно имели место начиная с 1999 г., но не ранее.

Файф, работающий сейчас в Управлении здравоохранения Ванкувера, попытался выяснить, где находится убежище необычных грибов. Он собрал группу микробиологов, которые должны были отслеживать случаи появления болезни на острове и всей территории Британской Колумбии. Ученые опрашивали больных и владельцев инфицированных домашних животных, чтобы идентифицировать факторы риска — наличие в прошлом тех или иных заболеваний, поездки в эндемичные регионы и т.д.; их интересовала даже такая деталь, как присутствие на придомовых участках эвкалиптовых деревьев, на которых в Австралии паразитируют *C. gattii*. Все эти особенности сравнивались с таковыми у здоровых людей.

Для того чтобы выяснить, как ведут себя *C. gattii* в природных условиях, Файф обратился к Карен Бартлетт (Karen Bartlett) из Университета Британской Колумбии, специалисту по поведению биологических аэрозолей, в частности спор грибов. В первую очередь Бартлетт исследовала несколько видов эвкалиптов, растущих на острове. Но ни на них, ни на других деревьях, ни в почве следов *C. gattii* не обнаружилось.

Итак, никаких особых средовых факторов, которые могли бы повлиять на вероятность заболевания именно данного человека, а не другого, не выявилось. Заболевшие встречались то тут, то там на территории вдоль восточного побережья острова, никакого «эпицентра» не наблюдалось. Ни один из них не бывал в Австралии или других экзотических местах, где можно было подхватить инфекцию.

Положение казалось безвыходным, но делу помог случай: шесть месяцев спустя было обнаружено некоторое число инфицированных людей, не живших постоянно на острове, но путешествовавших по тем местам. Часть из них посещала национальный парк Раттревор-Бич на острове Ванкувер. После долгих поисков Бартлетт с коллегами обнаружили то, что искали, в образце



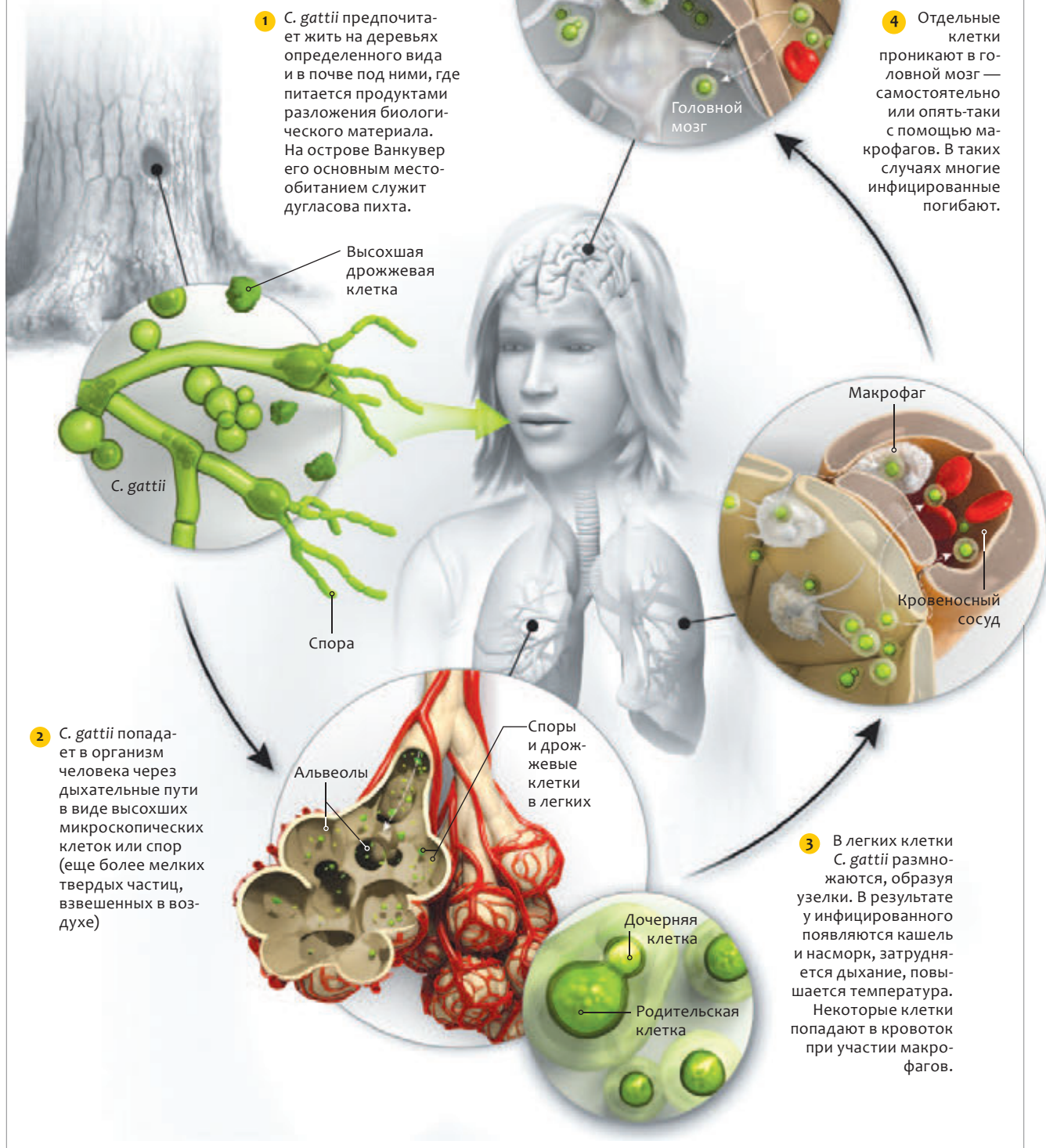
Размножение: несколько спор *C. gattii*, имеющих форму сосиски, группируются вокруг булавовидной структуры (слева); споры образуют длинные цепочки (здесь они показаны в укороченном виде)

древесины дугласовой пихты, широко распространенной в данной местности. Такого никто не ожидал. В конце концов было изолировано 57 образцов *C. gattii* в древесине 24 деревьев. К концу лета 2002 г. грибы выделили из почвы, воздуха и древесины в Виктории и окрестностях, на южной оконечности острова, где проживает основная часть населения. Не исключено, что все они контактировали с *C. gattii*; что с этим делать — не знал никто.

На этом неприятности не кончились. Данные, собранные в период между 2002 и 2006 гг., показали, что заболеваемость на острове Ванкувер втрое превышала такую в Австралии и составила 28 человек на 1 млн. Отчасти ситуация была связана с тем, что агрессивный патоген появился в Северной Америке сравнительно недавно и мало кто из местных жителей приобрел к нему иммунитет. Исследование самого возбудителя привело к неутешительным выводам. Он выживал в пресной и соленой воде, мог годами существовать в частичках почвы, прилипшей к обуви. К тому же *C. gattii* вышел за пределы острова и начал распространяться по всей Британской Колумбии, предпочитая территории с сухим климатом и мягкими зимами. В феврале 2006 г. к своему лечащему врачу обратился пожилой мужчина, страдающий лейкозом, с жалобами на кашель. Он проживал на одном из островов вблизи тихоокеанского побережья штата Вашингтон и никогда не был в Канаде. В посеве мокроты был выявлен *C. gattii*, а генетический анализ, проведенный Хейтманом совместно с сотрудниками Онкологического центра им. Фреда Хатчинсона в Сиэтле, показал идентичность гриба со штаммом, циркулирующим на острове Ванкувер.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ГРИБОВ В ОРГАНИЗМЕ ЧЕЛОВЕКА

Для того чтобы выяснить, как *C. gattii* попадает в организм человека и прокладывает путь к головному мозгу, понадобились годы исследований. К счастью, этот гриб не передается от человека к человеку.



Почему именно сейчас?

Несмотря на некоторые успехи, достигнутые в изучении новой разновидности *C. gattii*, до сих пор неизвестно, как давно грибок появился в Британской Колумбии и на севере США, каково его происхождение и почему он вдруг стал таким вирулентным. Ответ ученые надеются получить, исследуя генетику микроорганизма.

Как показывают результаты генетического анализа, *C. gattii*, возможно, начал «осваивать» остров Ванкувер за несколько десятилетий до 1999 г. Нуклеотидная последовательность 30 специфических сегментов ДНК наиболее распространенной на острове разновидности, *VGIIa*, отвечающей за 90% случаев заражения на Ванкувере, идентична таковой у ДНК, выделенной из мокроты жителя Сиэтла в 1971 г. Посещал ли этот человек остров, неизвестно. Так или иначе, ясно, что *VGIIa* присутствовал на северо-западном побережье Тихого океана по крайней мере 40 лет. За годы, прошедшие со времени вспышки инфекции, было установлено, что менее вирулентные разновидности *C. gattii*, никак себя не проявлявшие, присутствуют и в Северной Америке, так что, возможно, *VGIIa* появился в результате эволюции именно здесь. Не исключено, однако, что «родиной» всех вариантов *C. gattii* могут быть Африка, Австралия или Южная Америка — регионы, эндемичные по этому патогену.

Вторая разновидность *C. gattii*, *VGIIb*, тоже была причастна к вспышке грибковой инфекции в 1999 г. на Ванкувере, но на ее долю пришлось всего 10% заболевших. Она идентична штамму, циркулирующему в наши дни в Австралии. Возможно, этот континент и есть его родина. В штате Орегон сейчас распространены обе формы, но встречается и третья, *VGIIc*. Последний штамм появился здесь совершенно неожиданно в 2005 г., но возник ли он в данном штате или где-то еще, непонятно.

Как показали опыты на мышах, проведенные в лаборатории Хейтмана, разновидности *a* и *c* — самые вирулентные из всех когда-либо изученных *Cryptococcus*. Данный факт наряду с другими навел Хейтмана на мысль, что они появились в результате скрещивания каких-то неизвестных типов *C. gattii*. Половое размножение приводит к увеличению биоразнообразия популяции, поскольку родительские ДНК, соединяясь, образуют новые комбинации. Кроме того, при половом размножении возникают мутации, в результате которых у гибридов появляются новые признаки. Скрещивание могло происходить либо в Северной Америке, либо в эндемичных для *C. gattii* Австралии, Южной Америке или Африке, где пока просто не удалось найти родительские формы.

Неизвестно также, прибыли ли агрессивные формы с других континентов, и если да, то совместно или порознь. Способов миграции существует множество: вместе с импортируемыми растениями-хозяевами или животными, с почвой на подошве обуви пассажиров самолетов и морских судов; споры грибов могли принести ветер или океанские воды, они могли находиться в балластной воде теплоходов. Инфицированные морские свиньи могли пересечь Тихий океан, а их останки, зараженные грибами, могло выбросить на берег, микроорганизмы же

затем попали вглубь территории вместе с грязью, прилипшей к обуви жителей и колесам машин. Все это могло случиться и очень давно, и совсем недавно.

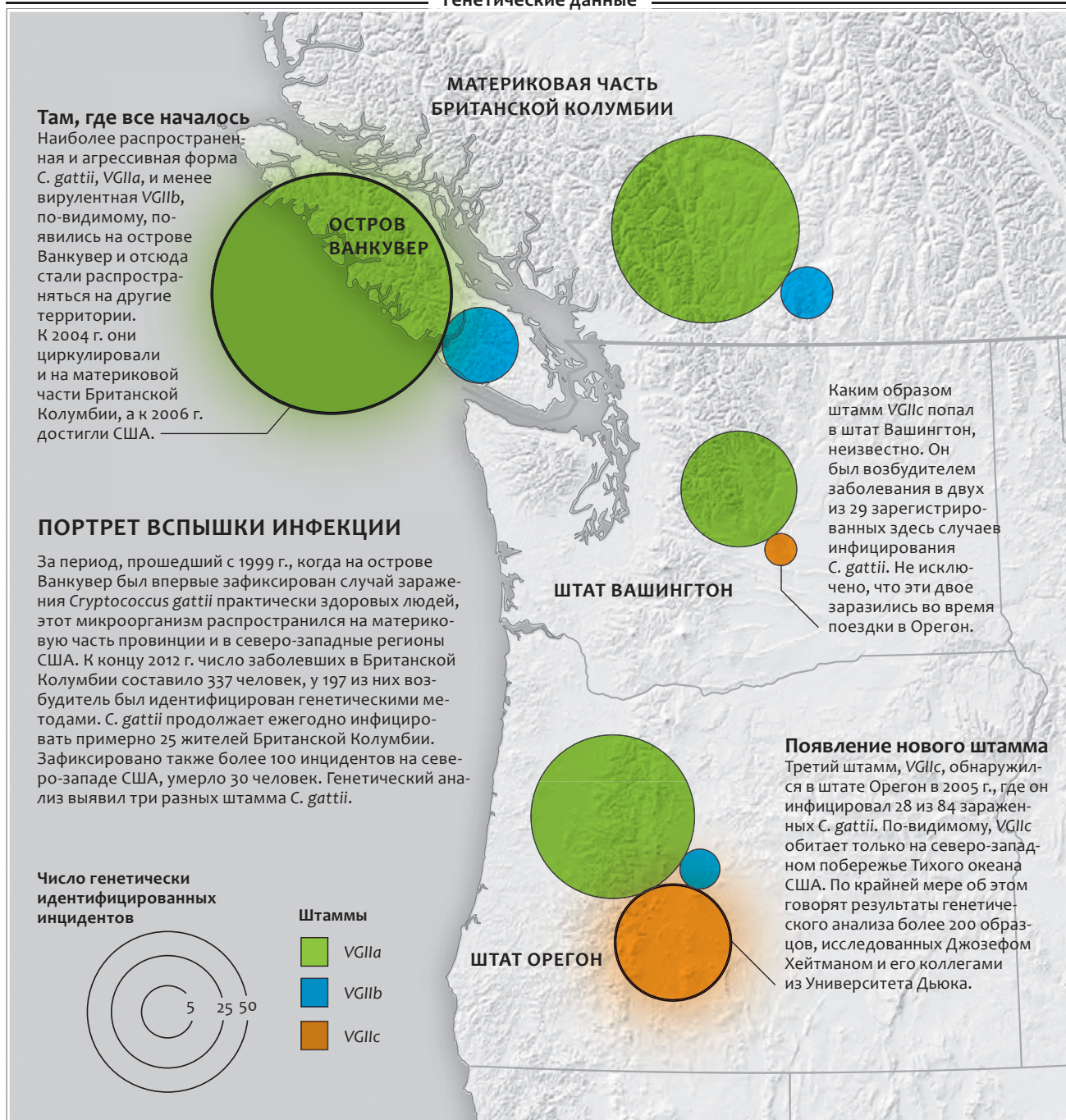
Существует по крайней мере один подход к поиску ответа на этот вопрос. Популяция грибов, долгое время обитавших на одной территории, должна была бы отличаться генетическим разнообразием. Между тем каждый из трех типов *C. gattii*, вызвавших вспышку грибковой инфекции в 1999 г., представлял собой отдельный клон, т.е. все относящиеся к типу *a*, *b* или *c* особи были генетически близки. «Если бы они оказались на острове Ванкувер давным-давно, то популяция отличалась бы гораздо большим генетическим разнообразием, — говорит Хейтман. — По моему убеждению, *C. gattii* могли появиться в этих местах 50, 70 или 100 лет назад, но никак не тысячу».

Почему же вспышка заболевания произошла только 40 лет назад? Одно из возможных объяснений — изменение климата. За последние 40 лет температура на острове повысилась на 1–2°С. «Кажется, совсем не намного, —

Детальные исследования *C. gattii* показали, что этот микроорганизм может жить в воздухе, в пресной и соленой воде, годами сохранять жизнеспособность в грязи, прилипшей к обуви

говорит Бартлетт, — но для микроорганизмов это огромная величина». Среднесуточная температура на острове летом в 1991, 1993, 1994, 1996 и 1998 гг. была выше обычной. В результате микроорганизмы, обычные для субтропиков, но уже встречавшиеся на более северных территориях и находящиеся на грани выживания, стали процветать. По мере повышения температуры на нашей планете уже существующие патогенные грибы, приспособленные к жизни в теплом климате, могут распространяться на новые, прежде не подходившие для них территории. Подобное уже наблюдается для грибов, паразитирующих на растениях: с 1960 г. они продвигались к полюсам примерно на 7 км в год. Тем временем глобальное потепление могло способствовать повышению толерантности к высоким температурам других грибов. Геном грибов сложнее геномов вирусов и бактерий, а потому у его обладателей более широкий набор адаптивных инструментов. Даже небольшое повышение температурной толерантности может привести к тому, что грибы, ранее не размножавшиеся в нашем организме по причине слишком высокой для них температуры, теперь смогут это делать, и среди них, вполне вероятно, найдутся патогенные виды. Такой вариант развития событий очень опасен для человечества.

Генетические данные



В дополнение ко всему в конце 1990-х гг. на восточном побережье Ванкувера стали происходить серьезные перемены: вырубались леса, прокладывались скоростные магистрали, разрушался почвенный покров. По мнению Бартлетт, все это могло привести к существенному расширению местообитания микроорганизмов, в том числе и грибов. Появлению патогенных для человека штаммов *C. gattii* в регионе способствовало сразу несколько факторов: теплая зима и сухое лето несколько лет подряд, нарушение почвенного покрова и рост популярности региона среди туристов, в том числе и среди пожилых людей, гораздо более восприимчивых к инфекции, чем молодые.

Тревожные тенденции

К сожалению, мы сами во многом виноваты в распространении грибов, патогенных для растений, животных и человека. Многие грибы имеют ограниченные местообитания, а человек невольно участвует в их расширении, транспортируя грузы — а вместе с ними и попавшие в них грибы — с континента на континент. Таким путем в Европу, вероятнее всего, попал возбудитель фитофтороза *Phytophthora infestans*, в Северную Америку — грибы, вызывающие опадение листьев у каштанов, и распространившийся по всему земному шару возбудитель хитридиомикоза у амфибий. Судоходство стало для

грибов по сути дела сервисной службой. Когда виды грибов, никогда ранее не встречавшиеся друг с другом, оказываются в одном месте, они тут же скрещиваются, в результате чего появляются новые, более вирулентные варианты, способные инфицировать организмы, которые их предшественникам были «не по зубам».

Чтобы быть к этому готовым, нужно прежде всего развивать службу мониторинга и повышать эффективность диагностики грибковых инфекций. Поскольку у здоровых людей данное заболевание встречается не так уж часто, врачи могут не заметить его вовремя и лечение начнется, когда болезнь зайдет слишком далеко. Ситуация усугубляется тем, что методы диагностики многих грибковых инфекций несовершенны и недешевы, а потому не годятся для беднейших стран. У ВОЗ нет никакой программы борьбы с этими заболеваниями; практически отсутствуют и службы мониторинга. Исключение составляют только Центры по контролю и предотвращению инфекций в США.

Вторая линия обороны — проверка импортируемых растений и животных на биобезопасность. Грибы, патогенные для человека, часто обитают в почве и паразитируют на растениях, поэтому необходимо тщательно контролировать импортируемую сельскохозяйственную продукцию на наличие патогенных для человека грибов, а также тщательно осматривать обувь пассажиров перед посадкой в самолет, поскольку в грязи, прилипшей к подошвам, могут находиться грибы. Нужно также проверять растения и животных, вывозимых из таких стран, как Австралия и Новая Зеландия. Это снизит не только распространенность уже имеющихся штаммов, но и риск появления новых разновидностей.

Необходимо также повысить финансирование исследований по разработке новых противогрибковых средств. Одна из основных проблем в наших взаимоотношениях с грибами связана с тем, что эволюционно мы приходимся друг другу чем-то вроде кузенов. Грибы и животные появились на Земле гораздо позже, чем любая другая из основных групп организмов. Благодаря такому родству дрожжи и другие грибы представляют собой прекрасные модельные системы в опытах по изучению биологии млекопитающих, но здесь есть и обратная сторона: бороться с грибковыми заболеваниями крайне сложно. По словам Хейтмана, «найти специфическую мишень для противогрибковых препаратов стоит огромного труда». Средства, которыми мы сегодня располагаем, малоэффективны, токсичны и несовместимы со многими другими медикаментами. В разработке сейчас находятся несколько новых препаратов. Другим способом защиты могла бы стать вакцинация, но исследования пока пребывают лишь в зачаточном состоянии.

История жизни *C. gattii* включает один довольно тревожный эпизод. Типы *VGIIa* и *b* сегодня широко представлены в Орегоне, но *VGIIc* впервые был обнаружен там в 2005 г., до того как «ванкуверцы» *VGIIa* и *b* появились в США. Детальное изучение островных образцов показывает, что *VGIIc* там никогда не было. Генетический анализ «орегонца» *VGIIc* однозначно говорит, что

он — не потомок от простого скрещивания между *VGIIa* и *b*. Такие наблюдения наводят на мысль, что были две вспышки инфекции, вызванной новым гипервирулентным штаммом *C. gattii* на северо-западном побережье Тихого океана, а не одна.

«Произошло что-то вроде вспышки внутри вспышки, возможно, независимого происхождения, — пишет Хейтман в недавно опубликованном сообщении. — Можно провести аналогию с волнами на поверхности воды, в которую бросили сначала один камень, а потом другой. От каждого из них пошли концентрические круги, налегающие друг на друга». Другими словами, почти одновременные вспышки инфекций, вызванных штаммами *VGIIa* и *b* на острове Ванкувер и штаммом *VGIIc* в Орегоне, могли быть совпадением, хотя, возможно, им обоим благоприятствовали одинаковые средовые изменения. До 1999 г. таких случаев не наблюдалось, а в наши дни их было два в течение всего семи лет. Все это приводит к весьма неутешительному выводу: мы недооценивали способности грибов к миграции и освоению новых организмов-хозяев в условиях потепления климата и глобализации. ■

Перевод: Н.Н. Шафрановская

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Global Warming Will Bring New Fungal Diseases for Mammals. Monica A. Garcia Solache and Arturo Casadevall in *mBio*, Vol. 1, No. 1: April 2010.
- Sexual Reproduction, Evolution, and Adaptation of *Cryptococcus gattii* in the Pacific Northwest Outbreak. Joseph Heitman, Edmond J. Byrnes III and John R. Perfect in *Fungal Diseases: An Emerging Threat to Human, Animal, and Plant Health*. National Academies Press, 2011.
- Hidden Killers: Human Fungal Infections. Gordon D. Brown, David W. Denning, Neil A.R. Gow, Stuart M. Levitz, Mihai G. Netea and Theodore C. White in *Science Translational Medicine*, Vol. 4, No. 165: December 19, 2012.
- Больше информации о том, как грибы научились обходить иммунную систему человека, см. по адресу: ScientificAmerican.com/dec2013/fungal-infection

Джордж Джонсон

ДЛИННЫЙ ПУТЬ К РАЗГАДКЕ ТАЙНЫ РАКА

Новые данные свидетельствуют о том, что рак — еще более сложное заболевание, чем представлялось ранее

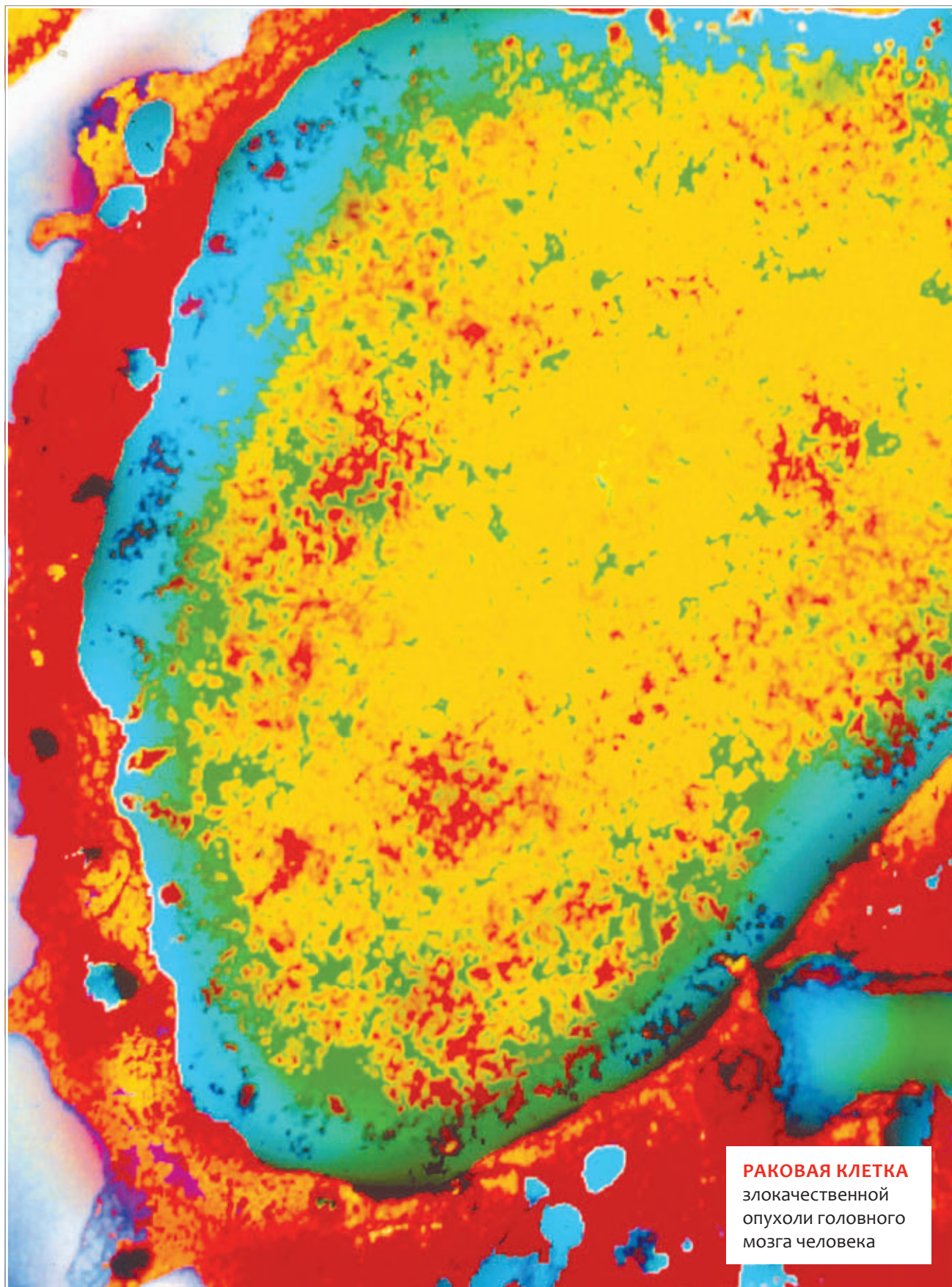
Редко какое явление бывает настолько простым, насколько кажется, а то, что видится сложным, может быть не более чем рябью на поверхности бездонного океана. Механизм раковой трансформации — приобретения клеткой череды мутаций, втягивающих ее в «кроличью нору» рака, — был четко описан двумя учеными, Дугласом Ханаханом (Douglas Hanahan) и Робертом Вайнбергом (Robert A. Weinberg), в обобщающем труде «Признаки рака» (*The Hallmarks of Cancer*), опубликованном в 2000 г.

Идея зарождения рака в результате накопления определенных мутаций в нормальной клетке была высказана много десятилетий назад. Но только Ханахан и Вайнберг, суммировав все доступные экспериментальные и теоретические данные, выделили шесть основных свойств, которые должна приобрести клетка, чтобы дать начало раковой опухоли. Прежде всего, она должна «научиться» стимулировать собственное деление и не реагировать на сигналы к его прекращению. Далее, у нее должны появиться механизмы самозащиты, которые позволили бы ей избегать апоптоза, «обходя» ограничитель числа делений, определяющий степень укорочения теломер (концевых областей хромосом; в норме после уменьшения

длины теломер до определенной величины клетка сама перестает делиться). Затем она должна приобрести способность инициировать ангиогенез (образование собственных кровеносных сосудов) и, наконец, прорасти в окружающие ткани, а затем образовывать очаги опухолевого роста в отдельных органах (метастазы).

Со времени опубликования «Признаков рака» прошло уже более десятилетия, но работа остается рекордсменом по числу упоминаний в истории журнала *Cell*; возможно, это самая значительная публикация из всех, посвященных биологии рака. Обрисованная в ней картина остается незбылемой — подобно парадигме Большого взрыва в космологии, согласно которой отправной точкой мироздания была сингулярность, некая первичная субстанция массы-энергии, которая потом расширилась до размеров Вселенной. Точно так же и раковая опухоль начинается с единственной клетки (клетки-вероотступницы, как назвал ее Вайнберг), которая неограниченно долго делится и превращается в макроскопическое образование. Отталкиваясь от этих представлений, авторы попытались представить перспективы исследований рака и борьбы с ним: «Целостное, четкое представление о механизме возникновения рака позволит прогнозировать развитие процесса и подбирать способы лечения с точностью, которую даже не могут представить себе сегодня практикующие врачи <...>. Появятся противораковые препараты, нацеленные на конкретные отличительные

Адаптированный отрывок из книги «Хроники рака» (*The Cancer Chronicles*) Джорджа Джонсона, издательская группа Knopf Doubleday, подразделение Random House, LLC. © Джордж Джонсон, 2013.



РАКОВАЯ КЛЕТКА
злокачественной
опухоли головного
мозга человека

MEULLEMIESTRE Science Source

особенности раковых клеток <...>. И однажды мы станем свидетелями того, как биология рака и терапия, которые в настоящее время представляют собой причудливую смесь разных областей знаний — клеточной биологии, генетики, гистологии, биохимии, иммунологии и фармакологии, — превратятся в новую науку с четкой концептуальной структурой и логикой, свойственными химии или физике».

Физика рака? Что ж, это вполне возможно, но за то время, которое пройдет до воплощения в жизнь самых смелых идей, высказанных в работе, благодаря усилиям ученых мы узнаем о раке много нового.

Не только мутации

Биологический микрочип, какой по сути представляет собой клетка, содержит множество сложно устроенных элементов, каждый из которых, в свою очередь, состоит из более мелких частей. Вся композиция настолько плотна и в то же время динамична, что иногда бывает очень трудно вычленить ее компоненты. Понять, что происходит внутри раковой клетки, невозможно, не зная, как она встроена в сложнейшую коммуникативную сеть, образуемую ее соседями. Ко времени выхода в свет «Признаков рака» было уже известно, что любая раковая опухоль неоднородна, помимо малигнизированных клеток в ней есть и нормальные, и они вырабатывают белки, необходимые для разрастания опухоли, распространения на соседние ткани, метастазирования. Этой псевдоэко-системе посвящаются специальные конференции и целые номера научных журналов.

Следующим этапом в познании природы рака стало понимание, что генетические изменения, которые ему предшествуют, не обязательно напрямую связаны с мутациями — делециями, инсерциями (вставками) или перестройками в молекуле ДНК. Это могут быть более тонкие вариации.

Например, с тем или иным геном может связаться молекула, переводящая его в неактивное состояние (чаще всего такими молекулами выступают метильные группы, поэтому процесс называют метилированием). Доступность генов для ферментов, осуществляющих их экспрессию, изменяется и при деформации молекулы ДНК. Традиционно данную молекулу изображают

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- По каким причинам нормальная клетка становится раковой? До недавнего времени считалось, что в основе такого превращения лежит накопление поломок в генах — мутаций.
- За последние десять лет появились данные, что к раковой трансформации причастны и другие события, например эпигенетические изменения, которые приводят к включению или выключению определенных генов.
- Эти открытия свидетельствуют о том, что рак — гораздо более сложное заболевание, чем считалось ранее, и раскрыть его природу гораздо труднее. В то же время полученная информация открывает дорогу к поискам новых методов борьбы с болезнью.

ОБ АВТОРЕ

Джордж Джонсон (George Johnson) пишет научно-популярные статьи для *New York Times*, *National Geographic*, *Discover*, *Wired* и *Atlantic*.



в виде длинной нити, свободно плавающей в растворе. Но в ограниченном объеме внутриклеточного пространства она туго намотана на гистоновые кластеры, а образованная структура компактизуется еще больше. Метильные группы связываются с самой молекулой или с гистоновым кластером и делают структуру более гибкой. В результате одни гены оказываются экспонированными, а другие, напротив, экранируются.

Изменения, при которых клетка приобретает новые свойства при том, что ДНК во всех отношениях, кроме упомянутых, остается интактной, называются эпигенетическими («эпи-» в переводе с греческого означает «над», «сверх», «при», «после»). Таким образом, помимо генома у каждого организма есть еще и эпигеном — программа, записанная на «жестком диске» — молекуле ДНК. Как и геном, эпигеном передается от поколения к поколению.

Разного рода внешние воздействия (изменения в характере питания или в окружении, стресс и многое другое) могут привести к изменению эпигенома, не затрагивая сам геном. Предположим, например, что в норме некая метильная группа блокирует экспрессию онкогена, стимулирующего клеточное деление. Удалите ее — и клетка начнет делиться как сумасшедшая. Или другой случай: избыток метильных групп может инактивировать ген супрессора опухолевого роста, который в норме контролирует число митозов. Выйдя из-под контроля, клетка будет пролиферировать и накапливать все больше ошибок при репликации ДНК. Таким образом, эпигенетические изменения могут приводить к изменениям в геноме, что в свою очередь повлияет на метилирование, инициируя новые эпигенетические изменения и т.д.

Подобный ход развития событий порождает как надежды, так и опасения. Эпигенетика может создавать предпосылки к возникновению рака без всяких поломок ДНК. Но в отличие от изменений в геноме эпигенетические трансформации обратимы. Насколько велика их роль — пока неясно. Как и все происходящее в клетке, метилирование контролируется генами, которые, как это показано, несут разные мутации при разных видах рака. Может быть, все в конце концов и сведется к мутациям. Впрочем, некоторые ученые считают, что на самом деле рак начинается с эпигенетических нарушений, открывающих дорогу серьезным трансформациям.

Еще более экзотична теория причастности к развитию рака злокачественных стволовых клеток (см.: Беккер М., Кларк М. *Раковые стволовые клетки // ВМН, № 10, 2006*). Известно, что эмбриональные стволовые клетки бесконечно самообновляются — претерпевают одно деление за другим, находясь в недифференцированном состоянии. Когда у эмбриона на определенной стадии развития возникает потребность в клетках той или иной ткани,

активируются специфические гены и стволовые клетки приобретают определенную специализацию. Аналогичную роль играют стволовые клетки взрослого организма: при поступлении соответствующего сигнала они дифференцируются и замещают поврежденные клетки или клетки, чей срок жизни истек. Но если здоровые ткани формируются из небольшого набора родоначальных клеток, то почему то же самое не может происходить и с опухольями?

Это совершенно новый поворот во взглядах на природу рака. Представьте только: за разрастание опухоли отвечает не вся масса ее клеток, а лишь небольшое число особых клеток, обладающих свойствами, которые делают их похожими на стволовые. Только они способны бесконечно делиться и образовывать новые очаги роста. Как облегчило бы это жизнь онкологам-клиницистам! Быть может, химиотерапия зачастую терпит фиаско, потому что от нее ускользают раковые стволовые клетки? Уничтожьте их — и опухоль исчезнет.

Я безуспешно пытался уложить все сказанное в единую картину и утешился тем, что ученые тоже не очень в этом преуспели. Впрочем, ничего страшного здесь нет, основополагающее представление о канцерогенезе как о дарвиновском процессе, основанном на случайных изменениях и отборе, остается неизменным. Но поскольку попытки добраться до самых истоков онкологического процесса уже не остановишь, боюсь, что в будущем появятся еще более экзотические теории.

В конце концов все, что происходит в организме, сводится к «диалогу» между генами, находятся ли они в одной клетке или в разных. Рак — заболевание, связанное с нарушениями в этом «диалоге».

Чем дальше в лес, тем больше дров

Чем дальше мы продвигаемся в изучении биологии клетки, тем больше вопросов у нас появляется. При всей замысловатости функционирования генов сами они устроены не так уж сложно: любой из них представляет собой комбинацию из четырех «букв» — азотистых оснований аденина (A), тимина (T), гуанина (G) и цитозина (C). Каждое имеет свою структуру, а соединяясь попарно (A одной цепи молекулы ДНК с T другой, аналогично G с C), они образуют конструкцию, сходную с винтовой лестницей. Разные гены имеют разную последовательность пар оснований, она и определяет их функцию. Такая последовательность копируется с помощью специальных ферментов с образованием другой молекулы — матричной РНК (мРНК), на которой в рибосомах синтезируются белки. Среди белков есть ферменты, обеспечивающие всю работу «копировальной машины». Этот процесс, названный Фрэнсисом Криком «центральной догмой» биологии, в упрощенном виде можно представить так: ДНК → РНК → белок.

В результате детального исследования строения и функций ДНК выяснилось, что не все ее сегменты представляют собой гены в традиционном понимании, т.е. кодируют белки. Некоторые служат матрицей для синтеза транспортной РНК (тРНК), другие играют роль переключателей, опосредующих экспрессию кодирующих

белок генов (т.е. количество вырабатываемых белков). Но это еще не все. Обнаружилось, что гены не непрерывны, кодирующие участки в них перемежаются с некодирующими, и когда генетическая информация, заключенная в гене, переводится на язык мРНК, неинформативные сегменты (интроны) вырезаются. Далее картина еще более усложняется: сравнительно недавно выяснилось, что на долю кодирующих белок последовательностей в молекуле ДНК приходится всего несколько процентов. Остальная часть, как представлялось вначале, не выполняет никаких функций, и ее прозвали «мусором». Однако по непонятным причинам такой «мусор» передается от поколения к поколению, а значит, он зачем-то нужен.

В начале 1990-х гг. заметили, что среди «мусора» попадают настоящие сокровища — небольшие сегменты, кодирующие неизвестную ранее РНК. По причине небольших размеров ее назвали микроРНК и возложили на нее ответственную роль регулятора синтеза белков. Связываясь с комплементарной мРНК, она блокирует работу рибосомы, и соответствующий белок не образуется. Как и все остальное в клетке, микроРНК могут быть причастны к онкогенезу. Предположим, что одна из таких молекул блокирует экспрессию онкогена. Если она образуется в клетке в недостаточном количестве, то ускоряется клеточная пролиферация. Избыток другой микроРНК может привести к подавлению фактора супрессора опухоли. Фактически всего одна из этих молекул способна регулировать работу нескольких разных генов через взаимодействие их эффектов. Считалось, что мутации в «мусорной» ДНК не имеют никаких последствий. Но если они нарушают баланс между микроРНК, в клетке может начаться раковая трансформация.

Что же мы имеем? Некодирующая часть ДНК — вовсе не «мусор». Гены (по крайней мере 99% из них) принадлежат не нашему геному, а геному микроорганизмов, обитающих в нашем теле. Такое впечатление, что все встало с ног на голову, и это напоминает мне ситуацию с космологией: известно, что Вселенная состоит по большей части из темного вещества и темной материи. Но основы остаются неизменными: у истоков всего стоял Большой взрыв. Сегодня это грандиозное событие не представляется таким простым, как раньше, но оно по-прежнему объясняет многое, что происходит во Вселенной. Каркас обрастает все новыми элементами, но сам остается неизменным.

То же самое происходит с шестью признаками рака, о которых писали Ханахан и Вайнберг. В марте 2011 г. они опубликовали новый труд: «Признаки рака: следующий уровень» (*Hallmarks of Cancer: The Next Generation*). Оглядываясь на те десять лет, которые прошли со времени выхода в свет их первой работы, они приходят к выводу, что концепция стала еще более убедительной. Конечно, что-то в ней изменилось: возможно, стволовые клетки и эпигенетические факторы играют более принципиальную роль, а признаков раковой трансформации не шесть, а больше. Надеюсь, их число все же конечно и не очень велико. ■

Перевод: Н.Н. Шафрановская

Как Интернет меняет наш мозг

Дэниел Вегнер и Адриан Уорд

На протяжении тысячелетий люди рассчитывали друг на друга, если надо было вспомнить какие-то повседневные мелочи

Теперь мы полагаемся на онлайн-хранилища данных и поэтому иначе воспринимаем и запоминаем то, что нас окружает

Давайте представим семейную пару, приглашенную на день рождения. Благодаря многолетнему опыту каждый интуитивно знает, что надо делать. Один супруг выясняет, какой требуется стиль одежды, другой хорошо запомнил, куда и когда надо прийти.

В некоторой степени мы все полагаемся на память других людей. При встрече с новой информацией мы автоматически распределяем среди членов нашей социальной группы ответственность за запоминание тех или иных фактов и идей, некоторые вещи запоминаем сами и рассчитываем, что другие запомнят остальное. Если нам не удастся вспомнить нужное имя или способ починки сломавшегося механизма, мы просто обращаемся к кому-то еще, кто должен быть в курсе. Если ваш автомобиль начинает издавать лязгающие звуки, вы позвоните своему другу Рэю, потому что он разбирается в технике. Не можете вспомнить, кто снимался в фильме «Касабланка»? Это должна знать Марси, она киноман. Все виды информации, простой и сложной, распределяются среди членов группы, будь то семья или бухгалтерия транснациональной корпорации. В любом случае

мы знаем не только свой кусочек информации, но и то, какие сведения должны помнить другие члены группы.

Такое разделение позволяет избежать ненужного дублирования усилий и расширить объем памяти всей группы в целом. Когда мы избавляемся от ответственности за некоторые виды информации, передавая ее другим людям, у нас появляется возможность глубже разобраться в тех областях, за которые мы несем ответственность. Если знания распределены между членами группы, каждый может получить более широкую и глубокую информацию, чем если бы действовал в одиночку. Распределение информации связывает членов группы друг с другом: знаний одного человека недостаточно, должна быть возможность использовать коллективные знания всей группы. Если нашу пару, собирающуюся на празднование дня рождения, разделить, возникнут сложности: один из партнеров может бродить по улицам во фраке и цилиндре, а второй придет на официальную вечеринку вовремя, но в фуфайке.



ОБ АВТОРАХ

Дэниел Вегнер (Daniel M. Wegner) был профессором психологии в Гарвардском университете. Помимо всего прочего, он изучал трансактивную память и вытеснение переживаний. Вегнер умер в июле 2013 г. после продолжительной болезни. Американское психологическое общество отмечает, что «память о нем будет жить не только в виде его огромного творческого вклада в психологию, но и в том удовольствии, которое он получал от своих исследований и которым делился со студентами и читателями».



Адриан Уорд (Adrian F. Ward) защитил диссертацию по психологии в Гарварде под научным руководством Вегнера. Его работа посвящена тому, как люди стирают грань между собой и Интернетом. Сейчас он работает старшим научным сотрудником в Колорадском университете в Боулдере.



Такое распределение знаний, получившее название «трансактивная память», возникло в мире, где люди взаимодействовали лицом к лицу, а человеческий мозг был главным хранилищем данных. Но этого мира больше не существует. Благодаря развитию Интернета содержимое памяти отдельных людей потеряло свое значение.

Все сильно изменилось после того, как у населения появились айфоны с системой *Siri*. Наши исследования показали, что люди относятся к Интернету как к партнеру по трансактивной памяти. Мы доверяем Всемирной паутине роль хранителя нужных нам знаний так же легко, как если бы это был член нашей семьи, друг или любовник. С другой стороны, в отличие от человека, Интернет знает больше и может выдавать информацию быстрее. На сегодня почти вся информация легко находится с помощью скоростных поисковых систем. Вполне возможно, что Интернет вытесняет не только других людей, хранящих информацию, но и наши собственные познавательные процессы. Интернет может не только избавить нас от необходимости обмениваться информацией с партнером, но еще и ослабить наше желание отслеживать и запоминать важную информацию. Мы называли это *Google-эффектом*.

Новый партнер

В одном из своих недавних исследований мы показали, как Интернет заменяет друга или члена семьи при запоминании повседневной информации. Бетси Спэрроу (Betsy Sparrow) из Колумбийского университета, Дженни Лю (Jenny Liu), работавшая тогда в Висконсинском университете в Мадисоне и один из авторов этой статьи (Дэниел Вегнер) попросили участников скопировать 40 запоминающихся фактов в компьютер (например: «Глаз страуса крупнее, чем его мозг»). Половине участников

эксперимента сказали, что работа будет сохранена в компьютере, другой половине сказали, что все будет стерто. Кроме того, половину людей из каждой группы попросили запомнить информацию независимо от того, вносилась она в компьютер или нет.

Мы обнаружили, что те, кто думал, что список фактов сохранен в компьютере, запомнили информацию гораздо хуже. По-видимому, люди рассматривали компьютер как партнера по той самой трансактивной памяти, которую мы изучаем уже несколько десятилетий. Люди перекладывали информацию в компьютер, вместо того чтобы хранить ее в своей голове. Поразительно, что это происходило даже тогда, когда их специально просили запомнить. Похоже, что склонность выгружать информацию в компьютер настолько сильна, что люди зачастую не могут запомнить собственные мысли в присутствии виртуального «приятеля».

В других экспериментах мы выясняли, насколько легко человек готов воспользоваться Интернетом для ответа на вопрос. Для этого мы использовали тест Струпа, в котором испытуемым предлагается набор слов разных цветов и нужно определять цвет каждого слова независимо от того, что это слово значит. Фиксируя, с какой скоростью люди называют цвет каждого слова, мы можем сказать, насколько сильно это слово привлекает внимание. Если цвет называют медленно, мы можем заключить, что значение этого слова связано с чем-то, о чем думают испытуемые. Например, люди, лишенные пищи на протяжении 24 часов, будут медленнее называть цвет слова, которое как-то связано с едой, чем те, кто проходит тест в сытом состоянии. Если слова имеют непосредственное отношение к текущим потребностям испытуемого, их невозможно проигнорировать и поэтому они влияют на скорость реакции.

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Хранение информации в памяти связано с социальными взаимодействиями: один человек запоминал, как готовить индейку, другой — как починить слив в раковине.
- Появление Интернета все изменило. Поскольку практически везде есть доступ к Сети, многие люди предпочитают искать информацию с помощью смартфона, вместо того чтобы спросить у товарища.
- Постоянное пребывание онлайн изменяет самосознание, поскольку границы между собственными воспоминаниями и информацией, содержащейся в Интернете, размываются.

В нашей работе испытуемым предлагалось два задания: одно после выполнения теста с простыми вопросами, а второе после попытки ответить на сложные вопросы. В тесте Струпа слова были связаны либо с Интернетом (например, слово *Google*, написанное красными буквами, или *Yahoo* — синими), либо с известными торговыми марками (например, *Nike* желтыми буквами, или *Target* — зелеными).

Всезнающий друг

Мы получили потрясающие результаты. После сложного вопроса, на который испытуемый не мог ответить самостоятельно (например, «Правда ли, что на флагах всех стран есть как минимум два разных цвета?»), люди существенно медленнее отвечали, какого цвета слово, если оно было связано с Интернетом, но замедления не наблюдалось, если определяли цвет слова из другого понятийного поля. Это значит, что как только люди сталкиваются с вопросом, на который не знают ответа, они вспоминают про Интернет. По-видимому, когда нам требуется информация, которой мы не знаем, нашей первой мыслью бывает обратиться к Интернету — «всезнающему другу», который предоставит нам эти сведения в от-

Информация, поступающая из Интернета, доходит до нас иногда быстрее, чем то, что мы можем вспомнить самостоятельно

вет на простое нажатие кнопки или голосовую команду. По мере того как мы перекладываем на компьютер ответственность за многие виды информации, мы можем заменить наших потенциальных партнеров по хранению транзактивной памяти — друзей, членов семьи и других людей — на постоянное подключение к компьютерной сети, которая, кажется, знает все.

Во многих случаях использование именно Интернета, а не друзей и знакомых вполне осмысленно. На первый взгляд эти петабайты информации, рассеянные по Всемирной паутине, имеют некоторое сходство с тем, что имеется в головах друзей. Интернет хранит информацию, извлекает ее при ответе на вопросы и даже общается с нами удивительно человеческим образом, вспоминая о нашем дне рождения или реагируя на голосовые команды.

С другой стороны, Интернет не похож на кого-либо, с кем мы общались ранее: он всегда рядом, всегда бодрствует и знает почти все. С помощью смартфона вы можете получить значительно больший объем информации, чем хранится в голове одного человека или даже целой группы людей. Он всегда владеет актуальной информацией, и если не выключится электропитание, то он, в отличие от человека, никогда ничего не перепутает и не забудет.

Поразительная эффективность Интернета резко контрастирует со старыми методами поиска. Чтобы получить информацию у друзей, сначала надо найти среди них того, кто предположительно знает то, что вам нужно, потом переждать, пока он будет откашливаться или бормотать что-то себе под нос, ища в закромах своей памяти ответ. Для поиска информации в книжке вам может потребоваться пойти в библиотеку, порыться в каталоге и поблуждать среди полок, чтобы определить, где находится нужный вам материал. Этот поиск факта или цитаты среди знакомых или в справочнике как раз и подчеркивает нашу зависимость от внешних источников информации.

Google и «Википедия» кардинально изменили ситуацию. При использовании Интернета различия между внутренней и внешней информацией (то, что знаем мы, и то, что знают другие люди) стираются. Информация, поступающая из Сети, доходит к нам иногда быстрее, чем то, что мы можем вспомнить самостоятельно. Скорость, с которой результат поиска появляется на экране смартфона, способствует исчезновению границ между нашими личными воспоминаниями и обширными цифровыми богатствами Интернета. Недавно мы провели эксперименты в Гарвардском университете, чтобы выяснить, в какой степени люди встраивают Интернет в ощущение собственного «я». При этом мы снова постарались разобраться, насколько легко наши мысли обращаются к поисковым системам при решении повседневных вопросов. Перед началом исследования мы разработали шкалу для измерения того, как люди оценивают возможности собственной памяти. О тех, кто соглашался с утверждениями «Я умный» и «Я хорошо запоминаю всякие вещи», можно сказать, что у них высокая самооценка в области когнитивных способностей.

Мы просили людей ответить на некоторые простые вопросы, используя или не используя *Google*, а потом предложили им оценить себя по нашей шкале. Самооценка оказалась достоверно выше у тех, кто только что пользовался Интернетом для поиска ответов на вопросы. Удивительно, но даже когда ответы были дословно скопированы из Интернета, у людей возникала иллюзия, что это было сделано за счет их собственных умственных способностей, а не за счет поисковой системы.

Чтобы убедиться, что завышенная оценка собственных умственных способностей не вызвана тем, что с помощью *Google* испытуемым удалось ответить на большинство вопросов, мы провели дополнительное исследование, в котором люди, не пользовавшиеся поисковыми системами, получали ложные сообщения, что они правильно ответили почти на все вопросы. Даже когда участники обеих групп верили, что ответили одинаково хорошо, те, кто пользовался Интернетом, считали себя умнее.

Это означает, что завышенная оценка собственных способностей после обращения к *Google* обусловлена не только правильностью ответов на вопросы. По-видимому, использование *Google* дает людям ощущение, что Интернет стал частью их собственных когнитивных

способностей. Результат поиска воспринимался не как имя или дата какого-то события, скопированные с сайта, а как информация из собственной памяти, что позволяло испытуемым приписывать себе результат работы поисковой системы. Такая иллюзия хранения воспоминаний одновременно в сером веществе мозга и в Интернете достаточно забавна. Пришедший «информационный век», по-видимому, создал поколение людей, которым кажется, что они знают чрезвычайно много, хотя на самом деле их зависимость от Интернета означает, что они знают об окружающем мире совсем мало.

С другой стороны, возможно, мы становимся частью «интернет-сознания» и когда-нибудь создадим новый интеллект, который не будет больше привязан к отдельным воспоминаниям, хранящимся исключительно в нашем мозге. Освободившись от необходимости помнить факты, мы сможем использовать ресурсы нашего мозга для каких-нибудь важных задач. Может быть, удастся объединить творческий потенциал отдельных людей и обширную информацию из Интернета для создания лучшего мира и исправить некоторые из множества ошибок, которые мы допускаем до сих пор.


Поскольку прогресс в вычислениях и передаче данных размывает границы между собственным мышлением и компьютером, мы можем преодолеть некоторые

ограничения памяти и мышления, заложенные в человеческих когнитивных способностях. Но это не означает, что существует опасность потерять нашу собственную идентичность. Мы просто объединяемся с чем-то большим, формируя трансактивное сотрудничество не только с другими людьми, но и с информационными ресурсами невиданной мощности. ■

Перевод: М.С. Багоцкая

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Transactive Memory: A Contemporary Analysis of the Group Mind. Daniel M. Wegner in Theories of Group Behavior. Edited by Brian Mullen and George R. Goethals. Springer, 1986.
- Google Effects on Memory: Cognitive Consequences of Having Information at Our Fingertips. Betsy Sparrow et al. in Science, Vol. 333, pages 776–778; August 5, 2011.
- Воспоминания о покойном Дэниеле Вегнере см. по адресу: ScientificAmerican.com/dec2013/wegner



Выходит 6 раз в год

Познавательный журнал для хороших людей

Новосибирские ученые разработали новый метод детекции Ки-антигена – ключевого белка, обеспечивающего активность системы репарации двухцепочечных разрывов ДНК, которые в значительных количествах возникают при радиотерапии раковых опухолей

В результате многолетних поисков был обнаружен токсин-убийца, вызывавший на протяжении многих лет тяжелейшие поражения почек у сербских крестьян и светских бельгийских дам

Джунгарские хомячки, родившиеся от гибридной суррогатной матери, которой были пересажены их эмбрионы из Сибирского криобанка, подтвердили гипотезу о том, что межвидовые гибриды могут быть хорошими реципиентами для эмбрионов родительских видов

ПОДПИСКА на 2014 г.
«Роспечать», индекс **46495**
«Пресса России», индекс **42272**

На сайте журнала:
www.sciencefirsthand.ru
В редакции: zakaz@infolio-press.ru

12+

НОВОЕ ИЗМЕРЕНИЕ

ОТКРЫТЫЙ КОСМОС

НА ПОЛНУЮ МОЩНОСТЬ

ЭКСПЕРИМЕНТ



Научно-развлекательный телеканал о технике, технологиях и невероятных экспериментах

www.24techno.ru fb.com/24techno.ru vk.com/24techno 24techno.livejournal.com twitter.com/#1/24techno

Спрашивайте у вашего оператора платного телевидения

Телеканал «24 Техно» доступен всем жителям

С.-Петербурга* в пакете общедоступного кабельного телевидения ОАО «ТКТ»

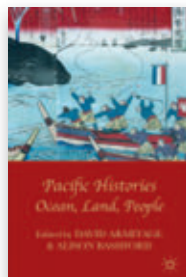
и Москвы**

** в пакете общедоступного кабельного телевидения ОАО «НКС»

На правах рекламы

Книжное ОБОЗРЕНИЕ

Представляем вашему вниманию обзор нескольких новинок Palgrave Macmillan, специализирующейся на научной литературе дочерней компании одного из старейших и авторитетнейших издательств в мире, британского Macmillan Publishers, в состав которого входит и Nature Publishing Group, выпускающая журналы Nature и Scientific American. Разнообразие тематики привлекает самых разных читателей, среди книг издательства найдут себе чтение по вкусу и те, кто хочет расширить свои знания, и те, кто с нетерпением ждал выхода в свет исследований именно этих авторов. Книги печатаются на английском языке, но тем не менее будут интересны российскому читателю.



Тихий океан: история, земля, люди (Pacific Histories. Ocean, Land, People)

Кэтрин Армстронг и Лора Хмелевски. Опыт Атлантики: люди, земли, идеи (Catherine Armstrong and Laura M. Chmielewski. The Atlantic Experience. Peoples, Places, Ideas)

Два масштабных труда, подготовленных международными командами исследователей, посвящены исследованию Тихоокеанского региона и Атлантики, продолжают и развивают традицию подобных исследований, начатую трудами известного историка Фернана Броделя, который произвел революцию в исторической науке своим предложением учитывать экономические и географические факторы при анализе исторического процесса.

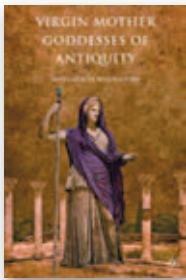
Интернациональный коллектив исследователей, собранный профессорами из Гарварда и Кембриджа Дэвидом Эрмитеджем и Элисон Бэшфорд, не просто представил разносторонний анализ истории и экономики Тихоокеанского региона, но вписал его в перспективу всемирной истории. Такой подход позволил показать развитие региона на протяжении более чем 50 тыс. лет. Особую ценность книге придает выделение таких магистральных тем, как миграции, эволюция системы экономических связей, гендерных отношений, а также религиозных верований и их взаимосвязи с мировыми религиями.

Интернациональный коллектив исследователей, собранный профессорами из Гарварда и Кембриджа Дэвидом Эрмитеджем и Элисон Бэшфорд, не просто представил разносторонний анализ истории и экономики Тихоокеанского региона, но вписал его в перспективу всемирной истории. Такой подход позволил показать развитие региона на протяжении более чем 50 тыс. лет. Особую ценность книге придает выделение таких магистральных тем, как миграции, эволюция системы экономических связей, гендерных отношений, а также религиозных верований и их взаимосвязи с мировыми религиями.

Более полную информацию
об издательстве Macmillan
вы можете найти на сайте:
www.macmillan.ru

Труд профессоров из Манчестера и Нью-Йорка Кэтрин Армстронг и Лоры Хмелевски посвящен атлантическому миру. Собрав огромный фактический материал, ученые прослеживают развитие этого макропространства от первых путешествий португальских купцов в середине XV в. до отмены рабства в Америке в конце XIX в.

Авторы не только объединяют истории Европы, Африки и Америк, но и исследуют Атлантический регион как целостную систему, в которой развивались и взаимодействовали между собой различные национальные традиции и этнические группы, торговые, экономические, военные и политические интересы. Весь материал распределен по нескольким ключевым темам, дополняющим друг друга. Он объединен системой хронологических обзоров, составленных Лорой Хмелевски. Благодаря четкой структуре и информативной насыщенности книги могут быть полезны не только ученым, но и тем, кто изучает историю данных регионов.



Маргерит Ригользо. Богини-девственницы древнего Средиземноморья (Marguerite Rigoglioso. *Virgin Mother Goddesses of Antiquity*)

Книга адъюнкта Доминиканского университета Маргерит Ригользо выступает своеобразным продолжением сравнительных исследований, начатых Марией Гимбутас в книге «Цивилизация Великой Богини: мир Древней Европы» (1991), вызвавшей неоднозначную реакцию ученых. В отличие от своей знаменитой предшественницы Ригользо сосредоточивается не на археологических, а скорее на сравнительно-исторических аспектах проблемы. Она рассматривает эволюцию концепта богини-девственницы в античном мире (Афина, Гера, Артемида, Гея, Деметра-Персефона и раннехристианская София), показывая общую особенность образа как матери-прародительницы всего живого. Путеводной нитью для нее становится выявление партеногенетического компонента в названных образах. Данный подход позволяет по-новому осветить их связи с такими известными сюжетами, как подвиги Геракла, суд Париса и миф об амазонках. В заключительной части книги Маргерит Ригользо выявляет черты партеногенеза в Элевсинских мистериях и Тесмофориях (празднествах в честь богини Деметры), показывая их связь с раннехристианскими представлениями.



Кристина Перес. Миф о фее Моргане (Kristina Pérez. *The Myth of Morgan la Fey*)

Книга кембриджского профессора Кристины Перес будет интересна всем любителям древностей. Автор прослеживает захватывающую историю образа феи Морганы, сестры короля Артура, колдуньи, победившей смерть, богини, литературного

персонажа, прошедшего путь от ирландских сказаний и легенд артуровского цикла до «Смерти Артура» Кристофера Марло, сочинений романтиков и авторов современных фэнтези. Сказание о Моргане сопоставляется с длинным рядом текстов и персонажей, среди которых фея Мелюзина, фея Озера, вплоть до текстов современной масскультуры. Перес показывает, что многие представления, распространенные в современной культуре, на самом деле происходят из кельтской мифологии и ее средневековых переработок. В частности, она отмечает, что рецепция сюжетов о Моргане заметна даже в легендах о явлениях Богородицы, записанных в разных странах Западной Европы.



Роджер Фридман, Роберт Геллер и Уильям Кауфман. Вселенная, звезды и галактики (Roger Freedman, Robert Geller and William J. Kaufmann. *Universe: Stars and Galaxies*)

Уильям Кауфман. Открытие Вселенной (William J. Kaufmann. *Discovering the Universe*)



Книга известных американских физиков, профессоров Калифорнийского университета, представляет собой сокращенную версию широко известного университетского курса и предназначена для студентов, которые не собираются в дальнейшем профессионально заниматься астрономией или астрофизикой, — например, биологов. В форме увлекательных бесед авторы рассказывают о становлении астрономии, постепенном накоплении знаний о Вселенной и создании основных теорий ее происхождения и эволюции.

К основной линии рассказа авторы добавляют эссе специалистов — археолога, биолога, философа, физика. Они показывают, насколько астрономические знания важны для любой специальности и одновременно знакомят первокурсников с вкладом своих коллег в копилку знаний о Вселенной.

Монография Уильяма Кауфмана посвящена не столько самой астрономии, сколько истории накопления знаний об окружающей нас Вселенной. Известный ученый и популяризатор науки ведет занимательный рассказ о процессе приумножения знаний, сопровождающемся «пробами и ошибками», не умалчивает он и о дискуссионных вопросах. Важнейшим качеством ученого Кауфман считает дар предвидения, умение увидеть перспективу за незначительным на первый взгляд фактом. Параллельно он учит наблюдать в телескоп, подсказывает, как настроить приборы, что можно увидеть в разное время года. К книге приложен DVD-диск с компьютерным атласом звездного неба и программой «Домашний планетарий».

Татьяна Колядич



2014 год объявлен годом управляемого термоядерного синтеза в России



РОСАТОМ



*13 января 2014 г. Пол Томас,
заместитель генерального
директора Организации ITER,
посетил учреждение Госкорпорации
«Росатом» «Проектный центр ITER»*



В первый день своего российского визита Пол Томас провел рабочую встречу с коллективом Российского агентства ITER в Москве. В своем докладе на встрече с сотрудниками ITER-центра он отметил, что «сейчас настал момент, когда нам всем необходимо применить максимум усилий для достижения нашей общей цели».

А уже 14–15 января в Институте ядерной физики СО РАН им. Г.И. Будкера (Новосибирск) прошла расширенная встреча Пола Томаса и руководства института с заместителем генерального директора Госкорпорации «Росатом» В.А. Першуковым, директором Проектного центра ITER А.В. Красильниковым и директором Института физики токамаков НИЦ «Курчатовский институт» Э.А. Азизовым. Во встрече приняли участие первый заместитель губернатора Новосибирской области А.Е. Ксензов и вице-председатель Сибирского отделения РАН академик В.М. Фомин.

Встреча в Новосибирском ИЯФ СО РАН была посвящена расширению участия института в совместной реализации международного термоядерного проекта ITER.

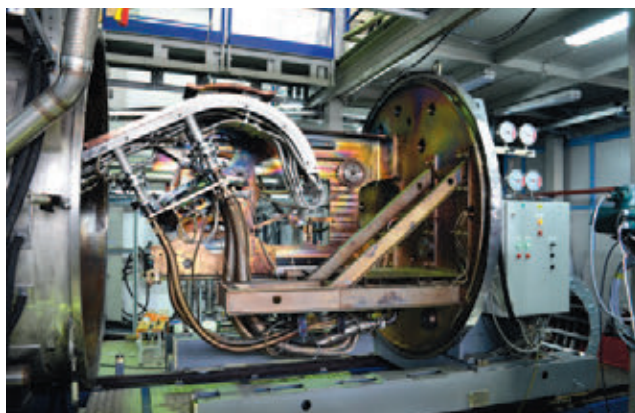


а также в других направлениях управляемого термоядерного синтеза (УТС). В частности в рамках проекта *ITER* ИЯФ СО РАН производит разработку технологии и инженерии установки диагностических систем в каналы вакуумной камеры реактора. В апреле 2013 г. в Новосибирске генеральный директор Организации *ITER* профессор Осаму Мотоджима и директор Проектного центра *ITER* Анатолий Красильников подписали первое соглашение об изготовлении и поставке соответствующего оборудования. 14 января 2014 г. были подписаны еще два аналогичных документа. Андрей Ксензов отметил, что состоявшаяся встреча станет стимулом для развития науки в Сибири. Пол Томас выразил уверенность, что «одна из главных задач — привлекать молодежь в такие масштабные проекты, как *ITER*, преемственность поколений очень важна». 15 января на общезинститутском семинаре ИЯФ заместитель гендиректора Организации *ITER* представил доклад о техническом прогрессе в реализации проекта.

В ходе визита делегации текущий год был объявлен руководством Госкорпорации «Росатом» годом управляемого термоядерного синтеза в России. Соответствующее решение было принято в свете предстоящего в июне 2014 г. 14-го регулярного заседания Совета *ITER* (руководящего органа проекта) и 25-й конференции по энергии синтеза МАГАТЭ в Санкт-Петербурге, а также ввиду особой значимости проекта *ITER* для развития и приумножения научного потенциала России. В рамках года УТС в России будет проведен ряд мероприятий, направленных прежде всего на повышение информированности населения о целях и задачах проекта, а также об успехах в его реализации. Как подчеркнул открывавший церемонию Вячеслав Першуков, «решением Госкорпорации «Росатом» этот год мы объявляем годом УТС, и самым важным проектом станет, безусловно, проект *ITER*». Предположительно, по итогам года будет сформирована и утверждена национальная программа по УТС.

Члены делегации ознакомились также с деятельностью ИЯФ СО РАН, Новосибирского технопарка и приняли участие в рабочих совещаниях по развитию участия института в различных проектах по УТС в России.

Александр Петров





Большая наука у великого озера

Специальный репортаж из Иркутского научного центра

Белая башня высотой 25 м ярко вырисовывается на вершине одной из сопок в поселке Листвянке на фоне пронзительно-голубого байкальского неба. Эта странная футуристическая конструкция появилась здесь в конце 1970-х гг., в период расцвета науки в СССР. В 1985 г. на этой уникальной научной установке были начаты наблюдения Солнца. Большой солнечный вакуумный телескоп, или БСВТ, самый большой в Евразии, стал основным инструментом Байкальской астрофизической обсерватории Иркутского научного центра РАН.

Мы поднимаемся по крутой железной лестнице на верхнюю площадку башни. Здесь, наверху — морозный чистый воздух, яркий солнечный свет и потрясающий вид на еще не покрывшийся льдом Байкал. Нам

очень повезло с погодой, и сверкающая гряда снежных вершин Хамар-Дабана на противоположном берегу озера отсюда кажется совсем близкой. Байкал с его уникальной способностью очищать и успокаивать господствующие над ним воздушные массы сам по себе создает благоприятный астроклимат — обстановку для астрофизических наблюдений.

Башню БСВТ венчает сдвижной полукруглый металлический купол, напоминающий крышку хлебницы. «Когда начинаются наблюдения, эта крышка откидывается, — рассказывает нам астрофизик Алексей Головкин, — солнечный свет попадает на большое зеркало, называемое сидеростатом, и направляется в наклоненную под углом 52° к горизонту вакуумную трубу с двухлинзовым объективом диаметром 76 см и фокусным



Владимир Поляков у подножия Большого солнечного вакуумного телескопа



БСВТ позволяет наблюдать активную область солнечного диска



расстоянием 40 м. Вакуум в трубе телескопа нужен для того, чтобы переменная плотность воздуха в ней не влияла на качество изображения. Пространственное разрешение этой установки составляет 0,2", что соответствует разрешению лучших в мире солнечных телескопов. Одна угловая секунда — это 726 км в масштабах Солнца.

Заведующий Байкальской астрофизической обсерваторией Александр Боровик говорит, что развитие обсерватории началось с идеи создать такой телескоп для наблюдений за Солнцем, который будет способен определять физические параметры происходящих на нем событий. Физику солнечных процессов исследуют здесь с помощью высокоточного спектрографа, позволяющего получать спектральное разрешение 0,0007 нм с анализаторами линейной и круговой поляризации. Помимо БСВТ планировалось создать сеть телескопов, которые будут давать материал для сопоставления данных. Обсерватория оснащена комплексом из трех хромосферных телескопов для регулярных «патрульных» наблюдений хромосферы Солнца и регистрации нестационарных явлений в солнечной атмосфере. Наблюдения, полученные на этом комплексе за 30 лет, позволили лучше понять природу солнечной активности, физику солнечных вспышек разной мощности, влияющих на жизнь Солнечной системы, Земли и ее обитателей.

«Мы должны уметь прогнозировать важные события на Солнце, — рассказывает старший научный сотрудник Института солнечно-земной физики СО РАН Владимир Поляков. — Солнечные вспышки — это грандиозные взрывоподобные явления. Энергия каждой из них сравнима с энергией, которую получает Земля за целый год. Через полтора-два дня после момента вспышки поток заряженных частиц от Солнца достигает Земли и вызывает возмущения в магнитосфере и ионосфере планеты. Это означает нарушения радиосвязи, могут выходить из строя трансформаторы на энергостанциях, электроника на космических спутниках. Своевременный прогноз может предотвратить большие потери.

У астрофизиков до сих пор нет однозначного представления о механизмах возникновения и развития солнечной вспышки. Мы знаем, что вспышки происходят в активных областях — солнечных пятнах. Солнечное пятно отражает ситуацию "всплытия" на поверхность Солнца области сильнейшего магнитного поля — оно может достигать 4 тыс. гауссов (для примера: магнитное поле

Земли — это всего 0,5 Гс). Если два пятна разной полярности расположены близко друг к другу, в этих местах могут возникать солнечные вспышки. Вспышка зарождается высоко в короне Солнца, потом сгустки плазмы опускаются вдоль силовых линий в хромосферу, и там разгораются вспышечные ленты.

Процесс передачи энергии от источника вспышки до сих пор однозначно не понят. Мы склоняемся к тому, что имеется поток заряженных частиц из короны в хромосферу. Эти частицы бомбардируют нижние слои хромосферы, и разгорается серия вспышечных лент. Явление называется ударной линейной поляризацией. Некоторые исследователи это наблюдали, некоторые — нет. Мы всесторонне исследуем спектры вспышек с этой точки зрения. Что-либо доказать мы сможем, только набрав статистику. Солнечные пятна имеют 11-летний цикл. Сейчас мы вблизи его максимума: например, прошедший октябрь был весьма насыщен вспышечной активностью.

Большой солнечный вакуумный телескоп позволяет с высоким разрешением наблюдать саму активную область солнечного диска. Хромосферные телескопы дают полную картину солнечного диска, а БСВТ — "крупный план". Результаты синхронизируются и сопоставляются. Солнце — сложный организм со своими законами. Здесь стремятся понять эти законы.

Сейчас научная жизнь в обсерватории на короткое время уступила сезону ремонта и модернизации. Будет реставрирован сидероскоп, уникальная установка получит новую современную электронику, компьютерные системы. Ученые заняты систематизацией материалов, публикациями, планированием предстоящей работы. В предстоящем году зеркало БСВТ снова поймает солнечный свет».

Берега Байкала уже в ноябре покрыты снегом, но знаменитый байкальский лед встает на озере обычно ближе к Новому году. Об удивительных свойствах байкальской воды, ее льда, о населяющих озеро живых организмах, о его палеоистории, об открытиях на дне Байкала мы знаем сегодня благодаря исследованиям знаменитого Лимнологического института СО РАН. Созданный в 1928 г. на базе Байкальской лимнологической станции, этот институт стал первым научным учреждением академии наук в Сибири. И, как ни удивительно, именно ЛИН СО РАН стал одним из первых, которых миновшим



Байкал привлекает людей в любое время года



Берега Байкала уже в ноябре покрыты снегом



Лимнологический институт — лидер по наукам о Земле в Сибири, он единственный на сегодня занимается комплексным изучением Байкала. Ученые ЛИН СО РАН публикуются в самых престижных научных журналах России и мира

летом взялась проверять на эффективность комиссия Минобрнауки. Институт, которому осенью 2013 г. предстояло отпраздновать 85-летний юбилей, мог оказаться закрытым и не отметить эту дату.

Совместно со специалистами Санкт-Петербургского Арктического и антарктического научно-исследовательского института иркутские ученые исследуют озера Антарктиды, самое знаменитое из которых — подледное озеро Восток.

«Озеро Восток схоже с Байкалом! — говорит Тамара Ходжер, заведующая лабораторией гидрохимии и химии атмосферы Лимнологического института СО РАН. — Оно в такой же мере древнее, имеет похожую вытянутую форму, большую глубину, сравнимо по объему водной массы, хотя подледный водоем гораздо меньше Байкала. Исследование химического состава воды из озера Восток для

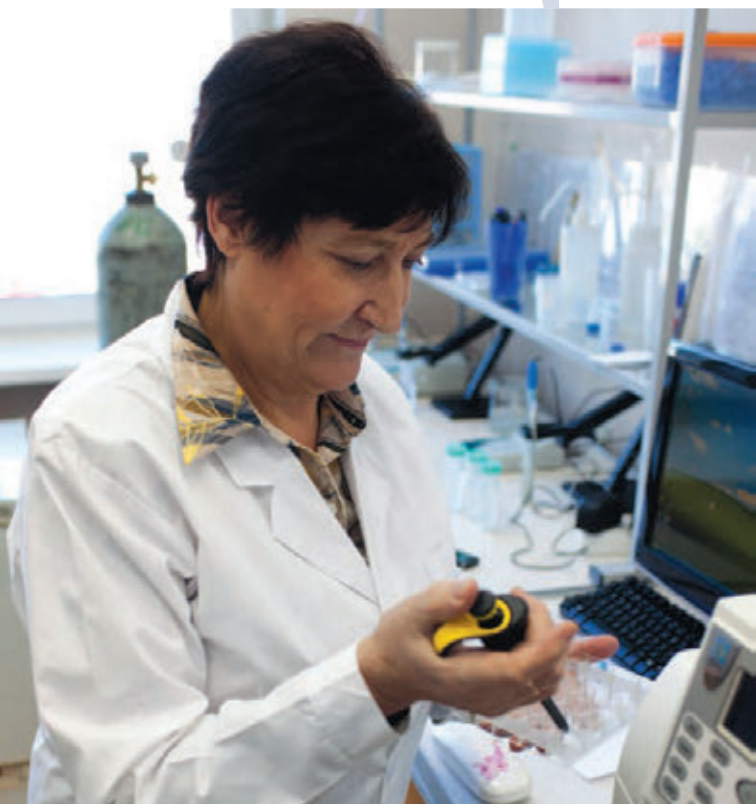
нас представляет огромный интерес — оно более миллиона лет было закрыто ледяным панцирем, что может пролить свет и на прошлое Байкала.

У нас накоплен большой опыт изучения химического состава воды, снега, льда, осадков над Байкалом. Это помогает найти правильный подход к изучению ледяных кернов Антарктиды. Наши специалисты участвуют в антарктических экспедициях. В прошлом году, как все знают, скважина вошла в воды озера Восток, находящегося на глубине около 4 км под ледяным панцирем.

Сейчас мы изучаем керны льда, который представляет собой замерзшую воду Востока. Первые 200–300 м льда над поверхностью озера считаются озерным льдом. Один из наших кернов — лед из слоя 12 м от поверхности воды, второй — 24 м. Мы первыми сделали анализ озерного льда с таких малых расстояний от поверхности Востока, можно сказать, подошли к ней ближе всех других исследователей.

Анализ показал, что вода озера Восток — ультрапресная. Содержание солей в ней — всего 60 мкг на литр. Для нас, детально изучивших процесс вымораживания солей в байкальском льду, это означает возможность экстраполяции: мы с большой точностью можем говорить об ожидаемой концентрации солей в воде Востока. Мы считаем, что она составит 300–500 мкг на литр. Озер с такой водой на поверхности Земли нет, даже в самых чистых высокогорных водоемах концентрация солей выше. Возможно, это соли древнего океана.

Еще одно важное заключение — вода озера Восток пересыщена кислородом! Откуда на глубине 4 км ледовой толще берется столько кислорода — пока нет окончательной версии. Пузырьки воздуха в толще приозерного



Тамара Ходжер, заведующая лабораторией гидрохимии и химии атмосферы Лимнологического института СО РАН



Сотрудники Лимнологического института СО РАН изучают различные аспекты озера Байкал



льда — это частицы древней атмосферы Земли. На основании анализа их состава делается палеореконструкция былого климата планеты. Но перенасыщенность кислородом воды древнего озера говорит о том, что там либо нет жизни, либо существуют до сих пор не известные ее формы, которые могут переносить такие высокие концентрации окислителя. В пробе льда из озера Восток пока обнаружена лишь одна бактерия, подобная тем, что живут на поверхности Земли в горячих вулканических источниках. Сейчас проводят детальный анализ ее ДНК. Это говорит о том, что на дне озера Восток могут существовать выходы горячих вод из глубин Антарктиды, создающие особый температурный режим, еще нам неизвестный. И это, и многое другое пока остается интригующей всех загадкой.

Ледяные керны хранят информацию и о погребенных подо льдом вулканах. О наличии подо льдом вулкана говорит присутствие в химическом составе льда солей-сульфатов, частиц вулканического пепла. Мы нашли уже около 30 вулканов!»

Байкал привлекает людей в любое время года, и поселок Листвянка на его берегу буквально на глазах превратился в крупный центр туризма. С пирсов уходят и туристические катера, и научно-исследовательские корабли Лимнологического института. Отсюда же, из Листвянки, начиналась история подводных исследований Байкала.

Первый аппарат, опустившийся на дно озера, «Пайсис-11», сейчас занял почетное место на постаменте под прозрачным колпаком у здания Байкальского музея ИНЦ СО РАН. «Это уже история, — говорит директор музея Владимир Фиалков. — Тогда, в 1977 г., российские океанологи еще не имели такого, как сейчас,

опыта погружений. Аппарат "Пайсис", собранный в Канаде и привезенный в СССР, решили опробовать в байкальских глубинах перед океаническими погружениями. И тогда была достигнута глубина в 1410 м, по тем временам рекордная. Члены экипажа Анатолий Сагалевич, Александр Подражанский и Николай Резинков были награждены орденами "Знак Почета". Польза для аппаратов была очевидна: они прошли испытания. Польза для Байкала — еще больше. Впервые на глубине около 400 м в районе Лиственничного нашли конгломераты юрского периода. Аналогичные еще ранее были обнаружены на вершинах гор, окружающих озеро. Это доказало, что при образовании водоема часть рельефа ушла вверх в виде гор, а часть опустилась на дно.

С тех пор много воды утекло — Байкал исследовали "Миры", и наш музей стал не только форпостом просвещения, собранием редкостей и научных фактов. Мы ведем наблюдения за природой озера, у нас есть программа долгосрочного мониторинга его природных систем. Причем мы хотим, чтобы многое было доступным нашим посетителям — например, устанавливаем видеокамеры в разных точках Байкала, и на берегах, и даже на дне. В режиме реального времени можно наблюдать, например, залежку байкальской нерпы на Ушканьих островах. За последние 13 лет в Байкальском музее побывали, прослушали лекции и посетили экскурсии более 800 тыс. человек. Наша экспозиция постоянно обновляется и делается все более интересной, в планах даже полная реконструкция музея, но это пока лишь мечта». Но Байкал — это то место, где мечты обретают реальные черты. ■

Подготовила Екатерина Головина



Байкальский музей ИНЦ СО РАН



Владимир Фиалков, директор Байкальского музея ИНЦ СО РАН

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, кор. 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: **1200 руб. 00 коп.**

Стоимость одного номера журнала: за 2004–2006 гг. — **бесплатно**, за 2007–2011 гг. — **20 руб. 00 коп.**,

за 2012 г. — 1-е полугодие — **60 руб. 00 коп.**; за 2012 г. — 2-е полугодие — **120 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
2012 г.												
2011 г.												
2010 г.								объединенный выпуск	объединенный выпуск			
2009 г.												
2008 г.												
2007 г.												
2006 г.												
2005 г.												
2004 г.												

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
Россия ОАО №9038/00495 БИК 044525225
Корреспондентский счет 3010181040000000225
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
Россия ОАО №9038/00495 БИК 044525225
Корреспондентский счет 3010181040000000225
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



*Вся пресса
в одном
месте!*

PRESSA.RU
ЭЛЕКТРОННЫЕ ВЕРСИИ ПЕЧАТНЫХ ИЗДАНИЙ

*Журнал
«В мире науки»
теперь
и на pressa.ru*

Читайте в следующем номере:

АСТРОНОМИЯ
Охота
на сверхновую

БИОИНЖЕНЕРИЯ
Моделируя
живую клетку

ИСТОРИЯ НАУКИ
Процесс
Коперника

ежемесячный научно-информационный журнал

SCIENTIFIC AMERICAN

В мире науки

www.sci.ru.org №3 2014

**Наше
бессознательное
сознание**

В основе поведения человека
лежат автоматические
и неосознанные решения

Диктат подсознания

Зигмунд Фрейд и представить себе не мог, насколько бессознательные желания и побуждения влияют на то, как мы думаем и действуем.

Поиски жизни на далеких... лунах

Самыми пригодными для обитания местами во Вселенной могут быть вовсе не планеты, обращающиеся вокруг далеких звезд, а их естественные спутники.

Воссоздавая живую клетку

Первая компьютерная модель полноценно функционирующего одноклеточного организма могла бы стать мощным новым инструментом для исследований жизни и создания новых лекарственных средств.

Дело Коперника

Церковь XVII в. воспротивилась идее вращения Земли вокруг Солнца потому, что она шла вразрез с догмой; ученые — потому, что ей противоречили факты.

Архитекторы болот

При восстановлении заболоченных земель не стоит воссоздавать экосистемы в первоначальном виде; продуктивнее сфокусировать усилия на малом количестве задач, чтобы природа сама довела все до конца.

Проект журналов
Scientific American
и «В мире науки» в России
на телеканале «РОССИЯ 24»

ИДЕИ, МЕНЯЮЩИЕ МИР



ISSN 0208-0621
14002
9 770208 062001



ежемесячный научно-информационный журнал
SCIENTIFIC AMERICAN В мире науки

РОССИЯ 24

очевидное
невероятное

