

РАЗРУШЕНИЕ АНТАРКТИКИ?

**ОБНАРУЖЕН ЛЕДНИК, СПОСОБНЫЙ
ЗАТОПИТЬ ПРИБРЕЖНЫЕ ГОРОДА МИРА**

В мире науки

**SCIENTIFIC
AMERICAN**

Ежемесячный
научно-информационный
журнал

www.sci-ru.org

4 2019

12+

КАК МОЗГ ЧИТАЕТ ПО ЛИЦУ

Взламывая
нейронный код

ПЛЮС

**«МОЯ ПАРТИЯ —
АКАДЕМИЯ НАУК РОССИИ»**

Памяти Жореса Алферова

ЭКЗОПЛАНЕТА РЯДОМ С НАМИ

Венера может помочь в поисках внеземной жизни

АБОРИГЕННЫЕ ПЛЕМЕНА

Можно ли их защитить?



ОБЩЕЕ СОБРАНИЕ РАН

23–24 апреля



4



102

Темы номера

IN MEMORIAM

Жорес Алферов: «Моя партия — академия наук России»

Валерий Чумаков

Предлагаем вашему вниманию полную версию интервью 2013 г. недавно ушедшего от нас выдающегося ученого, лауреата Нобелевской премии, академика **Жореса Алферова**

4



ТРАНСПОРТ

Будущее начинается с дороги

Валерий Чумаков

К строительству новых высокоскоростных магистралей нельзя подходить с позиций стоимости и прямой окупаемости, уверен профессор **Борис Липидус**

18



АСТРОФИЗИКА

Рентгенограмма для Вселенной

Валерий Чумаков

О готовящейся к запуску масштабной российско-германской космической миссии «Спектр-РГ» мы расспросили заместителя директора ИКИ РАН **Михаила Павлинского**

26



СОДЕРЖАНИЕ

Апрель 2019

ЮБИЛЕЙ

Человек с большим сердцем

36

Ольга Беленицкая

Академик **Валентин Покровский** — об области медицины, которой он посвятил жизнь, о том, что достигнуто и что предстоит сделать, чтобы защитить человечество от будущих вирусных угроз и эпидемий



ФИЗИКА

Токамак раскроет тайны горячей плазмы

46

Наталья Лескова

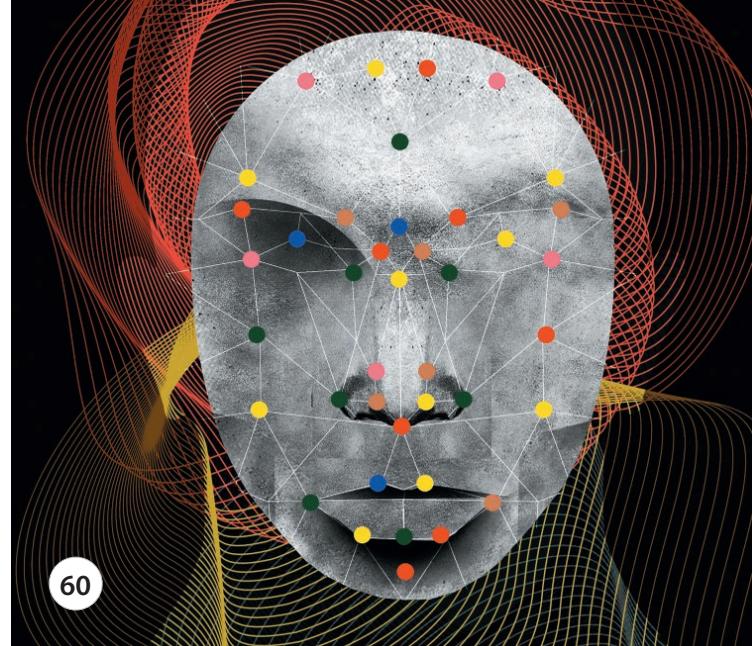
На базе НИЦ «Курчатовский институт» создается токамак принципиально нового типа, в недрах которого можно будет получить плазму более высоких энергетических значений, чем обычно



36



90



ИСТОРИЯ

Жизнь должна учиться у науки

Ольга Беленицкая

Выдающийся украинский историк и археолог, академик НАНУ, иностранный член РАН **Петр Толочко** представил в Российской академии наук свою новую книгу «Украина между Россией и Западом: историко-публицистические очерки»

НЕЙРОБИОЛОГИЯ

Код лица

Дорис Цао

Изучая области мозга, участвующие в распознавании лиц, мы сможем лучше разобраться в нейронных механизмах зрения

БИОЛОГИЯ

Цветы-призраки

Роуэн Джейкобсен

Гены гавайских растений, исчезнувших более века назад, возвращены из небытия. И теперь мы можем наслаждаться ароматом цветков этих деревьев

52



60

70

ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Антарктида исчезает?

Ричард Элли

Быстрое отступление ледников может привести к погружению береговой линии под воду раньше, чем предполагалось

АНТРОПОЛОГИЯ

Хранители народа тигра

Адам Пиор

Ученые и политики давно обсуждают, как уберечь не вступающие в контакт племена, а в Колумбии коренное население защищает своих соседей

ПЛАНЕТОЛОГИЯ

Экзопланета по соседству

Дарби Дайар, Стивен Кейн и Сьюзен Смрекар

Что может рассказать нам Венера о планетах, находящихся далеко за пределами нашей Солнечной системы

Разделы

От редакции

50, 100, 150 лет тому назад

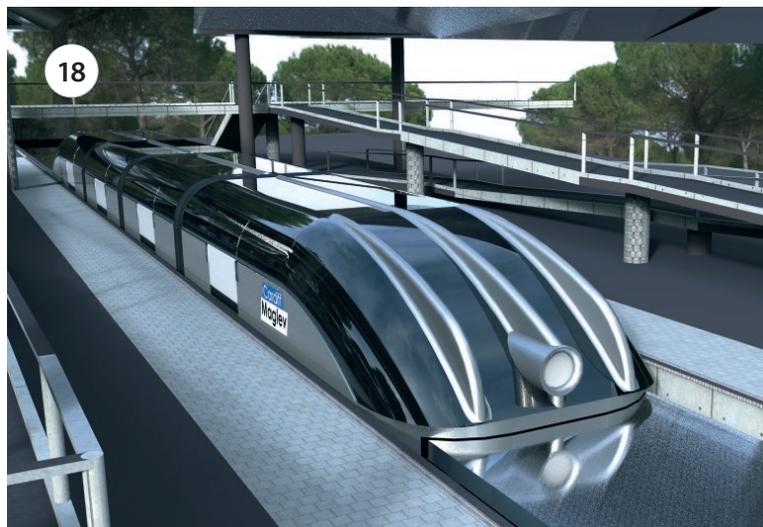
82

90

102

3

112



В мире науки

SCIENTIFIC
AMERICAN

Наши партнеры:



PETER



SERVICE



Сибирское отделение РАН



РОСАТОМ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»



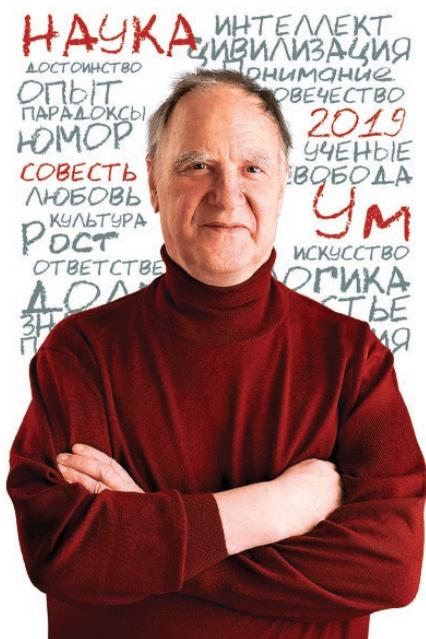
очевидное
невероятное



ИНТЕРНЕТ-ПОРТАЛ

Научная Россия

Основатель и первый главный редактор
журнала «В мире науки / Scientific American»
профессор Сергей Петрович Капица



Учредитель и издатель:

Некоммерческое партнерство «Международное партнерство
распространения научных знаний»

Главный редактор:

В.Е. Фортвов

Главный научный консультант:

президент РАН академик А.М. Сергеев

Ответственный секретарь:

О.Л. Беленицкая

Зав. отделом иностранных материалов:

А.Ю. Мостинская

Шеф-редактор иностранных материалов:

В.Д. Ардаматская

Зав. отделом российских материалов:

О.Л. Беленицкая

Выпускающий редактор:

М.А. Янушкевич

Обозреватели:

В.С. Губарев, В.Ю. Чумаков

Администратор редакции:

О.М. Горлова

Научные консультанты:

академик В.Г. Акимкин; д.э.н. Б.М. Лapidус; д.ф.-м.н. А.А. Лутовинов; д.ф.-м.н. М.Н. Павлинский;
академик В.В. Покровский; академик В.И. Покровский; к.ф.-м.н. В.Г. Сурдин; академик НАНУ П.П. Толочко;
д.т.н. П.П. Хвостенко

Над номером работали:

М.С. Багоцкая, А.П. Кузнецов, С.М. Левензон, Н.Л. Лескова, А.И. Прокопенко, В.И. Сидорова,
Н.Н. Шафрановская

Дизайнер:

Д.А. Гранков

Верстка:

А.Р. Гукасян

Корректур:

Я.Т. Лебедева

Президент координационного совета НП «Международное партнерство распространения научных знаний»:

В.Е. Фортвов

Директор НП «Международное партнерство распространения научных знаний»:

В.К. Рыбникова

Финансовый директор:

Л.И. Гапоненко

Главный бухгалтер:

Ю.В. Калинин

Адрес редакции:

Москва, ул. Ленинские горы, 1, к. 46, офис 138;
тел./факс: 8 (495) 939-42-66; e-mail: info@sciam.ru; www.sciam.ru
Иллюстрации предоставлены Scientific American, Inc.



Отпечатано:

ОАО «Можайский полиграфический комбинат», 143200, г. Можайск, ул. Мира, 93,
www.oaompk.ru, www.oaompk.pf, тел.: 8 (495) 745-84-28, 8 (4963) 82-06-85
Заказ № 0157

© 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.

ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ЗА НАУКУ

К ОБЩЕМУ СОБРАНИЮ ЧЛЕНОВ РАН
23 И 24 АПРЕЛЯ 2019 ГОДА



Приближается очередное общее собрание Российской академии наук, на котором мы должны обсудить проект новой программы фундаментальных научных исследований, рассчитанной на долгосрочный период — с 2021 по 2035 г.

В соответствии с новой редакцией закона о РАН, принятой в прошлом году, академия наук отвечает и за подготовку, и за реализацию этой программы. Главное ее отличие от предыдущей состоит в том, что она должна охватить все фундаментальные исследования в стране, которые проводят и академические институты, и университеты, и государственные научные центры, и госкорпорации — словом, все учреждения, в которых есть научная составляющая. Обсуждение новой программы таит ряд сложностей.

Первая — долгосрочный период программы. Как запланировать то, что ты будешь делать в фундаментальной науке через десять лет, тем более предугадать, какое количество результатов получишь и в каких направлениях? Известно, что в фундаментальной науке часто отрицательный результат становится открытием, меняющим вектор исследований. Поэтому члены академии должны обладать определенным визионерством и быть готовыми к гибкому реагированию на возникновение новых трендов.

Вторая сложность — ресурсное обеспечение. Заниматься фундаментальной наукой, не имея самой современной приборной базы, мощных научных инфраструктур, подготовленных кадров, невозможно. Насколько планы в науке, которые мы сейчас формулируем, будут обеспечены ресурсами? Этот вопрос должен находиться в сопряжении с мероприятиями, проводящимися в рамках нацпроекта «Наука», состоящего из трех федеральных

проектов, который будет выполняться в течение ближайших пяти лет.

Третья сложность — у нас нет удовлетворенности системой организации научных исследований в стране. Это часто приводит к жарким дискуссиям относительно того, как должна оцениваться научная деятельность: критерии успеха, публикационная активность, ставшая в последние годы главным параметром, на который ориентированы научные коллективы, нормо-часы, по которым сейчас измеряется фундаментальная наука. Это абсолютно не соответствует основным принципам работы в науке. Мы должны серьезно сосредоточиться на этой проблеме при обсуждении программы фундаментальных исследований, чтобы определить адекватную шкалу ее результативности.

Четвертая сложность — переход результатов фундаментальных исследований в прикладную стадию. На это нас ориентирует принятая два с половиной года назад стратегия научно-технологического развития страны. И, планируя нашу фундаментальную деятельность, мы должны в рамках программы иметь раздел о том, как обеспечить переход результатов фундаментальных исследований в практику.

В заключение хочу пожелать своим коллегам, во-первых, творческих успехов в создании долгосрочной программы фундаментальных исследований, во-вторых, активности при обсуждении тех сложных моментов, которые я перечислил, и самое главное — ответственности при принятии решений. Ответственности в том смысле, что мы сейчас отвечаем за всю науку в стране. ■

**Президент Российской академии наук
Александр Сергеев**

ЖОРЕС АЛФЕРОВ:

«МОЯ ПАРТИЯ — АКАДЕМИЯ НАУК РОССИИ»

Это большое интервью дал нашему журналу в 2013 г. недавно ушедший от нас выдающийся ученый, лауреат Нобелевской премии, академик **Жорес Иванович Алферов**. Тогда по ряду причин, в том числе по его желанию, была опубликована только часть материала. Предлагаем вашему вниманию полную версию интервью.

На странице справа: портрет лауреата Нобелевской премии академика Ж.И. Алферова. Предоставлен Санкт-Петербургским институтом биорегуляции и геронтологии (директор — член-корреспондент РАН В.Х. Хавинсон). Автор портрета — народный художник СССР, член Союза художников СССР/РФ С.Б. Алексеевич.



— **Жорес Иванович, если я не ошибаюсь, ваше имя «Жорес» значительно чаще встречается в качестве фамилии, чем имени.**

— Совершенно верно. В этой связи сомной произошла смешная история. В 1964 г. я поехал в Париж на международную конференцию по физике полупроводников. И организаторы, просмотрев мои бумаги, решили, что Алферов — это имя, а Жорес — фамилия. Я получил бедж с надписью *A. Jaurès*. И тогда я из буквы «А» сделал эмблему полупроводникового диода, она на букву «А» похожа, а внизу подписал *Alferov*. На приветственной встрече в Доме радио на берегу Сены ко мне подошел американский физик Маршал Нельсон и очень громко возмутился: почему советским ученым дают беджи с эмблемой полупроводникового диода, а американским — нет? Пришлось ему объяснить, позже мы стали друзьями.

ТРОЙКА ПО ФИЗИКЕ

— **Но почему же тогда вас, белорусского мальчика, так хитро назвали?**

— Мой папа Иван Карпович Алферов родился и вырос в Белоруссии. Его отец, мой дед, был сапожником зимой и плотогоном — летом. Бедные люди в Белоруссии обычно отправлялись на заработки в Петербург. И в 17 лет мой папа поехал в Петербург. За два года до него туда уехал его старший брат. Они устроились на работу, сняли вместе с тремя товарищами за 30 руб. комнату в центре города, на Большой Дворянской. Зарплата рабочего средней квалификации в Питере в то время как раз составляла 30 руб.

Уехал отец в 1912 г., а в 1914 г. началась война. Призвался в Белоруссии по месту рождения, служил в гусарах, в четвертом Мариупольском Ее Императорского Величества гусарском полку. Воевал всю Первую мировую на северо-западном фронте. В начале 1917 г. его избрали председателем полкового комитета. Летом 1917 г. он стал большевиком, сагитировал его «товарищ Андрей», Арон Сольц, «совестей партии», который позже был председателем комиссии партийного контроля ЦК ВКП(б). Мы пару раз останавливались в его квартире в Москве в знаменитом Доме на набережной. Папа Гражданскую войну начал взводным командиром в Витебском латышском кавалерийском полку Красной армии, а закончил ее командиром кавалерийского полка. Потом служил в ВЧК по охране госграницы, а дальше пошел на хозяйственную работу, стал инженером, окончил промакадемию. На госгранице встретил мою маму. Приехал, стал искать, какой дом самый хороший, нашел, а там жила мама. В их семье было шесть дочерей, а когда родился первый сын, они его назвали Маркс — в честь Карла Маркса. Маркс погиб на фронте в 1944 г. Он воевал в Сталинграде, на Курской дуге. Когда же я должен был родиться, родители ждали не меня, а девочку, даже приготовили для нее вполне обычное имя — Валерия. Но родился мальчик, а папа тогда прочитал то ли в газете, то ли в календаре статью про Жана Жореса, основателя французской коммунистической партии. И я стал Жоресом.

— **Вы в довольно короткий промежуток времени — от рождения до войны — сменили много мест жительства.**



— Совершенно верно. В дипломе у папы было написано «инженер-организатор целлюлозно-бумажной промышленности». По-сегодняшнему — менеджер. Готовили таких менеджеров специально для поднятия промышленности. Подобного специалиста кидали на тяжелый участок, он его поднимал, после чего его перебрасывали дальше. Как правило, каждые два года мы переезжали на новое место жительства. Жили в Сталинграде, Новосибирске, Барнауле. Потом, перед войной, перевели на Сясьстрой — целлюлозно-бумажный комбинат, первенец первой пятилетки. А в апреле 1941 г. папу вызвал нарком целлюлозно-бумажной промышленности Н.Н. Чеботарев и сказал: «Иван Карпович, мы построили пять заводов пороховой целлюлозы, чтобы порох делать не из хлопка, а из елки. Завод № 3 — ты директор, сдавай дела и поезжай». Мы были недовольны. Из-под Ленинграда ехать на Урал, 250 км на северо-восток от Свердловска. В апреле папа принял завод и приехал нас забирать 22 июня 1941 г. Мы уехали из Ленинграда 26 июня. В сущности, нам повезло, поскольку при других условиях уехать было бы куда сложнее.

— Вы столько раз переводились из школы в школу и при этом умудрились стать золотым медалистом. Как это у вас вышло?

— У нас в Минске была замечательная школа. Я все годы учился хорошо, был отличником, хотя не каждый год, иногда получал и четверки. В Минск мы приехали в июне 1945 г. Город лежал в развалинах, уцелело лишь несколько больших зданий — Дом правительства, здание ЦК партии, Дом офицеров. Немцы хотели их

взорвать, но Красная армия наступала так стремительно, что они это сделать просто не успели. Когда мы приехали в Минск, трест, начальником которого стал папа, снял для нас две комнаты в частном доме. Школ в Минске осталось четыре, одна мужская и три женских. В нашей 42-й школе, как мы ее называли, «гвардейской непромокаемой», собрался очень сильный учительский коллектив. Были потрясающий учитель физики, великолепная учительница литературы, прекрасная учительница географии. Мужская школа была одна, и нам ни в чем не отказывали — в пределах разумного. Я был в культурном секторе комитета комсомола. Узнав, что первый секретарь ЦК комсомола Белоруссии М.В. Зимянин (позже он стал секретарем ЦК КПСС) вернулся из Англии, где выступал на съезде молодежи, я пошел к нему и сказал: «Михаил Васильевич, мы просим вас прийти к нам в школу». Он пришел и прочитал нам великолепную лекцию.

А потом мы решили позвать председателя президиума Верховного Совета БССР Н.Я. Наталевича, чтобы он рассказал нам о четвертом пятилетнем плане восстановления и развития народного хозяйства. Это было в ноябре 1946 г., я уже был в десятом классе. Он принял приглашение и приехал к нам. Но тут все случилось совсем не так гладко, как в ситуации с М.В. Зимяниным. Никифор Яковлевич плохо знал пятилетний план, мы знали его гораздо лучше, на многие вопросы он нам отвечал неточно или не мог ответить. Он приехал к нам с охранниками, что нам крайне не понравилось: М.В. Зимянин у нас был без охраны. Когда он закончил, мы вежливо похлопали, вопросы



ЛАУРЕАТ
ЛЕНИНСКОЙ ПРЕМИИ

1972

ДИРЕКТОР ФТИ ИМ. А.Ф. ИОФФЕ
(ПО 2003 Г.)

1979

АКАДЕМИК АН СССР

1987

НОБЕЛЕВСКАЯ ПРЕМИЯ
ЗА РАЗВИТИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ
ГЕТЕРОСТРУКТУР ДЛЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ
ОПТОЭЛЕКТРОНИКИ

2000

ВИЦЕ-ПРЕЗИДЕНТ РАН

2003

2019

УМЕР 1 МАРТА
В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

позадавали, он пошел к директору, а мы спустились вниз. Было начало ноября, и только что выпал первый снег. Десятиклассники в школе — это законодатели, все младшие слушаются. Мы вышли — ребята третьих-четвертых классов играют в снежки, и мы им сказали: сейчас выйдет плохой дядя, изметельте его снежками так, чтобы у него сухого места не осталось. И вот выходит председатель президиума Верховного Совета Белоруссии в каракулевой шапке, пальто, ребятишки играют в снежки — раз, и шапки нету, воротник поднимает — раз, ему в нос. Он с охранниками метров десять бегом бежал до машины от наших школьников.

— Вас не наказали?

— Что вы, я же говорю: у нас были потрясающие учителя. Физику преподавал Яков Борисович Мельцерзон, человек, который не представлял, как можно не любить этот предмет. Лаборатории у нас не было, кабинета физического не было, он приходил и читал два урока лекции. И никого не спрашивал. В конце четверти он раздавал контрольную — 12 вариантов на 22 человека. То есть списать было почти нереально. В контрольной были задача и два теоретических вопроса. По ответам

на эту контрольную он выставлял четвертные оценки. И я получал у него то пятерку, то четверку. А в третьей четверти девятого класса вдруг получил три с плюсом. Все было решено правильно, но в итоговой задаче в ответе я написал «3 527 000». Он красной ручкой перечеркнул жирно и написал: «В этом случае надо писать $3,527 \times 10^6$ ».

Я пришел расстроенный домой, рассказал об этом маме. Мама на родительском собрании подошла к учителю и сказала, что ее сын так любит физику и очень огорчен этой тройкой. Ему это крайне не понравилось. На следующей лекции он сказал: «Некоторые тут недовольны моими оценками, Алферов — к доске». Он меня спрашивал все 45 минут, потом сказал: «Ну ладно, мы не все успели, продолжим на следующем уроке». К следующему уроку я уже готовился и отвечал достаточно уверенно. Когда Яков Борисович закончил опрос по материалу девятого класса и перешел к восьмому, я где-то немножко ошибся. Он сказал: «Хорошо, физику вы знаете» — и поставил мне четыре с плюсом. А после этого и всю четвертую четверть, и весь десятый класс было так: он что-то рассказывает на уроке и вдруг



После семинара в Физтехе.
На переднем плане слева
направо: В.М. Тучкевич
(директор ФТИ), П.Л. Капица,
Ж.И. Алферов. Ленинград, 1979 г.

Слева направо: Ж.И. Алферов,
Джон Бардин, В.М. Тучкевич
и Ник Холоньяк. Иллинойсский
университет, Эрбана, США, 1974 г.



обращается ко мне и говорит — а что думает Алферов? Я вставал и говорил что мог, и тут же в журнале появлялась жирная пятёрка. На экзамене на аттестат зрелости была письменная задача, он, проходя мимо меня, глазами показал: мол, посмотри внимательней. Я посмотрел внимательней и заметил неточность: я там какую-то арифметику в заключительной части не учел. Это он, зная, что я увлекаюсь электроникой, сказал, что лучше всего ей учат в ЛЭТИ, в Ленинграде. А папа мой говорил: «Ну что ты выбрал эту электронику? Электронов никто не видел».

НАУКА ВКЛЮЧАТЬ ОСЦИЛЛОГРАФ

— **Электроника — это еще можно понять, но почему вас потянуло на эти непонятные полупроводники в эпоху радиоламп?**

— Тут много случайностей и совпадений. Я на втором курсе на студенческой научной конференции сделал доклад о работах знаменитого русского физика Александра Григорьевича Столетова по фотоэффекту. Доклад понравился Н.Н. Созиной, сотруднице кафедры основ электровакуумной техники. Она как раз занималась полупроводниковыми фотосопротивлениями. Она позвала меня работать на кафедру, и я с удовольствием согласился. Сначала работал бесплатно, а потом Наталья Николаевна говорит: «Вы с утра до ночи тут просиживаете, давайте я оформлю вас на полставки инженера». И я на четвертом и пятом курсах получал 650 руб. стипендии и 550 руб. полставки инженера — всего 1200 руб. Придя в мой горячо любимый Физтех, я вначале получал 900 руб. То есть я стал меньше зарабатывать, чем студентом.

Дальше я стал заниматься полупроводниками. Я учился на факультете вакуумной электроники. Между прочим, Джек Килби, мой коллега по Нобелевской премии, окончил тоже вакуумную электронику, только вдали от Санкт-Петербурга, в Иллинойском университете. А дальше, конечно, мне очень крупно повезло. Я добился распределения на работу в Физтех. Меня Наталья Николаевна хотела оставить на кафедре, но я узнал, что в Физтехе есть три вакансии, и сказал: «Ни при каких обстоятельствах! Раз есть Физтех, помогите, сделайте так, чтобы я был там». У нее муж был секретарь парткома института, для него ничего невозможного не было, и меня распределили в Физтех. Я не знал



Ученики, единомышленники и близкие друзья. Слева направо стоят: В.М. Андреев, Д.Н. Третьяков, сидят: Д.З. Гарбузов, В.И. Корольков, Ж.И. Алферов. В полном составе, включающем Р.Ф. Казаринова и Е.Л. Портного, эту компанию называли «великолепной семеркой». Ленинград, ФТИ, 1972 г.

тогда, что А.Ф. Иоффе уже ушел из института, не знал подробностей его трагических последних лет. Я написал маме письмо: «Мама, я иду работать в Физтех, где работает Абрам Федорович Иоффе».

В Физтех я пришел 30 января 1953 г. Тогда заведующим сектором в лаборатории полупроводников был кандидат физико-математических наук В.М. Тучкевич, ставший потом академиком и Героем Социалистического Труда. Он у меня спросил: «Осциллограф вы включать умеете?», а когда узнал, что я два года работал на ставке инженера, сразу повел меня в лабораторию. Мы тогда выполняли специальное задание правительства, тема «Плоскость» была поручена правительством четырем институтам — ленинградскому Физтеху, московскому ФИАН, НИИ 108 Минобороны, где ректором был академик А.И. Берг, и НИИ 160 электронной промышленности. Задача была — создание первых советских транзисторов на *p-n*-переходах. Транзисторы — это для того времени новая физика и новая технология. Так я сразу попал на чрезвычайно интересное, важное и новое направление. У меня есть лабораторный журнал, в котором записано, что наш транзистор с приличными характеристиками сделан мною 5 марта 1953 г.



Нобелевские лауреаты 2000 г.
Джек Килби (США), физика;
Алан Хигер (США), химия;
Жорес Алферов (Россия)

Давние друзья —
Ж.И. Алферов и Лео Эсаки
(Нобелевская премия
по физике 1973 г.)



— Нам сейчас кажется, что у полупроводников нет альтернативы. А тогда кто-нибудь говорил, что полупроводники — это не перспективно?

— Ученые достаточно консервативны, они работают прежде всего с тем, что уже есть, и верят в это. Первая электронная машина ЭНИАК, созданная в 1945 г. в США, работала по десятичной, а не двоичной системе и была построена на 18 тыс. ламп. За счет этого она весила 20 или 30 т, потребляла 200 кВт мощности, а предназначалась для решения одной задачи: расчета траектории артиллерийских снарядов. Тогда шутили, что мощность взрыва этого снаряда и мощность, затраченная на расчет его траектории, примерно одинаковы. В 1949 г., когда американцами уже были созданы первые плоскостные транзисторы, передний край вычислительной техники базировался только на лампах. В 1960–1961 гг., когда уже Килби сделал первый кремниевый чип, Роберт Нойс создал кремниевый чип, они не находили применения, поскольку многие выступали

категорически против этой «инновации». Если бы не ракетная программа «Минитмен» и не проект «Аполло», кремниевые чипы в микроэлектронику вошли бы спустя еще три-семь лет.

— Сегодня дела обстоят так же?

— Сейчас альтернативы полупроводникам пока нет. Есть две полупроводниковые «колонны» — кремниевая микроэлектроника, которая переходит в наноэлектронику, и полупроводниковые гетероструктуры, которые решают все проблемы света, СВЧ и многого другого. Мы здесь как раз бьемся над проблемой, как их «поженить», что даст очень много полезных результатов. Но в определенных нишах альтернатива уже появляется. Это проводящие полимеры. Они многое отнимут — и уже отнимают. Так получилось, что Нобелевскую премию по физике мы получали с Джеком Килби и Гербертом Кремером в 2000 г. и в этом же году была присуждена Нобелевская премия по химии Алану Хигеру, Алану Макдиармиду и Хидэки Сиракаве за открытие и развитие проводящих полимеров.

Хигер в своей Нобелевской лекции сказал: «Чем хороши наши проводящие полимеры? Они приближаются по свойствам к полупроводникам, сохраняя огромные преимущества возможностей производить листы, печатать, скажем, солнечные батареи, как газету в типографии». Но это — ниша. Полупроводники, кремний вместе с гетероструктурами решают значительно более общие задачи. Пока им нет альтернативы.

ХОРОШИЕ КОМПАНИИ

— С Гербертом Кремером вы работали совместно или по отдельности пришли к нобелевским результатам?

— Во-первых, Герберт Кремер — теоретик. Он свои теоретические работы по гетероструктурам публиковал в 1950-е гг., намного раньше меня. Я стал заниматься ими в конце 1962 г. Поэтому он пионер. А мы пионеры тоже, но практики. У нас была первая идея полупроводникового лазера, после нее я сформулировал идею сверхинжекции в гетероструктурах, оптического ограничения, оптического волновода для лазеров. Мы довольно рано поняли одну принципиально важную вещь. Гетероструктуры в целом позволяют создавать принципиально новый класс материалов, и на их основе можно иначе управлять потоками электронов и фотонов и создать новую электронику. Я тогда говорил своему другу Б.П. Захарчене, его уже с нами нет: «Боря, я "гетероперевожу" всю электронику». Была создана небольшая группа и, я думаю, к 1968 г. мы смогли обогнать американцев, потому что у нас был более широкий подход. Они на это дело смотрели только как на улучшение параметра лазеров и даже боялись сделать двойную гетероструктуру, делали так называемую одиночную. Мы же решали принципиальную задачу, но сконцентрировав первые усилия на лазерах, потом на солнечных батареях, потом на транзисторах. Кремер тоже пришел к идее лазера, но на три или четыре месяца позже. Он мне говорил, что хотел сделать эксперимент, но то ли ему не разрешили, то ли у него не получилось.

— **Жорес Иванович, надеюсь, вы не обидитесь, если я скажу, что большинство людей, даже читателей «В мире науки», представления не имеют о том, что такое гетероструктуры?**

— Гетероструктура — это полупроводниковая структура, в которой меняется

химический состав. Изменяя химический состав, вы управляете свойствами. В одной структуре реализованы сразу разные полупроводниковые материалы. Для массы полупроводниковых приборов иногда для одного дела нужен материал с малой шириной зоны, а для другого — с большой. В лазерах работает идея двойной гетероструктуры, когда вы делаете узкозонную часть в середине, а по краям так называемые широкозонные эмиттеры. При этом свойства лазеров меняются, появляется оптическая волноводная система. Лазеры — прекрасное изобретение, полупроводниковые — великолепное. Это были компактные лазеры, крошки, но они работали только при температурах жидкого азота и жидкого гелия. А наша идея дала возможность этой крошке работать при комнатной температуре. Родилась на самом деле новая область физики полупроводников.

**«ЗОЛОТЫЕ МЕДАЛИ
ИНСТИТУТА ФРАНКЛИНА
ДО МЕНЯ ПОЛУЧАЛИ
П.Л. КАПИЦА В 1944 Г.,
А ПОСЛЕ МЕНЯ —
Н.Н. БОГОЛЮБОВ В 1974 Г.
И А.Д. САХАРОВ В 1981 Г.
БЫТЬ В ТАКОЙ КОМПАНИИ
ПРИЯТНО»**

Но чтобы все это родилось, нужно иметь материалы, где нужные свойства реализуются без дефектов. Нам с самого начала было ясно: массу полезных эффектов можно получить, когда узкозонная часть — арсенид галлия. Было известно, что арсенид алюминия имеет очень близкие параметры решетки, поэтому начинать нужно было с этой системы. Однако арсенид алюминия — химически нестабильный материал, свойства которого изучаются, когда его покрывают слоем германия, а так он быстро распадается на щелочь и газ. Ну и кто будет делать приборы, которые превратятся в щелочь и газ? Мы считали, что это не перспективно. И не только мы, но и другие так полагали. Поэтому мы начали с системы «мышьяк —

галлий — фосфор». Я считал, что для получения основных эффектов мы добавим 10% фосфора, и разница в ширине зоны будет уже заметно больше, чем тепловая энергия электронов, и электрончики не смогут перескочить через барьер. А дефектов решетки будет мало. Мы потратили несколько лет на разработку технологии для этой системы, получили лазер, но он снова функционировал только при температуре жидкого азота. Ребята у меня работали молодые, выпускники, старше был только Дмитрий Третьяков, блестящий физик. Однажды он пришел ко мне и говорит: «В столе у Саши Борщевского (сотрудника лаборатории Н.А. Горюновой, он сейчас работает в США) лежат поликристаллические кусочки твердых растворов "галлий — алюминий — мышьяк", лежат уже несколько лет, и с ними ничего не случилось». То есть для арсенида алюминия в чистом виде нужны керосин и все прочее, а твердые растворы «галлий — алюминий — мышьяк» — стабильный материал, пригодный для электроники. Мы попробовали — и все получилось, и ширина зоны разная, и стыковка. В 1968 г. мы послали первую статью, а потом узнали, что два американца сделали то же самое и тоже отправили статью. Правда, чуть позже, а опубликовали чуть раньше, но это неважно.

Дальше мы показали основные физические явления: электронное ограничение,

эффект сверхинжекции, получение стимулированного излучения. И, наконец, сделали лазер, который работал при комнатной температуре. Когда я летом 1969 г. в первый раз поехал в Америку, меня пригласили на конференцию по люминесценции. Должна была ехать делегация, но в последний момент не оказалось денег — и нас сделали туристической группой. А значит, нужно платить приличные деньги за пролет и проживание. Зарплата у меня была 400 руб., а заплатить нужно было 700 руб., так что я призадумался. Бывший директор нашего института академик Б.П. Константинов, замечательный человек, прекрасный физик, решивший проблему изотопов литий-6 для водородной бомбы, получивший за это звание Героя Социалистического Труда, в это время был безнадежно болен. Он пришел в институт, позвал меня и сказал: «Жорес Иванович, нужно, чтобы американцы знали ваши работы, не отказывайтесь ехать, я, может быть, смогу оплатить вам транспортные расходы». Это был его предсмертный подарок. Борис Павлович умер, не дожив одного дня до своего дня рождения. 9 июля 1969 г. мы его хоронили. А в августе я поехал на эту конференцию и сделал там доклад.

Перед этим я написал знакомым американцам, что хочу побывать в *Bell Telephone Laboratories, IBM* и *RCA*, где занимались



Ж.И. Алферов и премьер-министр Беларуси М.В. Мясникович, Минск, 2011 г.

Президент АН СССР М.В. Келдыш вручает Ж.И. Алферову Ленинскую премию, Москва, 1972 г.



именно моими делами. Когда я приехал на конференцию, ко мне сразу подошел директор департамента электронных приборов *Bell Telephone* Джон Голд и сказал: «Доктор Алферов, мы получили ваше письмо, когда вам удобно, мы ждем вашего визита к нам». Затем ко мне подошел Макс Лоренци из *IBM*, я его уже знал, он бывал у нас до этого в Ленинграде и в Москве, и сказал: «Жорес, мы ждем тебя!» Затем подошел ко мне мой старый знакомый Жак Панков (Яша Панков, эмигрировавший в детском возрасте из России и работавший в *RCA*) и сказал: «Жорес, пока у меня нет разрешения на ваш визит». Ну нет так нет. Потом я сделал доклад. Перед докладом я просил Яшу, если я не пойму чей-то вопрос, подсказать. Когда я окончил доклад, Яша первым на довольно быстром английском задал мне вопрос. Но я вопрос понял и ответил тоже быстро на английском. Вообще, это тогда была бомба. То, над чем бились великие умы всего мира, комнатные лазеры — созданы, и созданы в России. После доклада ко мне подошел Яша и говорит: «Разрешение получено, мы ждем тебя в нашей фирме». И тогда я позволил себе

сказать: «Извините, Жак, у меня все расписано и времени на посещение вашей компании нет».

— **Получается, что и на родине ваш труд оценили практически сразу. Уже в начале 1970-х гг. вам присудили Ленинскую премию.**

— В 1971 г. Институт Франклина в США присудил мне золотую медаль Баллантайна. На нее выдвинули американцев, а по ходу разобрались, что русский Алферов все сделал раньше, и присудили эту медаль мне. Я эту медаль берегу, потому что золотые медали Института Франклина до меня получали П.Л. Капица в 1944 г., а после меня — Н.Н. Боголюбов в 1974 г. и А.Д. Сахаров в 1981 г. Быть в такой компании приятно. Ленинская премия была присуждена в 1972 г., и я помню, как в процессе ее общественного обсуждения в «Правде» появилась статья «Признано во всем мире».

— **Я знаю, что вас неоднократно выдвигали на Нобелевскую премию, но получили вы ее только в 2000 г. Почему американцев среди нобелевских лауреатов в десять раз больше, чем российских ученых?**



Профессор С.П. Капица в кабинете Ж.И. Алферова после лекции в Научно-образовательном центре, 14 апреля 2000 г.

Хотя Ж.И. Алферов проходил в Государственную Думу РФ по спискам КПРФ, ни в какой партии он никогда не состоял



— Даже больше, чем в десять раз. Но вообще наука в США, даже в период самого бурного расцвета науки в СССР, была в целом больше нашей — и возможностей у нее было больше, и развита лучше. Если смотреть на Нобелевские премии, то в первые десятилетия — а их стали присуждать в 1901 г. — лауреатами были немцы. Первый нобелевский лауреат — Вильгельм Конрад Рентген. 1920-е — начало 1930-х гг. — это Великобритания, что тоже справедливо. А после войны — США. Так оно в действительности и есть. Когда мы получали Нобелевскую премию в 2000 г., BBC проводила круглый стол с лауреатами. Она его всегда проводит. Мой сосед, Джеймс Хекман из Чикагского университета, получил Нобелевскую премию по экономике, и он, отвечая на один из вопросов,

сказал: «Научно-технический прогресс во второй половине XX в. полностью определялся соревнованием СССР и США. И очень жаль, что это соревнование закончилось». Так сказал американский экономист. И он абсолютно прав. Американские политики радовались крушению СССР и, может быть, в чем-то ему способствовали, но они допустили огромную ошибку: соревнование с СССР, наличие мощного конкурента драматически и эффективно стимулировало развитие передовых технологий и экономики США. Но, думаю, это заблуждение, когда говорят, что американцам дают премии в первую очередь. Когда у Нобелевского комитета есть возможность дать премию европейцам, в том числе и нашим ученым, они это делают.

ГЛАВНЕЕ БРЕЖНЕВА

— В начале 1970-х гг. академией наук руководил замечательный физик М.В. Келдыш. Расскажите о нем, пожалуйста.

— В Академии наук СССР были замечательные президенты. Начиная с А.П. Карпинского, который был президентом еще Российской академии с мая 1917 г., первым выбранным президентом. До этого президента назначал государь император. Потом стал В.Л. Комаров, выдающийся ботаник. Комарово под Ленинградом названо в его честь. После войны стал С.И. Вавилов. Когда он умер, после него десять лет был А.Н. Несмеянов. Потом, с моей точки зрения, был самый выдающийся президент нашей академии — М.В. Келдыш. Потом был А.П. Александров. Это все совершенно разные люди и по характеру, и по подходу. Но их объединяло одно — это были выдающиеся ученые, бесконечно преданные своему делу, науке и стране.

М.В. Келдыш в моей жизни сыграл огромную роль. В 1971 г. он, президент академии наук, приехал в Ленинград, в наш институт и в мою лабораторию. Мне о том, что он должен приехать, сообщили поздно. Я на машине примчался, прибежал в свой 15-метровый кабинетик, сел, и тут входят — М.В. Келдыш, А.М. Прохоров, Ю.А. Овчинников, Г.К. Скрыбин, М.Д. Миллиончиков — весь президиум академии. Последним, запыхавшись, входит наш директор, академик В.М. Тучкевич, и говорит: «Жорес, у вас три минуты». То есть я за три минуты должен все рассказать. Я говорю: «Мстислав Всеволодович,



Король Швеции Карл XVI Густав вручает Ж.И. Алферову диплом лауреата Нобелевской премии, Стокгольм, 10 декабря 2000 г.



Лауреаты Нобелевской премии 2000 г.
Слева направо стоят: Эрик Кандел (США), физиология и медицина; Дэниел Макфадден (США), экономика; Алан Макдиармид (США), химия; Гао Синцзянь (Франция), литература; Алан Хигер (США), химия;
сидят: Джек Килби (США), физика; Жорес Алферов (Россия), физика; Арвид Карлссон (Швеция), физиология и медицина.

как доехали?» Он говорит: «Хорошо». — «Как здоровье?» — «И здоровье нормальное». Я говорю: «Ну так я вам желаю, чтобы и дальше все было успешно со здоровьем и т.д. Что еще за три минуты я могу сказать?» Мстислав Всеволодович улыбнулся и сказал: «Жорес Иванович, у вас столько времени, сколько вы считаете нужным». Он провел у меня в лаборатории два с половиной часа. Вся его программа была сломана. Я ему очень многое показал прямо в эксперименте, рассказал о значении гетероструктур и пр. Он был далек по своей специальности от нас, но задавал правильные вопросы.

Мстислав Всеволодович много помогал нам и позже. Когда мы были выдвинуты на Ленинскую премию, он назвал на пленуме нашу работу «революцией в электронике». Тогда были так называемые спецместа, а меня выдвинули в члены-корреспонденты АН СССР по специальности «техническая физика», по которой было только два спецместа. И даже если бы я получил больше голосов, чем кандидаты из оборонных министерств, я бы не стал членом-корреспондентом. М.В. Келдыш обратил на это внимание и сказал В.М. Тучкевичу: «Чтобы завтра в девять утра у меня лежало заявление Алферова о том, что он просит баллотироваться в членкоры по другой вакансии». Владимир Максимович полетел на самолете, пришел ко мне и сказал: «Мстислав Всеволодович просил вас переписать заявление». Я переписал. Мстислав Всеволодович понимал, что когда эти работы будет вести член-корреспондент, развиваться им будет легче. И я стал членкором в 1972 г. А в 1979 г.

президентом уже был А.П. Александров, и он сделал все, чтобы я стал академиком. Он знал меня давно, понимал значение гетероструктур. С моей точки зрения, главное назначение научного руководителя — вовремя поддержать перспективное научное исследование.

— **Для этого надо обладать хорошей интуицией.**

— Скорее, иметь вкус к науке.

— **Вы прожили в науке много эпох и можете сравнить.**

— Во времена Н.С. Хрущева, Л.И. Брежнева и частично И.В. Сталина я занимался в академии наукой — при А.Н. Несмеянове, М.В. Келдыше, А.П. Александрове. И они оказывали гораздо более сильное влияние на науку, чем Хрущев или Брежнев.

— **При М.В. Келдыше было лучше всего?**

— М.В. Келдыш — великий человек. Это потрясающая личность и не менее потрясающий ученый. Могу вам сказать с полной ответственностью: проживи С.П. Королев чуть дольше, и он, и М.В. Келдыш были бы лауреатами Нобелевской премии. Нобелевский комитет был готов после полета Юрия Гагарина, спустя некоторое время, рассмотреть этот вопрос, если представят все материалы, хотя эти работы были закрыты. Но М.В. Келдыш — еще и потрясающий математик. Я не математик, я физик-экспериментатор и инженер-физик, но то, что он сделал, — флаттер, знаете, крылья отваливаются, приходят в резонанс — до теории Келдыша флаттер был и крылья отваливались, а после него флаттера нет. Потом была проблема шасси. Шасси при посадке начинало дрожать,

как в танце шимми, и это явление получило название «шимми». Келдыш дал эту теорию, и шимми не стало. Так что не зря он в 35 лет стал академиком.

У А.П. Александрова был мощный государственный подход к любой проблеме. Когда вы ему рассказывали о новом явлении, он умел сразу посмотреть, какая от этого будет польза стране. И у Анатолия Петровича было уникальное чувство юмора. Вот классический пример. В 1980-е гг. М.В. Волькенштейн, замечательный биофизик, спектроскопист, встает на собрании и говорит: «Анатолий Петрович, ну что происходит? Джуна, экстрасенсы какие-то, пора бороться с этой лженаукой». Анатолий Петрович отвечает: «Михаил Владимирович, в смутные времена это всегда появляется. Я помню, как в 1916 г. мои двоюродные сестры занимались спиритизмом и вызывали души Льва Толстого и Антона Чехова, и мой отец им говорил: "Я могу еще

вание. Финансирование в 2000-е гг. изменилось кардинально, это в 1990-е гг. был полный кошмар. Я — директор крупнейшего физического института, и у меня бюджет в 1992 г. упал в 20 раз. У меня нет денег ни чтобы вывезти мусор, ни чтобы заплатить за электричество. Моя зарплата такая, что я продаю японскую электронику, чтобы купить продукты. Я езжу за границу — в США, Корею — с одной целью. И еду всегда за их счет. Я за все эти смутные годы (в советской части было все нормально) ни разу не поехал за границу за счет академии или института, только за счет принимающей стороны. Теперь деньги есть, но еще по-прежнему заметно меньше, чем в советские времена. Раза в три примерно. Но главная проблема в другом: невостребованность наших научных результатов экономикой и обществом. Почему мы любим вспоминать советский период? Потому что мы были нужны. А когда вы нужны, и деньги находятся, и лабораторию новую вам построят, и оборудование закупят.

Можно забыть о политике, демократии, обо всем, но, разрезав на 15 частей могучую экономическую систему, мы подорвали нашу экономическую мощь. Электронная промышленность была во всех 15 республиках. А сегодня она в России, причем заметно меньше, чем было раньше, и в Белоруссии, а больше ее нигде нет... Наш президент блестяще сформулировал задачу страны, когда сказал, что к 2020 г. необходимо обеспечить 25 млн рабочих мест в экономике, основанных на высоких технологиях. Потом он мне сказал, что имел в виду в первую очередь бизнес. Я сказал: «Неправда, это задача для всей страны. Потому что это требует развития собственных научных исследований и разработок, изменения в системе образования. Мы иначе должны готовить специалистов для решения этой задачи. Только вернув стране лидирующие позиции в науке и высоких технологиях, мы можем обеспечить ее гражданам комфортное существование. И это касается в первую очередь наших сырьевых отраслей, туда сначала нужно направлять новые высокотехнологичные разработки. Потому что, имея огромное богатство, мы сидим на низком технологическом уровне. Переработка углеводов требует высокотехнологичных способов. Нам нужно осваивать арктический шельф — это тоже новые технологии. Почти все эти технологии связаны



С президентом РФ В.В. Путиным и канцлером ФРГ Герхардом Шредером в Научно-образовательном центре, 10 апреля 2001 г.

принять, что вы можете вызвать дух Толстого или Чехова, но чтобы они с вами, дурами, по два часа разговаривали, в это я никогда не поверю". Вот это, я считаю, блестящий ответ.

ВСЯ НАУКА — ПРИКЛАДНАЯ

— Как вы можете охарактеризовать сегодняшнее положение российской науки?

— Вы задаете очень тяжелый вопрос. Самая большая проблема отечественной науки сегодня — даже не низкое финансиро-

с электроникой. Мы были в списке мировых лидеров, и мы должны вернуть себе эти позиции».

Мы сейчас всячески пытаемся свести кремний и наши гетероструктуры. Здесь масса интересных вещей. Но для того, чтобы их делать, нужны деньги. И очень важно, чтобы эти результаты были востребованы промышленностью. У нас иногда рассуждают так: «Мы — фундаментальная наука, но фундаментальная наука будет развиваться, когда есть экономика на хайтеке. В этом отношении я люблю цитировать другого моего хорошего знакомого, покойного, к сожалению, — Джорджа Портера. Он был президентом Лондонского королевского общества, и у него есть замечательная фраза: «Наука вся прикладная, только какие-то приложения возникают быстро, а какие-то — через столетия». Все, чем мы живем, чем пользуемся, — это приложение научных исследований.

— Чего, по-вашему, не хватает сегодняшней Российской академии наук?

— Нам необходимо заметное усиление роли отделений академии наук — в том числе и в первую очередь специализированных отделений. Региональные отделения у нас достаточно мощные, и лучшим я считаю Сибирское отделение. Для этого есть много причин. И уезжать ученым из Сибири было несколько сложнее, чем из Москвы и Петербурга, и промышленность сохранилась чуть лучше, там остались действующие высокотехнологичные предприятия. И еще сам по себе Академгородок — гениальная вещь. М.С. Лаврентьев, выбравший место и создавший Академгородок, — гений. Но специальные отделения практически утратили свою роль, они сегодня только решают вопрос выборов новых членов. Я в свое время был против создания Ленинградского научного центра, это еще в 1970-е — начале 1980-х гг. А зачем? Я сел в «Красную стрелу», утром — в Москве, решил все проблемы с академиком А.М. Прохоровым. Отделения в то время имели значительно больше возможностей и прав. И это очень важно. Такое усиление требует в том числе и перераспределения бюджета, и еще массы дополнительных мер. Это непростая вещь, но это нужно делать.

Мы гордимся не только мировыми открытиями нашей академии наук в физике, математике, но и тем, что она изменила роль страны в новых технологиях. Атомный проект — это академия наук.

У нашей академии есть большие достижения, есть работы мирового класса, которые порождают новые технологии. Мы здесь проводили научную сессию нашего отделения нанотехнологий и информационных технологий, а это, между прочим, первое междисциплинарное отделение в нашей академии. В нашей секции нанотехнологий — и биологи, и физики, и химики, и материаловеды. На этой сессии были представлены прекрасные работы А.С. Соболева и Г.П. Георгиева по адресной доставке нанолекарств, исследования К.Г. Скрябина, блестяще развивающего генетическую программу. Так что потенциал у академии есть. Мы сегодня много занимаемся бионанотехнологиями и хотим учить ребят не только физике и математике, но и биологии и медицине. Это то, что нужно делать.

«МЫ ГОРДИМСЯ НЕ ТОЛЬКО МИРОВЫМИ ОТКРЫТИЯМИ НАШЕЙ АКАДЕМИИ НАУК В ФИЗИКЕ, МАТЕМАТИКЕ, НО И ТЕМ, ЧТО ОНА ИЗМЕНИЛА РОЛЬ СТРАНЫ В НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ»

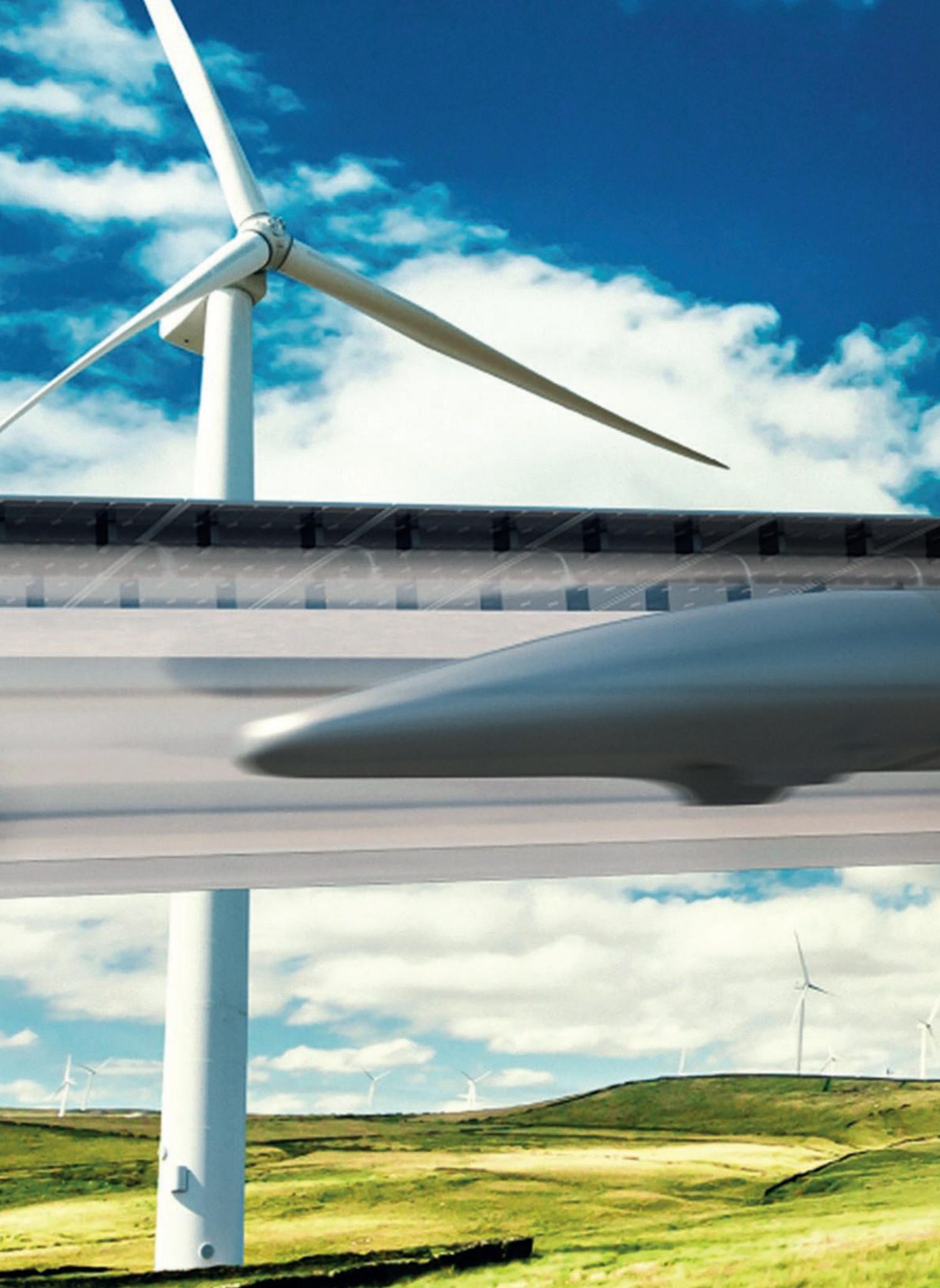
— Надо развивать мультидисциплинарность?

— Мой коллега по Сколковскому совету Роджер Корнберг, нобелевский лауреат, блестящий биохимик, занимающийся физиологией для медицины, мне как-то сказал: «Создание новых лекарств требует знания квантовой механики». И это правильный подход, в том числе и к образованию. И мы его реализуем здесь, в рамках нашего Академического университета. Но в нашей стране существуют всякие строгие правила, которые надо менять. Если вы делаете новую вещь, вам нужны новые правила, в старых вы ее не сделаете.

— С политикой вы дружите?

— Я стараюсь от нее дистанцироваться. Когда мне предлагают войти в какое-нибудь политическое движение, я говорю: избавьте, у меня свои дела. Моя единственная партия — академия наук России. ■

Беседовал Валерий Чумаков



К строительству новых высокоскоростных магистралей нельзя подходить с позиций стоимости и прямой окупаемости, уверен председатель Международного совета по железнодорожным исследованиям доктор экономических наук, профессор **Борис Моисеевич Лapidус**. Ибо именно от них зависит, как будет развиваться страна уже в ближайшие десятилетия.

ТРАНСПОРТ

БУДУЩЕЕ НАЧИНАЕТСЯ С ДОРОГИ



— Сейчас про «Новый шелковый путь» и концепцию «Один пояс — один путь» говорят очень много — не только в Китае, но и в России и Европе. Конечно, у нас хотят, чтобы этот трансъевразийский «Суэцкий канал» прошел через Казахстан, Россию и Беларусь.

— Развитая транспортная система — фундамент развития любой страны. Это подтверждает вся мировая история железных дорог. Ведь они не только обеспечивают транспортные связи, но и служат мощнейшим средством развития отраслей: металлургии, машиностроения, энергетики, строительства, электронного машиностроения, химии и т.д.

Современное развитие торговых отношений между Востоком и Западом — это крупнейший стратегический «заказчик» новых маршрутов. Китай — основной игрок на этом рынке и поэтому хочет получить дополнительный эффект за счет построения нескольких маршрутов: морского и двух сухопутных железнодорожных, один из которых планируется через Россию. Это план так называемого центрального коридора. И он, по нашему мнению, может гораздо эффективнее опираться на возможности России. Ведь от Востока до Запада через Россию на маршруте не будет границ — в отличие от среднеазиатского пути. Но ценность

проекта для нашей страны заключается не в том, чтобы просто перевозить транзитные грузы и создавать льготные условия для развития Китая и Кореи, их растущего экспорта. Главная задача должна заключаться в том, чтобы придать стимул развитию экономики Сибири, Дальнего Востока и целого комплекса инновационных отраслей промышленности, которые связаны с движением транспортного потока. Поэтому, что касается маршрутов, наиболее логично выглядит следующая: первая часть пути — из Китая в европейские страны через Казахстан (Астану), российскую территорию от Урала до западной границы. К сожалению, с запуском проекта, несмотря на его высокую степень готовности, все не так просто. Пока нет основополагающего решения.

— Почему?

— Финансисты привыкли оценивать проекты по прямой окупаемости. Нет понимания того, что это не проект для железнодорожников, мечтающих получить прибыль от перевозок. Это проект для России как страны в целом, он направлен на то, чтобы получить большой стратегический социально-экономический эффект, связанный с экономическим ростом. Поэтому предстоит еще много дискуссий, в частности с финансово-экономическими министерствами.



Доктор экономических наук Б.М. Лapidус

ДОРОГИ, КОТОРЫЕ МЫ ВЫБИРАЕМ

— В моем понимании, проект скрепляет огромные регионы. И это один из факторов национальной безопасности. Он естественным образом ведет к сплочению ЕС, России, Беларуси, Китая, и все это приводит к строительству нового интеграционного образования — Большой Евразии, «от Лиссабона до Владивостока».

— Это правильный подход. Ограничиваться стратегическим партнерством на Востоке только Китаем нельзя. Китай — игрок очень крупный и самостоятельный, и последнее не всегда просчитывается. Хотя можно предположить, какие будут ближайшие шаги Китая. С точки зрения соединения двух континентов и двух океанов более эффективно строительство грузопассажирской высокоскоростной магистрали (ВСМ) от Тихого океана по новым территориям Сибири и Дальнего Востока, севернее Транссиба. Во-первых, это даст инфраструктурную основу для обновленного дыхания Сибири и Дальнего Востока, во-вторых, открывает доступ транспортному сервису из Японии, Кореи (Южной и Северной) и других стран Тихоокеанского региона.

Вариант строительства ВСМ через Казахстан очень выгоден Китаю, поскольку вовлекаются в экономический оборот его западные территории. И это будет короткий путь. России достается в общей сложности меньше трети от общей протяженности маршрута. Транссибирский маршрут, или Единая Евразия, представляет нам гораздо большие возможности для развития России. При этом оба варианта прокладки пути через Россию имеют право на жизнь и с точки зрения интересов Китая. Китай — огромная страна, и его западные провинции постепенно поворачивают свои торговые взоры на север, в сторону Дальнего Востока и Сибири. Сейчас китайская высокоскоростная магистраль дошла до Харбина, а это уже граничащая с нами Манчжурия.

— Кстати, Харбин изначально — российский город, столица КВЖД, Китайско-восточной железной дороги, его строили россияне в самом конце XIX в., и до самой революции это был русский анклав в Китае. Именно поэтому он стал центром белоэмиграции на Дальнем Востоке.

— Первым транспортным лучом Большой Евразии хотелось бы видеть маршрут Москва — Нижний Новгород — Казань — Екатеринбург — Астана и далее до Урумчи, Китая. А на запад от Москвы — через Минск на Берлин. В перспективе это могла бы быть трехлучевая конструкция, обеспечивающая евразийский маршрут и от приморских портов, и сухопутных границ, соединяясь с первым маршрутом на Урале. Кроме того, мы должны использовать имеющиеся возможности для выхода

российского маршрута на южные регионы ЕС: Словакию, Австрию. Такие обоснования и технологические возможности существуют

— А как же «Один пояс — один путь»?

— Китайцы делают под один пояс несколько маршрутов и называют это «один путь». Это китайская философия, с трудом доступная нашему пониманию. У них заготовлены три официальных маршрута, причем средний, центральный, они строят фактически с нуля через наши бывшие союзные республики, а также через Иран и Турцию, не обращая внимания на многочисленные границы и технологические различия.

— Получается сложнейший маршрут с точки зрения межгосударственных интерфейсов. Столько границ надо пересекать, а у каждого государства — свои требования, стандарты, желания...

— Именно. А мы китайцам предлагаем: въезжайте сразу в Россию, и если этот вход будет с Дальнего Востока, то всего через каких-то 9 тыс. км вы уже в Европе. Если по западному маршруту — будет ближе через Казахстан и Урал. Есть еще промежуточные входы через Забайкалье и Алтай. Это более выгодно. Но с точки зрения национальных интересов важны все три варианта.

5000 : 0 НЕ В НАШУ ПОЛЬЗУ

— Сегодняшняя стадия проекта «Нового шелкового пути», всей этой стратегии, находится в зоне риска с точки зрения надвигающегося отставания.

— Магистраль может устареть раньше, чем ее построят?

— Транспортные технологии очень быстро развиваются. А что касается шелковых маршрутов, которые формирует Китай (и наземного центрального, и смешанного океанского), — каждый имеет свои преимущества. Китайцы для нас по большей части конкуренты, поэтому я бы не откладывал на потом инвестиции в этот проект.

— И как быстро они окупятся?

— Здесь важно понимать, что транспортные проекты нельзя оценивать по сумме прибыли от перевозок. Если бы работала только такая оценочная система, у нас бы не было ни Транссиба, ни первой железной дороги Москва — Санкт-Петербург. Прочитать в момент начала строительства все синергетические эффекты, которые потом дали эти магистрали, было невозможно.

Сам факт, что Владимир, Нижний Новгород, Чувашия, Челябинская и Екатеринбургская области получают скоростное железнодорожное сообщение, увеличивает валовой региональный продукт до двух раз. К тому же они обретут дополнительный технологический импульс, там образуется сотня тысяч новых рабочих мест. Это тоже очень

важно. И самое главное — Россия встроится в ряд высокотехнологичных транспортных государств.

— **Экономисты-транспортники говорят, что прохождение высокотехнологичной магистрали через регион — это не обременение, а, наоборот, гарантированный рост валового регионального продукта на 6–8% в год.**

— Это колоссальный рост. В мире есть регионы, где после введения в строй железнодорожной магистрали внутренний валовой продукт удвоился в течение десяти лет. Китай это понимает. Неслучайно там за последние десять лет построено 26 тыс. км высокоскоростных магистралей, тогда как во всем остальном мире их сейчас всего около 25 тыс. км. Это потрясающий результат. При этом они подняли свои производство, науку, собрали лучших производственников, наладили выпуск востребованной продукции и теперь уже делают апгрейд на основе собственных научных достижений или заимствованных, но, во всяком случае, они генерируют рынок. И уже строят ВСМ не только у себя, но и в соседних странах и даже на других континентах. В последнее время Китай ежегодно вводит в строй до 5 тыс. км ВСМ.

— **А Россия сколько?**

— Ноль. У нас нет ни одного километра специализированной высокоскоростной магистрали. Наши трассы Москва — Санкт-Петербург, Москва — Нижний Новгород, Москва — Минск, которые мы считаем скоростными, — это модернизированные железные дороги, которые выполняют и функции транспортирования грузов, и пригородные перевозки. По ним идут обыкновенные поезда с цистернами, вагонами, платформами и т.д.

— **Сейчас много говорят о планах строительства высокоскоростной магистрали Казань — Москва.**

— Москва — Нижний Новгород — Казань — Екатеринбург — это первая специализированная высокоскоростная магистраль, которая спроектирована и включена в первоначальный пакет национального проекта транспортной инфраструктуры. Она действительно предназначена для совсем других, высоких, до 300 км/ч, скоростей, там другие требования к безопасности, поэтому для старого подвижного состава она не подходит. И сами техническое обслуживание, мониторинг, диагностика должны быть поставлены совершенно на другом уровне. На трассе Москва — Санкт-Петербург уже отработаны необходимые технологии, там один из «Сапсанов» кроме транспортно-пассажирской выполняет еще и диагностические функции. Пассажиры этого не замечают, а он тихонько мониторит состояние пути каждые 100 м и накапливает данные о техническом статусе. Там много разных технических параметров, контролируемых с помощью аналоговых методов и цифровых технологий.

РАСПУСТИВ ПОЯСА

— Концепция Единой Евразии, выдвигаемая учеными РАН, МГУ и РЖД, предполагает трассу, которая пойдет по местам с высоким потенциалом экономического развития. Это будет дополнительный «хребет» транссибирской или евразийской транспортной системы. И этот новый евразийский маршрут нужно будет соединять с Северным морским путем, авиационными маршрутами, автомобильными магистралями и дополнительными железными дорогами, образуя мощную инфраструктурную матрицу Евразийского континента. Конечно, новая трасса должна быть соединена с великими сибирскими городами: Новосибирском, Красноярском, Благовещенском и т.д.

— **Все это должно стать частью глобальной евразийской транспортной системы?**

— Более того, ее не вполне корректно называть транспортной системой. Десять лет назад этот проект был назван «Трансевропейский пояс развития».

— **То есть слово «пояс» Китай взял у вас?**

— Есть такие подозрения, но нам для хорошего дела не жалко.

— **Почему именно пояс?**

— Потому что железная дорога создается не только для транзита, для того чтобы стать таким Панамским или Суэцким каналом, но и для того, чтобы нашу необъятную территорию сделать



эффективной на благо всей России. И, как следствие, на благо всего человечества. «Пояс» — это широкий транспортный коридор, строительство новых городов, заводов, научных центров, систем информатики. Современные средства связи и энергопередачи должны идти с проектом в створе, выбранный маршрут должен быть и транспортным, и энергопередающим, и энерготранспортным, и цифровым.

— **Получается, это развитие не только транспорта, но всей окрестной инфраструктуры?**

— Да, всей инфраструктуры, которая важна для освоения сибирского и дальневосточного потенциала. Чтобы он развивался не просто как дополнительный сырьевой ресурс, а как ресурс еще и для самой широкой инфраструктуры. Нужно строить новые поезда, развивать металлургию, лить новые рельсы, оптимизировать энергетику. Все это потребует внедрения новых энергогенерирующих объектов, включая, возможно, компактные атомные электростанции.

— **Типа плавучей атомной теплоэлектростанции, запуск которой ожидается уже в этом году?**

— Да. Вообще, железная дорога всегда выступала и выступает социальным и инфраструктурным драйвером. Если бы не железная дорога, мы бы не знали таких городов, как Новосибирск, Хабаровск, Екатеринбург. Омск был бы совершенно другим, и, скорее всего, столицей Сибири продолжал бы оставаться Тобольск, который мы сейчас, кстати, не очень хорошо себе представляем.



«Сапсан» — не высокоскоростной транспорт, а только его предтеча

А знаете почему? Есть легенда, что тобольские купцы мощно пролоббировали, чтобы железная дорога не прошла через их город. Наверное, они получили тактическую выгоду, но сделали город менее доступным, а в стратегическом плане его почти убили. У китайцев исторически проблемным остается западный регион. Они начали там строительство высокоскоростных магистралей без экономического обоснования с точки зрения окупаемости. Прошло меньше пяти лет, и сегодня темпы роста экономики в этом регионе на 30% больше, чем в среднем по Китаю.

— **Благодаря ВСМ.**

— Странно было бы думать, что мы в России можем обойтись без элементов технического прогресса, эффективность которых уже доказана. Мир меняется, уже построено более 50 тыс. км высокоскоростных линий, и они продолжают строиться растущими темпами. Тренд стал общемировым, объективно неизбежным. Сами природа и география России ориентированы на железные дороги, а мы до хрипоты спорим, что можно и самолетами перевезти в Сибирь все, что нужно, а российским гражданам возможность пользоваться современными высокоскоростными магистральями не так важна.

НЕ В ДЕНЬГАХ СКОРОСТЬ

— 85% грузоперевозок в России, не считая трубопроводного транспорта, — это железные дороги. ВСМ активно строятся в Европе, в Китае, Корее, Японии. Первая ВСМ была построена в Японии еще в 1964 г. как элемент подготовки к Олимпийским играм в Токио. Система «Синкансэн» протяженностью около 800 км — и сегодня ключевой транспортный элемент Страны восходящего солнца. Эксплуатация высокоскоростных магистралей показала их высокую эффективность. С точки зрения экологической безопасности ВСМ в четыре раза лучше, чем автотранспорт, в восемь раз — чем авиация. По сравнению с аэропортом, который всегда находится за городом, станция ВСМ — это центр города. То есть налицо сокращение времени, затрачиваемого на рейс в целом. Как правило, по времени на расстояниях до 600–700 км железнодорожный пассажир в два раза выигрывает у авиационного. Высокоскоростные магистрали — прекрасный стимул социально-экономического развития в тех регионах, где проводятся ВСМ. К этому можно отнести развитие экономики за счет промышленности, которая обеспечивает строительство и затем поддерживает эксплуатацию высокоскоростных линий. Кроме того, влияние ВСМ часто сказывается на областях, казалось бы, совершенно с ней не связанных. Например, на распространении образования.

— **В области транспорта?**

— Во всех областях. Высокоскоростная магистраль Милан — Рим, введенная в эксплуатацию несколько лет назад, привела к увеличению спроса на высшее образование в этом регионе на 30%. А причин две: повысилась доступность вузов, а сама высокотехнологичная магистраль открыла молодежи и их родителям глаза на то, что надо учиться, становиться инженерами, учеными.

— Мир для них стал компактнее и технологичнее.

— Да. Есть еще два фактора связанного с вводом ВСМ повышения востребованности высшего образования: рост цены времени и изменение градостроительной политики и распределения производительных сил. Снова приведу европейский пример. Когда была построена финансовая столица Евросоюза — Франкфурт-на-Майне, возник дефицит специалистов. Там была сумасшедшая потребность в кадрах: банкирах, финансистах, экономистах и т.д. В городе настроили небоскребов, а работать там оказалось некому. Франкфурт — достаточно серое, не очень комфортное место для жизни. Все банкиры привыкли жить в Кельне, Бонне, Цюрихе и прочих приятных местах. Построили высокоскоростную магистраль, от Кельна до Франкфурта время езды сократилось с двух-трех часов до 45 минут, и проблема кадров была решена.

— Я в Москве до работы дольше еду...

— А у банковских работников там рабочее время начинается в момент отправления поезда. Они включают свой ноутбук, входят в Сеть и начинают работать уже в дороге. Живут в красивом экологичном районе, а работают там, где платят хорошие деньги, где можно эффективно себя

реализовать. Все это в корне меняет мировоззрение. Может поменять и наше. Для европейской части России характерна москвоцентричность. Все едут в Москву, потому что там зарплата выше, хотя и расходы более высокие. Но жить-то там плохо. Люди с удовольствием бы жили в своих родных городах, если бы оттуда до столицы можно было комфортно и недорого доехать за один час.

— От Твери уже можно на «Сапсане» доехать примерно за час.

— И уже многие менеджеры могут себе позволить жить в Твери, а работать в Москве. Это в корне меняет соотношение образа жизни и градостроительной политики в пользу снижения затрат на коммуникации, поддержание городского хозяйства и предлагает более комфортную жизнь людям, которые пользуются высокоскоростным транспортом. Меняется и сфера досуга, потому что на поезде вообще интересно путешествовать. Я по Европе только на поезде путешествую, в Китае и Японии тоже. Это удовольствие: едешь и видишь окружающую жизнь, можешь активно работать. Поезд — это комфорт.

— А многие считают, что современный комфорт — это самолет или автомобиль. Они не правы?

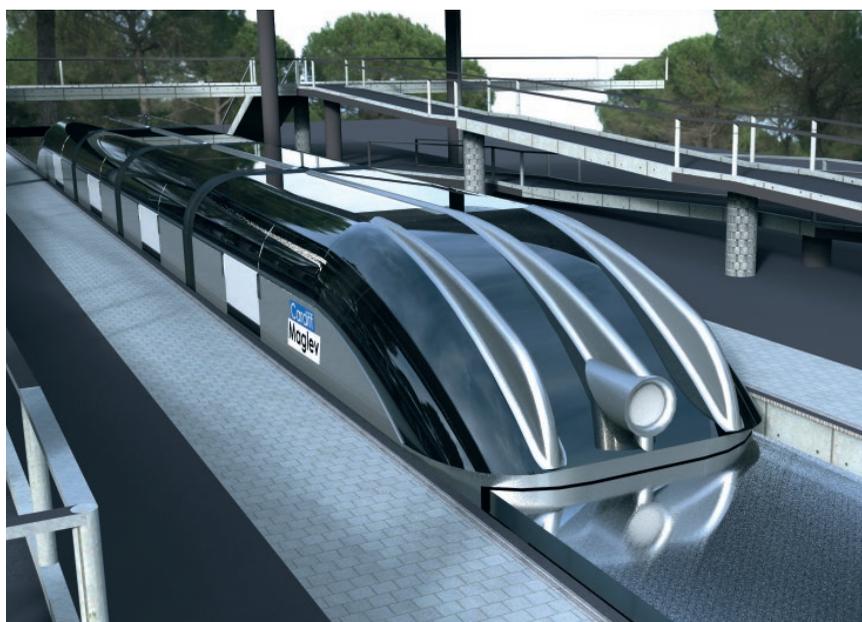
— Это все равно что спорить, какое блюдо лучше — первое или второе. И то и другое нужно. У всего на свете есть свои ниши, плюсы и минусы. Мне кажется, авиационный транспорт — это средство оперативного передвижения из точки А в точку В. Говорить там о комфорте и отдыхе бессмысленно. Разве что в первом классе, в котором летает полпроцента пассажиров. Но самолет экономит время. А с отдыхом, путешествием все-таки более сочетается поезд. Нам тут, правда, надо над сервисом работать, предстоит решить еще много вопросов. Но высокоскоростные магистрали — это принципиально другой уровень, которого достоин российский гражданин.

— Тем более при наших расстояниях.

— Оптимальная длина высокоскоростного маршрута — 800–900 км. Если вокруг Москвы провести окружность с таким радиусом, она накроет почти всю европейскую часть страны.

— И за какое время высокоскоростной поезд покроем такое расстояние?

— Скорость 300–350 км/ч человечеству уже мала. Можно ли по рельсам ехать с большей скоростью? Можно, но не нужно. Во-первых, очень сильно



Поезда на магнитно-левитационной подушке (маглев) — следующий этап ВСМ

увеличиваются энергозатраты. Тут зависимость квадратичная, то есть при увеличении скорости в два раза энергозатраты вырастают в четыре. Во-вторых, японцы и европейцы в городах ограничили скорость до 350 км/ч, при большей скорости поезд некомфортен для жителей ближних домов. Поэтому 350 км/ч — вполне комфортная скорость и для пассажиров, и для тех, кто живет вплотную с железной дорогой. Эта скорость достаточна для достижения целей, о которых мы говорили. Но сейчас для людей наиболее важный фактор — не скорость, а время. Мне все равно, какую скорость развивает поезд, для меня важнее, сколько времени займет путь от старта до финиша.

— **Если выбирать поезд, а не самолет, выигрываете в цене.**

— Цена — рыночная категория, производное от многих составляющих. На мой взгляд, линейка услуг в поезде должна быть очень широкой. Люди с разным доходом должны находить для себя доступные условия согласно платежеспособности. Во французских и германских поездах — до пяти разных классов. А поскольку сервис постоянно улучшается, разница между ними постепенно нивелируется, и уже сейчас порой сложно найти серьезные различия между соседними классами.

— **Кроме цены. И в этом случае получается, что, покупая билет, пассажир платит не за топливо и амортизацию состава, а за время?**

— Конечно. Время становится все дороже, потому что оплата труда растет, а она — почасовая. Растет благосостояние, так как растет стоимость услуг и т.д. Поэтому внедрение ВСМ может изменить философию и восприятие транспортной системы в целом.

ГРУЗИТЕ СМАРТФОНЫ КОНТЕЙНЕРАМИ

— **Но все, что вы сказали, относится к пассажирским перевозкам.**

— На грузовых внедрение ВСМ тоже скажется, причем достаточно нетривиальным образом. Сегодня российская железнодорожная система самая длинная в мире, она электрифицирована и имеет самую высокую интенсивность. То есть на один километр пути грузооборот у нас самый высокий. Но мы и пассажиров, и грузы везем по одним и тем же путям. Сочетание высокоинтенсивного грузового и скоростного пассажирского сообщения — задача для виртуозов управления, для организационной техники. Такого нет нигде в мире. В США, за редким исключением, пассажирские поезда не ходят, там исключительно грузовая железная дорога. В Европе, напротив, ходят пассажирские поезда, а грузовые там очень коротенькие, и они идут с той же скоростью, как и пассажирские, что ведет к удорожанию перевозимого груза. У нас, к сожалению, а может к счастью,

грузовые составы большие и идут медленно. Вводя в действие ВСМ, мы переводим на него основной пассажирооборот. В результате у нас высвобождаются огромные мощности на классической железной дороге, которые могут использоваться для улучшения и удешевления грузоперевозок. Получается универсальный социально-экономический эффект.

Разделение железных дорог на высокоскоростные или тяжеловесные — это вообще тенденция XXI в. Но высокоскоростные магистрали предназначены не только для пассажиров. Например, в ночное время объем пассажирских перевозок резко снижается, и по ВСМ вполне можно будет перевозить те же контейнеры или не особенно тяжелые грузы. Конечно, на платформах, предназначенных для ВСМ, в вагонах со специальными тележками, которые не разрушают и не подвергают риску физическое состояние инфраструктуры высокоскоростной магистрали. В экономическом обосновании ВСМ Москва — Казань указаны достаточно большие объемы перевозок грузов в контейнерах.

— **Но там все-таки пассажирские перевозки — основные?**

— Да. Но это когда мы говорим о железной дороге, которая двумя лучами из Казахстана и от Находки пойдет к Уралу — и, соединившись, в сторону Европы. А сибирскую составляющую «Нового шелкового пути» мы предлагаем сразу же сделать грузо-пассажирской. Высокоскоростные поезда должны быть оборудованы вагонами для перевозки авиационных контейнеров. Они хорошо вписываются в габариты вагонов, и в них вполне можно возить товары, приобретенные в электронных магазинах. Товарооборот подобных грузов уже сегодня составляет \$1,5 трлн в год. По оценке мировых консалтинговых компаний, европейцы готовы ждать заказанные в Китае через интернет товары от трех до пяти суток.

— **Вы успеете уложиться?**

— По нашим оценкам, даже от Находки мы привезем груз из Китая в центр Европы за двое с половиной суток. Этот проект в перспективе будет обслуживать торговлю между Китаем и Европой, которая к 2025 г. может вырасти до \$5 трлн. И это только в отношении Китая, который доминирует в дальневосточном регионе. Но есть еще и Япония, которая не хочет сдавать свои международные позиции, а также Корея и Индия, быстро набирающая обороты. Железная дорога превращается из классического двухсотлетнего вида транспорта в совершенно иной, обновленный, который вполне может изменить не только нашу жизнь, но и представление о ней, ее философию, и вывести Россию на новый этап экономического и социального развития. ■

Беседовал Валерий Чумаков



РЕНТГЕНОГРАММА ДЛЯ ВСЕЛЕННОЙ

На фото слева:

Аппарат «Спектр-РГ» в НПО им. С.А. Лавочкина в ноябре 2018 г. Телескоп ART-XC (слева) и телескоп eROSITA в экранно-вакуумной теплоизоляции черного цвета (справа). Золотой ЭВТИ покрыта платформа «Навигатор».

О готовящейся к запуску масштабной российско-германской космической миссии «Спектр-РГ» мы расспросили заместителя директора Института космических исследований РАН, заведующего отделом астрофизики высоких энергий, научного руководителя телескопа ART-XC **Михаила Николаевича Павлинского.**



Доктор физико-математических наук М.Н. Павлинский

— Михаил Николаевич, скажите, лично для вас космос — это нечто очень далекое или чрезвычайно близкое?

— Вопрос непростой. Будучи студентом, я вообще не думал, что когда-нибудь буду заниматься исследованием космоса. Я родился в Сарове, город тогда назывался Арзамас-16. Мои родители после окончания института оказались в этом закрытом городе, в котором были сосредоточены лучшие в стране физики-ядерщики. Не секрет, что наиболее сильные ученики в школах города думали, что будут впоследствии заниматься ядерной физикой, и я не был исключением. В начале 1980-х гг. по инициативе академика Я.Б. Зельдовича в Институте космических исследований АН СССР стал формироваться экспериментальный отдел, ставший потом известным отделом астрофизики высоких энергий. Возглавить его согласился молодой доктор наук, блестящий теоретик, ныне широко известный ученый академик Р.А. Сюняев. В марте 1983 г. я, выпускник кафедры

экспериментальной ядерной физики МИФИ, и еще девять выпускников с разных кафедр и факультетов МИФИ были приглашены Рашидом Алиевичем на работу в Институт космических исследований. Интересная подробность: десять новых ставок Яков Борисович выбил тогда у Е.П. Славского, легендарного министра среднего машиностроения СССР.

За прошедшие 36 лет нам удалось сделать многое: рентгеновский модуль «Квант» с обсерваторией «Рентген» на станции «Мир», космическую астрофизическую обсерваторию «Гранат», совместную с Европейским космическим агентством и NASA космическую обсерваторию гамма-лучей *INTEGRAL*. Последняя была запущена в октябре 2002 г. с изначальным расчетным сроком активного существования (САС) пять лет, а продолжает работать на орбите уже 17-й год. Мы недавно оценивали, что дал «Гранат» российской и мировой науке. Оказалось, что это самый цитируемый наш спутник за всю историю исследований космоса: более 6 тыс. ссылок и 300 статей. Это одна из самых плодотворных миссий. Не ожидал, что все так удачно получится. Мы надеемся, что наш новый проект «Спектр-РГ» («Спектр-Рентген-Гамма»), подготовка к запуску которого идет полным ходом, превзойдет успех и «Граната», и обсерватории *INTEGRAL*. Так что когда-то далекий для меня космос стал близким и уже почти родным.

ПЫЛЬ РЕНТГЕНУ НЕ ПОМЕХА

— Первая Нобелевская премия была получена Вильгельмом Рентгеном как раз за открытие X-лучей, которые потом были названы его именем.

— В России и Германии их действительно называют рентгеновскими лучами, а в англоязычных странах так и осталось *X-rays*. У нас в миссии используется слово «рентген» в соответствии с русской традицией.

— Понимаю, почему Рентген получил Нобелевскую премию: он перевернул науку, создал новую, точную медицину, спас миллиарды человеческих жизней...

— Не только медицину. Рентген — это неразрушающий контроль, поиск скрытых дефектов материалов, досмотр грузов и многое другое.

— Это понятно, но чем человечеству может помочь рентгенограмма космоса?

— Рентгеновские волны гораздо короче оптических, там счет идет на ангстремы,

доли ангстремов. Процессы, которые приводят к возникновению рентгеновского и гамма-излучения, — это самые экстремальные процессы, которые происходят во Вселенной. Конечно, физикам и астрофизикам крайне интересно их изучать. Недаром многие известные ученые, которые занимались вопросом и/или принимали участие в создании ядерного и термоядерного оружия: А.Д. Сахаров, Я.Б. Зельдович, В.Л. Гинзбург, — потом повернулись в сторону астрофизики и космологии. Сравнительно недавно стало известно, что тот же Субраманьян Чандрасекар (*американский астрофизик и физик-теоретик индийского происхождения, лауреат Нобелевской премии. — Примеч. ред.*), в честь которого названа космическая обсерватория «Чандра», тоже принимал некоторое участие в Манхэттенском проекте.

— То есть нам не хватает оптического диапазона для того, чтобы рассматривать Вселенную?

— Конечно. Рентгеновская обсерватория дает совершенно уникальный объем информации, который оптическим телескопом получить просто невозможно, потому что существует так называемое межзвездное поглощение, нам мешают газ и пыль. А в рентгеновском диапазоне, как на рентгенограмме в клинике, все видно, вся информация доступна.

— Но почему тогда мы не устанавливаем рентгеновские телескопы на Земле? Почему они все в космосе?

— Потому что атмосфера поглощает рентгеновское излучение. Для человечества это большое счастье. Если бы не было мощной атмосферы и магнитного поля, не было бы и жизни на Земле.

— Жесткое рентгеновское излучение ее бы погубило?

— Нет, оно бы вообще не позволило ей возникнуть. Во всяком случае, в том виде, в каком мы ее знаем. Поэтому для того, чтобы уйти от нашей планетарной рентгенозащиты, нам надо выводить рентгеновские обсерватории в космос.

— Как родилась идея платформы «Спектр-РГ»?

— Все началось очень давно, в 1983 г., когда я пришел в ИКИ. Развитие было стремительное, в 1987 г. мы запускаем «Квант», в 1989 г. — «Гранат» и уже в 1993 г. планировали запустить «Спектр-Рентген-Гамма». В рамках Академии наук СССР сформировали программу «Спектр», которая должна была охватывать четыре

спутника: обсерваторию для исследований в рентгеновском и гамма-диапазонах, наш «Спектр-РГ», космический радиотелескоп «Радиоастрон», космический телескоп ультрафиолетового диапазона «Спектр-УФ» и космический телескоп субмиллиметрового диапазона. Запускать их должны были с периодичностью в год или два, задолго до «Чандры» *XMM-Newton*, «Спитцера», каждый из которых стоил по \$1 млрд. Мы уже почти сделали всю научную аппаратуру, но наступили 1995–1996 гг., тяжелейшее время. Наша промышленность не могла вытягивать такие крупные проекты. И, к сожалению, несмотря на готовность летной аппаратуры, миссию так и не удалось реализовать. А в 2002 г. проект закрыли, только для нас оставили строчку в программе. Благодаря нашей активности (я тогда не вылезал из «Роскосмоса») мы сумели реанимировать направление. Но главное — в 2004 г. мы нашли западных партнеров. Мы встретились тогда с коллегами из Лестерского университета и с нашими старыми немецкими партнерами из Института внеземной физики Общества им. Макса Планка и задумались, можно ли нам найти взаимный интерес. В 2005 г. опять встретились в Германии, обсудили наши возможности и желания. В 2008 г. подписали меморандум о взаимопонимании между «Роскосмосом» и Германским центром авиации и космонавтики (DLR), а в 2009 г. уже было подписано соглашение.

— Но ведь прошло десять лет. Полагаю, старый проект изменился?

— У нас были изменены и платформа, и научные задачи, и полезная нагрузка, и ракета-носитель. Предлагали даже изменить название миссии, но мы отказались.

— В память о прошлой программе?

— Нет, тут не до романтики. Изменять название, которое заложено в существующую Федеральную космическую программу, — значит изменять саму программу. Это невозможно и нереально. Это значит начинать все с нуля, становиться опять в конец очереди. Мы пытались уйти к РКК «Энергия», где разрабатывались платформы «Ямал». Но в «Роскосмосе» нам жестко сказали, что есть НПО им. С.А. Лавочкина, которое отвечает за научные исследования космоса, и мы должны работать с ними. Мы думали, что снарядим миссию очень быстро. Но оказалось, что и мы, и наши немецкие партнеры немного переоценивали свои возможности и силы. На создание

действительно уникальной аппаратуры ушло восемь лет. На сегодня «Спектр-РГ» — самый дорогой и амбициозный совместный проект в области научных космических исследований России и Германии.

— **Вам, вашему институту кто-то помогал?**

— Конечно. Мы делали наш телескоп совместно с Российским федеральным ядерным центром в Сарове. А зеркальные модули готовили по специальному заказу в американском Центре космических полетов им. Джорджа Маршалла. При этом мы оплачивали лишь половину, другая половина — фактически вклад в наш прибор NASA. Я не знаю других примеров, когда важная часть научной аппаратуры в нынешнее, скажем так, не совсем простое время, была предоставлена американской стороной для российского эксперимента.

— **У нас сделать не могли?**

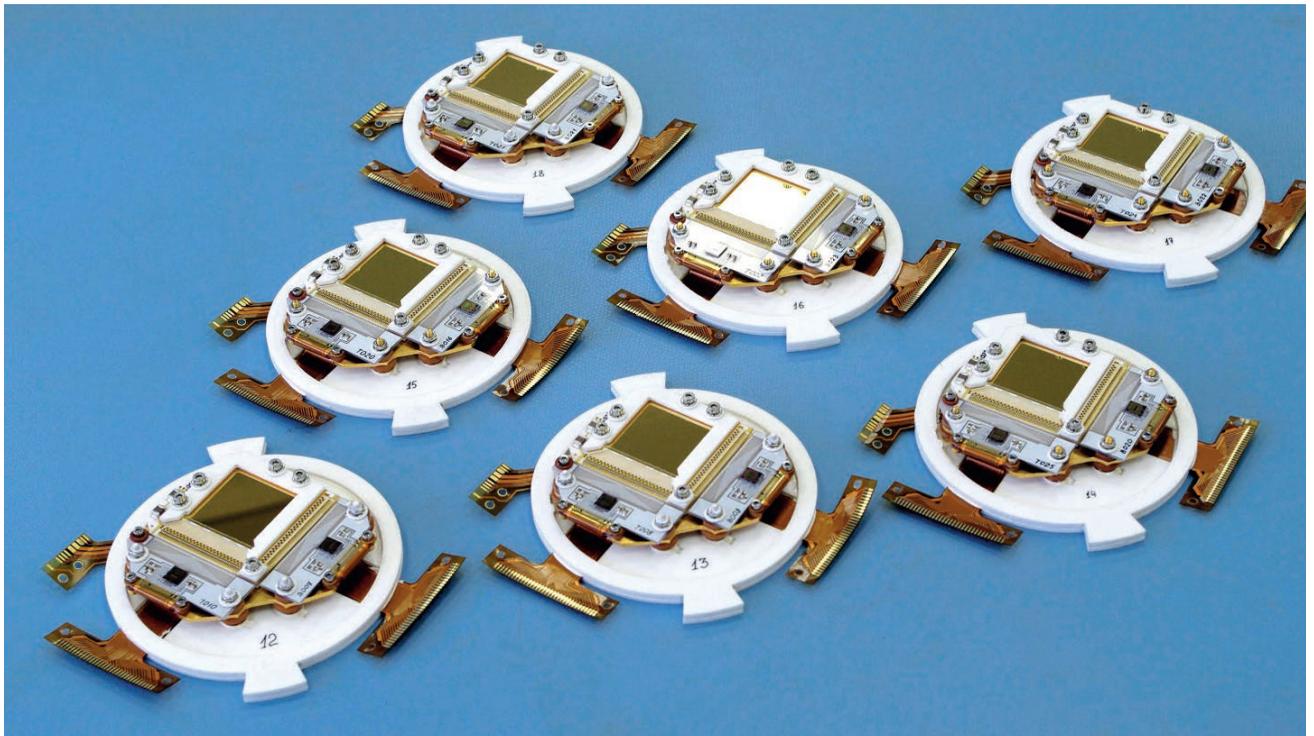
— Американцы более 30 лет работали над этой технологией и хорошо знали, как делаются рентгеновские зеркала. И они делают одни из лучших рентгеновских зеркал методом гальванопластики. Мы в Сарове пытались освоить технологию, почти реализовали ее, но у нас не хватало ни времени, ни денег для приведения ее к мировым стандартам. Но задел есть, и мы его уже используем в будущих проектах.

— **Не мешает совместной работе с немцами не очень хороший политический фон?**

— Приведу такой пример. Я уже сказал, что зеркальные системы нам делали американцы. Но вот наступает 2014 г. и проходит информация, что им запретили с нами общаться. Я чуть не поседел, думал — все, миссия закончилась. Но прошла неделя, и Госдепартаментом было выпущено дополнительное внутреннее разъяснение для NASA, что запрет не распространяется на несколько космических проектов, включая наш. И мы до сих пор сотрудничаем, обмениваемся, встречаемся и общаемся с американскими партнерами. С немецкими партнерами все проще, но нам тоже потребовалось дополнительное разрешение на поставку к нам телескопа *eROSITA*, в котором использовались американские микросхемы. То есть все политические казусы мы в конечном счете преодолели.

ОХОТНИК ЗА НЕВИДИМКАМИ

— **Но вы сами сказали, что рентгеновских аппаратов летает много. Знаменитая «Чандра», которая работает уже 20 лет, XMM-Newton, «Свифт», NuSTAR, тот же «Гранат». Зачем нужен еще один, что он даст нового?**



Комплект из семи детекторов на основе теллурида кадмия для телескопа ART-XC. © «Роскосмос»/DLR/СРГ/ИКИ.

— Хороший вопрос. Его обязательно надо задавать, потому что действительно бессмысленно повторять одни и те же эксперименты. В чем отличие? Мы запускали «Гранат» во время расцвета эпохи кодированной апертуры.

— **Что это такое?**

— Способ построения изображения без использования фокусирующих систем, таких как линзы и зеркала.

— **Тогда камера обскура — тоже образец кодированной апертуры? Там тоже ни линз, ни зеркал.**

— Да, но это совсем примитивный образец. В космических обсерваториях все несравненно сложнее и совершеннее. В общем виде, если у вас есть на небе источник, вы затеняете поток — и он дает тень, определенную картинку на позиционно-чувствительном детекторе. Затем вы специальным алгоритмом, который применяется во время математической обработки, восстанавливаете из получившейся картинке настоящее изображение. Но здесь мы можем достигать только определенной чувствительности. Если мы хотим достигнуть большего, то все-таки должны использовать зеркала, оптику, фокусировку. Так мы можем повысить соотношение «сигнал — шум» на несколько порядков. Тут уже все зависит от качества оптики, фокусного пятна, фокусного расстояния. Именно использование оптики позволило «Чандре» достичь таких замечательных результатов. Но сейчас наступила эпоха обзоров. Ученые делают обзоры всего неба во всевозможных длинах волн: от оптики до инфракрасного, рентгеновского, гамма-излучения. И мы предложили: «Давайте сделаем в 30–40 раз более чувствительный обзор неба в рентгене». Когда оценили, что у нас может получиться, поняли, что можем открыть все скопления галактик, которые были сформированы нашей Вселенной.

— **Каким образом?**

— Самые крупные гравитационно-связанные объекты во Вселенной погружены в горячий газ, температура которого составляет несколько миллионов градусов. В оптике вы этот газ не видите, поскольку там идет смещение спектра в рентгеновский диапазон длин волн.

— **То есть в оптике смотрю — ничего не вижу, а в рентгене — светлое пятно в пустоте?**

— Газа в скоплении по массе в десятки раз больше массы всех звезд, которые входят



Сборка детекторного модуля для телескопа APT-XC.
© «Роскосмос»/DLR/CPG/ИКИ.

в это скопление. И он в рентгеновском диапазоне будет виден как яркий объект.

— **Яркий единый объект?**

— Самое главное — протяженный. Когда вы это увидите в рентгеновском диапазоне, дальше вы можете сказать крупным наземным оптическим телескопам: «Пожалуйста, посмотрите в этом направлении».

— **А сами они навестись не смогут?**

— Там характерный размер — одна-две угловые минуты. Представляете, что это такое? Иголлка в стоге. Сколько они эту точку будут искать? Тут надо дать точное целеуказание. С помощью рентгеновского обзора мы можем оценить еще и массу этого скопления.

— **Как?**

— По спектру. Чем газ в скоплении горячее, тем больше масса. Вторая задача — сверхмассивные черные дыры. В каждой

галактике есть центральная черная дыра, так сегодня предполагается. В том числе и в нашей. У нас она не очень массивная, порядка 3^6 или 4^6 масс Солнца. Есть в тысячу раз более массивные, 10^9 масс Солнца. И все они тоже источники рентгеновского излучения.

— **Разве черная дыра может что-то излучать? Пусть даже в рентгеновском диапазоне.**

— Излучает, конечно, не сама черная дыра, а ее окрестность, аккреционный диск. За счет трения он нагревается до экстремально высоких температур и тоже излучает в рентгеновском диапазоне. Мы планируем нанести на карту координаты нескольких миллионов активных ядер галактик, то есть сверхмассивных черных дыр. Интересно, что свет от самых далеких из них идет до нас почти 10 млрд лет.

— **То есть вы будете наблюдать за Вселенной, какой она была 10 млрд лет назад, в эпоху своей юности?**

— Не совсем так: наша задача — посмотреть, как формировались и эволюционировали со временем сверхмассивные черные дыры во временном масштабе 10 млрд лет. Как формировались скопления галактик в масштабе нескольких миллиардов лет. Естественно, здесь не обойтись без привлечения темной энергии и темной материи. Когда мы получим необходимые распределения по массе, светимости,

красному смещению и т.д., можно будет более определенно сказать, как влияла темная энергия на формирование крупномасштабной структуры Вселенной.

— **Но разве «Чандра» не может справиться с этими вопросами?**

— «Чандра» не приспособлена для обзоров. Она замечательна, но для неба — это карандаш. А мы — кисть. Если телескопы «Спектр-РГ» будут делать обзор какой-то определенной площадки на небе за сутки, то у «Чандры» на это уйдет в десятки раз больше времени. Пусть мы будем не так глубоко смотреть, зато у нас будет широкий взгляд. Представьте, что вам с орбиты показали на Земле территорию размером в один квадратный метр. Хорошо показали, детально. Но что вы можете с ее помощью сказать о всей планете? А потом вам дали широкоугольный объектив, и вы увидели, что, оказывается, есть и совсем другие местности — горы, океаны, пустыни, леса... Поэтому лучше сначала посмотреть на всю картинку в целом, а потом уже изучать отдельные моменты.

— **Есть старая притча про трех слепцов, которые, ощупав у слона один — хобот, другой — хвост, а третий — ногу, спорят о том, на что он больше похож: на удава, веревку или дерево.**

— Совершенно верно. Но, конечно, это не отменяет великие результаты «Чандры» и XMM-Newton. Это блестящие, замечательные телескопы.

— **Сколько времени вы отводите на составление полной рентгенограммы Вселенной?**

— «Спектр-РГ» рассчитан на семь лет. Четыре года будем делать обзоры, по одному каждые полгода. Потом полученные восемь обзоров наложим друг на друга. И вот, представляете, у нас будет несколько рентгеновских фотонов из этого направления на небе. Мы никогда не думали, что нам придется работать с таким количеством объектов. Это будут огромные массивы данных. Для их обработки и изучения будут задействованы десятки, если не сотни, ученых, которые уже сегодня ждут этих результатов. Особенно



Телескоп ART-XC на испытаниях в РКЦ «Прогресс» (Самара), май-июнь 2016 г. Контрольно-доводочный образец телескопа в термовакуумной камере, крышка откинута. © «Роскосмос»/DLR/СПГ/ИКИ.

интересно будет наблюдать транзитные эффекты, такие как приливные разрушения звезд черными дырами. Это будут яркие, короткие всплески, которые надо отловить и дать целеуказание. Много будет интересного.

— **Но это космологическая задача, на всю Вселенную. А что-нибудь поближе, в пределах нашей Галактики, вы искать собираетесь?**

— Еще конкретнее и компактнее: в пределах нашей Солнечной системы. Мы сможем сделать ее томографию с помощью изучения процесса перезарядки солнечного ветра на кометах, во время которого идет излучение в мягком рентгеновском диапазоне. Вы берете несколько десятков известных комет и строите карту солнечного ветра нашей Солнечной системы. Никто об этом не задумывался, но это возможно. Планеты тоже можно исследовать. Допустим, можно изучать полярные шапки Юпитера или излучение от Марса.

— **И Землю можно будет изучать?**

— К сожалению, Землю мы не будем видеть из-за того, что у нас будет ограничение по направлению на Солнце. «Спектр-РГ» будет расположен в точке Лагранжа, равновесной точке системы «Солнце — Земля», на расстоянии примерно 1,5 млн км от нашей планеты. Это будет первый российский спутник, который туда полетит, хотя ЕКА и NASA уже там, как говорится, плотно прописались. Там нет радиационных поясов, очень стабильные тепловые режимы, и там будет хвост от магнитосферы Земли.

ОДИН ТЕЛЕСКОП ХОРОШО, А 14 ЛУЧШЕ

— **Насколько я знаю, «Спектр-РГ» — это не один рентгеновский телескоп, а два: немецкий eROSITA и наш ART-XC. Зачем такое дублирование?**

— Никакого дублирования. Что такое eROSITA? Это семь рентгеновских телескопов, семь детекторов в диапазоне от 300 эВ до 10 кэВ. Это замечательный инструмент, лучше, кажется, и сделать невозможно. Мы сделали телескоп с большим фокусным расстоянием, примерно в полтора раза. У них — 1,6 м, у нас — 2,7 м. За счет этого мы расширили диапазон в более высокие энергии, у нас зеркала и детекторы работают до 30 кэВ, а если посмотреть на эффективную площадь, то уже на 6 кэВ



Развернутые солнечные батареи платформы «Навигатор» аппарата «Спектр-РГ» в НПО им. С.А. Лавочкина, февраль 2019 г. © «Роскосмос»/DLR/СРГ/НПО им. С.А. Лавочкина.

мы сопоставимы, а на 8 кэВ она у нас более чем в два раза больше. Фактически мы добываем информацию в более жестком диапазоне длин волн. Если бы была возможность сделать до 100 кэВ, мы были бы счастливы. Туда все стремятся, но увы... Зеркальные системы на американском спутнике NuSTAR имеют фокусное расстояние 10 м, они могут проводить наблюдения до 80 кэВ, это впечатляет. У нас более компактный телескоп, нам никто не разрешил бы делать обзорный телескоп с фокусным расстоянием в 10 м. Тем не менее нам удалось сделать обзорный жесткий телескоп для проекта «Спектр-РГ» в отведенных габаритах. Теперь посмотрим, как это все будет работать на орбите.

— **То есть телескопы взаимодополняют друг друга. Они будут работать в спаренном режиме или каждый по отдельности?**

— По отдельности, но синхронно. На самом деле, это не два телескопа, поскольку в каждом находятся семь зеркальных систем и семь фокальных детекторов. Получается уникальная система — 14 независимых телескопов, направленных в одну сторону.

— **Вы будете рассматривать одно и то же?**

— И да, и нет. По телескопу eROSITA мы поделили небо пополам в галактических координатах, на западную и восточную часть. Восточная — наша часть, западная — немецкая. Конечно, со временем мы объединим усилия и выпустим совместный каталог.

— Но в рамках одной коллаборации россияне могут пользоваться немецким телескопом, а немцы российским?

— Как я уже сказал, на своей половине неба мы пользуемся данными с немецкого телескопа *eROSITA*, и мы не будем обрабатывать данные с западной половины. Это все касается телескопа *eROSITA*, по телескопу *ART-XC* у нас такого обмена информацией пока не планируется, все данные будут доступны только российским ученым. За исключением небольшой части неба, около северного полюса эклиптики, размером в 200 квадратных градусов, где российские и американские ученые будут вести совместную обработку данных. Что касается немецких партнеров и *ART-XC*, по договоренности с нашими немецкими коллегами они будут получать информацию о фоне на детекторах *ART-XC*, которая им необходима при обработке данных наблюдений. Каждые сутки мы будем делать обзор полного круга на небе шириной в один градус. Самое удивительное в том, что 80% информации, которую мы будем получать, вы не найдете ни в одном каталоге мира. На ваш вопрос: «А что мы получим нового?» мы можем ответить: «Так у нас и в старом пока почти полная неизвестность».

— Так уж и полная? Что-то ведь знаем...

— Мы, конечно, делаем оценки и прогнозы. Я вам показал глобальные задачи

по космологии, связанные со скоплениями галактик и с ядрами активных галактик. Если нам удастся нанести на карту все скопления галактик, то, как говорит Р.А. Сюняев: «Нового мы, к сожалению, больше не откроем. Если только спустя 5 млрд лет кто-то по-новому не взглянет на небо и не сделает новый обзор».

— Значит, сейчас вы делаете большой задел на ближайшие 5 млрд лет?

— Именно. Конечно, там будут другие вопросы и проблемы, но в этой области мы тему закроем однозначно.

— Если вы увидите невидимые массы, то, наверное, обнаружите и скопления той же темной материи?

— Естественно. Любое скопление галактики формирует гравитационный потенциал — это и есть темная материя.

— То есть галактики держит не центральная черная дыра, а темная материя?

— Да. Темная материя глобально доминирует. Особенно это касается скоплений, в которые входят сотни и даже тысячи галактик. Там массы могут значительно превышать 10^{14} масс Солнца. Это колоссальная величина, которую в массу традиционной материи никак не уложишь.

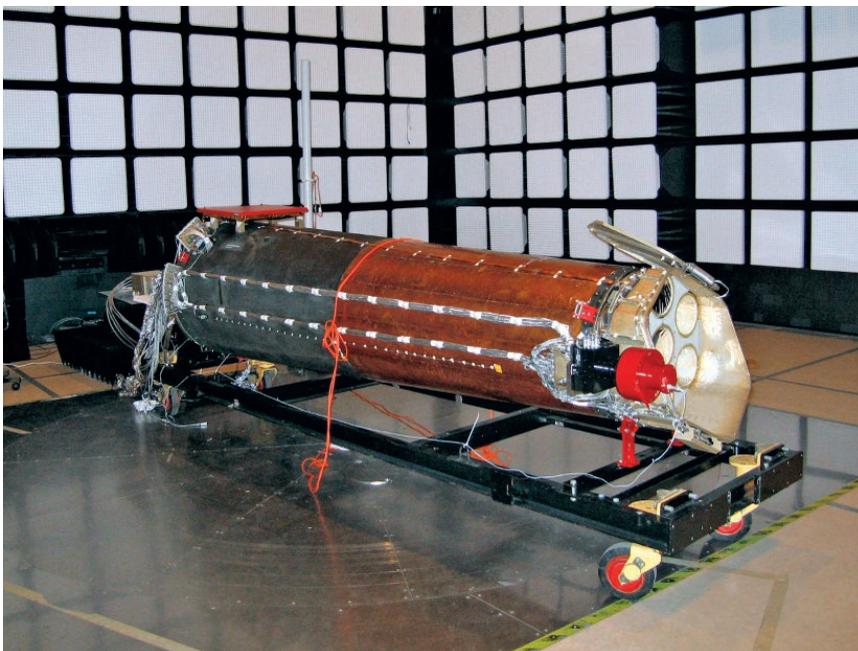
— Скажите честно, есть у вас гайная надежда, что миссия «Спектр-СГ» откроет что-то новое, прорывное?

— Как сказать... Скорее нет. И слава богу, потому что иное означало бы, что мы чего-то не понимаем. Но с точки зрения новых ориентиров, знаний и ограничений в области темной энергии, темной материи — и не только, — я думаю, миссия будет полезной.

— И напоследок: когда нам все-таки ожидать запуска?

— 21 июня этого года. 26 февраля ракета «Протон» с разгонным блоком ДМ РКК «Энергия» ушла на Байконур. Спутник будет вывозиться транспортным самолетом в ночь с 24 на 25 апреля. Так что счет идет буквально на сутки. Надеемся, все пойдет по плану и Госкомиссия даст нам добро. ■

Беседовал Валерий Чумаков



Телескоп ART-XC проходит испытания на электромагнитную совместимость, ВНИИА им. Н.Л. Духова, июль-август 2016 г. © «Роскосмос»/DLR/СРГ/ИКИ.



АЛЕКСАНДР АНАТОЛЬЕВИЧ ЛУТОВИНОВ, ПРОФЕССОР РАН, ЗАМЕСТИТЕЛЬ ДИРЕКТОРА ПО НАУЧНОЙ РАБОТЕ ИКИ РАН:

История началась с совместного с ЕКА и NASA проекта Международной орбитальной обсерватории *INTEGRAL* (*INTErnational Gamma-Ray Astrophysics Laboratory*, Международная обсерватория гамма-лучей), успешно выведенной на орбиту в 2002 г. российской ракетой-носителем «Протон». До этого события было принято, что если научная группа создает телескоп и осуществляет его запуск, то и получает от него данные и сама с ними работает. С обсерваторией *INTEGRAL* ситуация изменилась: проект первым в России получил статус национальной обсерватории, что позволило широкому кругу специалистов принять участие в работе с его данными. Были привлечены ученые из разных институтов России, в частности из петербургского Физтеха им. А.Ф. Иоффе, из ГАИШ МГУ, Казанского университета. В последнем ведутся серьезные исследования в оптическом диапазоне и уже очень много сделано для осуществления оптической поддержки обсерватории *INTEGRAL*. Это сотрудничество оказалось взаимовыгодным: во время работы над проектом наши коллеги приобрели неоценимый опыт и сейчас выступают ключевыми партнерами по работе с проектом «Спектр-РГ».

«Спектр-РГ» также будет иметь статус национальной обсерватории. Уже сейчас в работу над проектом и постановку научных задач вовлечено большое

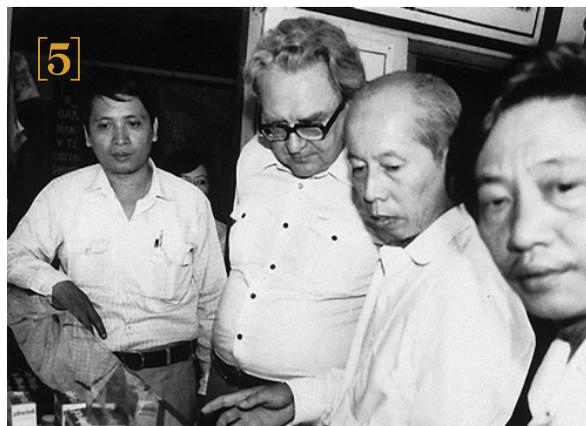
число ученых со всей страны. Создано более десятка рабочих групп по разным направлениям исследований, в которые входят ведущие специалисты научных и образовательных учреждений России. С немецкой стороны также созданы свои рабочие группы для телескопа *eROSITA*.

В течение четырех лет «Спектр-РГ» будет делать обзор всего неба, а затем перейдет в режим наблюдения наиболее интересных объектов. Во время этой части работы обсерватории ученые будут подавать заявки на наблюдения, которые будет рассматривать специальный комитет. Если заявку признают значимой и интересной, будут проведены наблюдения и ученый получит в пользование их результаты сроком на один год. В этот период у него есть приоритетное право на их использование и публикацию полученных результатов. По истечении года данные становятся открытыми, то есть доступными для всех ученых. Это общепринятая мировая практика.

Помимо работы с научными данными есть еще очень важный момент. «Спектр-РГ» позволит увидеть миллионы новых и необычных объектов. Нам нужно будет понять природу этих объектов — что они собой представляют, как устроены и каков механизм их излучения. Для этого нужны наблюдения не только в рентгеновском, но и в других диапазонах длин волн:

оптическом, инфракрасном, в радиодиапазоне. Только так можно будет понять природу объекта. В России не настолько много больших телескопов, и все они будут задействованы в нашей программе, в фактической поддержке наблюдений. Наши коллеги, работающие на этих телескопах, входят в рабочие группы, о которых шла речь выше. В проекте будут задействованы телескопы на Байкале, в Институте солнечно-земной физики СО РАН, с которыми мы и сейчас активно работаем; на Кавказе, в частности, крупнейший в Евразии шестиметровый БТА, Большой телескоп азимутальный (*На полпути к звездам // ВМН, № 7, 2018*), специальной астрофизической обсерватории РАН в Архызе; новый оптический телескоп ГАИШ МГУ с диаметром апертуры 2,5 м, который недавно построили под Кисловодском. Отмечу, что научный руководитель ГАИШ академик А.М. Черепашук активно поддерживает как сам проект «Спектр-РГ», так и участие телескопа ГАИШ. Конечно, будет использоваться и наш полутораметровый российско-турецкий телескоп, который стоит недалеко от Анталы (ИКИ РАН и Казанский университет имеют там больше половины наблюдательного времени). Орбитальная обсерватория даст столько информации, что для ее обработки потребуются огромные силы, поэтому будут привлекаться ученые со всей страны.

**АКАДЕМИКУ
ВАЛЕНТИНУ ИВАНОВИЧУ
ПОКРОВСКОМУ — 90 ЛЕТ**



ЧЕЛОВЕК С БОЛЬШИМ СЕРДЦЕМ



1. В.И. Покровский с сотрудниками кафедры инфекционных болезней ММСИ (1970-е гг.)
2. В.И. Покровский с женой Ниной Яковлевной (1960-е гг.)
3. Академик В.И. Покровский (апрель 2019 г.)
4. Здание Центрального НИИ эпидемиологии (начало 1970-х гг.)
5. В.И. Покровский во Вьетнаме с местными специалистами (1970-е гг.)

Мы приехали в Центральный научно-исследовательский институт эпидемиологии накануне юбилея академика **Валентина Ивановича Покровского**, чтобы побеседовать с ним и его ближайшими коллегами о той области медицины, которой он посвятил свою жизнь, о том, что достигнуто и что еще предстоит сделать для того, чтобы защитить человечество от будущих вирусных угроз и эпидемий.

— **Валентин Иванович, скажите, пожалуйста, в XXI в. сильно изменились суть и предмет эпидемиологии?**

— Конечно, вне всяких сомнений. Появилось много нового, наша область науки пополнилась новыми понятиями, темами, задачами...

— **А почему вы выбрали именно это направление в медицине?**

— Потому что оно очень динамичное, видишь результаты своей работы. Встречаешь тяжелый случай, находишь причину заболевания — вирус, микроб, — человека лечат, и он поправляется. Так что в этом есть прямой интерес. Без наших специалистов не могут обойтись многие врачи, например гастроэнтерологи, которые лечат хронический гепатит и цирроз печени, в основе которых находится вирус. Эпидемиолог своим правильным решением может защитить здоровье многих тысяч людей.

— **Какие свои исследования и результаты вы считаете самыми важными в вашей научной биографии?**

— Наиболее важными я считаю разработку проблемы менингококковой инфекции, которая была очень распространена в середине XX в. Я впервые начал применять научно обоснованную схему лечения путем массивных доз пенициллина. И второе направление исследований — методы лечения острых кишечных инфекций, в том числе брюшного тифа и холеры. В 1997 г. наш коллектив был награжден Государственной премией «за цикл работ по клинике, этиотропной диагностике и терапии неизвестных ранее инфекционных заболеваний».

— **Вы работаете в Институте эпидемиологии 52 года, из них почти 50 вы им руководите. То есть фактически вы его создали и сделали таким, какой он сейчас есть. Вы довольны результатом?**

— Вполне. Я пришел работать в этот институт в 1967 г. В 1971 г. был назначен директором. Ну вот видите, сколько лет с ним связано... Сейчас он по праву считается главным научным учреждением в области разработки научных проблем эпидемиологии и инфекционной патологии.

— **Вы можете сказать, что в вашем институте сохраняется преемственность поколений?**

— Да, вне всяких сомнений. Мои последователи — сын, Вадим Валентинович Покровский (*академик, специалист в области*

профилактики и лечения инфекций, вызываемых вирусом иммунодефицита человека. — Примеч. ред.), Василий Геннадьевич Акимкин, теперешний директор института, другие прекрасные специалисты.

— **Валентин Иванович, какие сегодня опасности грозят человечеству? Каких будущих вызовов надо ждать?**

— Появление новых патогенных агентов. Каждый год регистрируется как минимум 30 новых патогенных агентов. И не исключено, что один из них может приобрести такую высокую вирулентность, что перерастет в эпидемию, пандемию.

— **Наука поспевает за этим?**

— Конечно, отстает. У всех этих микробов короче жизнь, и мы их только догоняем.

— **А что сильнее всего влияет на эпидемиологическую ситуацию? Экология, изменение климата, антропогенный фактор?**

— Конечно, прежде всего экология, и мы, непосредственно люди, врачи, которые вмешиваются с лекарственными препаратами, вакцинацией и т.д.

— **Как вы относитесь к вакцинации? Сейчас многие с ней борются.**

— Положительно. Считаю, что вакцинироваться надо обязательно. Таким образом мы спасли мир от натуральной оспы и от целого ряда других заболеваний. Так что это острая необходимость.

— **Сегодня многие говорят о мутации вирусов, появлении новых штаммов, что инфекционные болезни эволюционировали и что, например, антибиотики рано или поздно перестанут действовать. Что вы об этом думаете?**

— Ну, что антибиотики перестают работать — это не совсем так, изменяется чувствительность микрофлоры к антибиотикам. Но меняются и антибиотики, меняется микрофлора, поэтому эффективность все равно есть. Я думаю, что с помощью биомолекулярных манипуляций могут появиться совершенно новые средства лечения и профилактики.

— **Нельзя сказать, что человечество бессильно перед возможной пандемией, как, например, испанки в начале XX в.?**

— Нет, нет. Мы вооружены. Тем более что сейчас не одно государство борется, а все содружество — Организация Объединенных Наций, Всемирная организация здравоохранения.

1. В.И. Покровский (первый справа) с друзьями (1950-е гг.)
2. В.И. Покровский в своем кабинете (1980-е гг.)
3. С женой Ниной Яковлевной (1970-е гг.)



Академик Валентин Иванович Покровский — выдающийся ученый с мировым именем, легенда отечественной медицины. Крупнейший клиницист-инфекционист и эпидемиолог, организатор здравоохранения и медицинской науки. Создатель собственной научной школы, уникальный педагог. Сделал огромный вклад в борьбу с эпидемиями инфекционных болезней (холеры, менингококковой инфекции) в нашей стране и за рубежом. Положил начало изучению ранее неизвестных заболеваний: ротавирусной инфекции, микоплазменной пневмонии, легионеллеза,

пневмоцистоза. Диагностировал первый случай СПИДа в СССР, заложил фундамент научных исследований этой тяжелой болезни. Около 50 лет руководил Центральным научно-исследовательским институтом эпидемиологии Роспотребнадзора. Почти 20 лет В.И. Покровский занимал пост президента Академии медицинских наук — был шестым президентом АМН СССР и первым президентом Российской академии медицинских наук. В.И. Покровский и сейчас проводит лечебную и консультативную работу. Активно участвовал в международном движении врачей против ядерного оружия.



ВАДИМ ВАЛЕНТИНОВИЧ ПОКРОВСКИЙ, АКАДЕМИК,
РУКОВОДИТЕЛЬ ФЕДЕРАЛЬНОГО НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОГО
ЦЕНТРА ПО ПРОФИЛАКТИКЕ И БОРЬБЕ СО СПИДОМ ЦЕНТРАЛЬНОГО
НИИ ЭПИДЕМИОЛОГИИ РОСПОТРЕБНАДЗОРА:

— Вадим Валентинович, ваш отец повлиял на выбор профессии?

— Конечно. Когда ребенок выбирает профессию, он смотрит, чем занимаются родители, насколько интересно они об этом рассказывают. Поэтому такой выбор был в известной мере predetermined семьей. И моя мать (*Нина Яковлевна Покровская — врач-невропатолог, кандидат медицинских наук. — Примеч. ред.*) тоже занималась лечением инфекционных болезней, детских менингитов. Поэтому у меня была информация об этой специальности, и так как ничего другое меня не привлекло более сильно, то я выбрал тоже борьбу с инфекционными болезнями.

Я начал заниматься этой проблемой еще со студенческой скамьи, переводил для специальных журналов иностранные статьи, то есть включился в эту работу довольно рано. И, конечно, то, что Валентин Иванович был рядом, сильно развивало мою научную и практическую эрудицию.

— Родители не возражали против этого выбора?

— Да нет, я для них был подспорьем, помогал, тоже переводил для них иностранные статьи.

— А какие исследования вашего отца вы считаете самыми значимыми и интересными?

— Все его исследования были интересны, он сделал большой вклад в борьбу с инфекциями. Это, конечно, лечение менингита, потому что те методы, которые он внедрил, позволили снизить летальность с 40% до 3–4%, это замечательный результат. А еще больший вклад — в лечение холеры. Это страшная болезнь, а он снизил летальность с помощью своих методов с 40% до менее 1%. Это тоже был огромный успех. Раньше считалось, что больному холерой нужно давать антибиотики. Но оказалось, что это

не действует. А надо просто замещать те потери жидкости и солей, которые у пациента происходят вследствие диареи. И действительно, иногда приходилось вливать 40 л солевых растворов, и таким образом человека спасали даже от самой сильной холеры, которая вызывает полное исхудание.

— Я помню, где-то в конце 1960-х, в начале 1970-х гг. у нас в стране была эпидемия холеры.

— В 1970 г. была большая эпидемическая вспышка холеры Эль-Тор. Был жаркий год, и у нас на юге России заболело много людей, и Валентин Иванович с коллегами спасали этих людей от смерти. Летальность была минимальная и только у людей с какими-то сопутствующими заболеваниями. Это был большой успех. С тех пор мы холеру не рассматриваем как очень опасное заболевание.

— В этом году в Москве зафиксирована вспышка заболеваний корью. Эпидемия не была объявлена, но в некоторых школах ввели карантин. Это ведь не такое опасное заболевание, как холера? Почти все мое поколение ею переболело...

— Ну, я бы сказал, что корь — это опасное заболевание. Если бы у нас не было вакцины, летальность могла доходить и до 5%. А у людей с ослабленным организмом летальность составляет где-то до 30%. Приведу исторический пример. Мало кто знает, что у Людовика XIV половина наследников умерла от кори. Одного только правнука случайно спасли, и он стал Людовиком XV. Правда, потом он заболел оспой и в 56 лет от нее умер. Так что борьба с инфекциями всегда была очень важной.

— В.И. Покровский сказал, что каждый год регистрируется около 30 новых патогенных агентов. Как за этим уследить?

— Мы следим за появлением новых штаммов, за тем, насколько они опасны. У нас существует система слежения. Кстати,

Валентин Иванович — один из организаторов этой системы в нашей стране. И мы уже можем даже предсказывать, какие штаммы вируса будут распространяться.

— **Валентин Иванович больше 50 лет руководил Институтом эпидемиологии, по сути, его создал...**

— Да, и этот институт превратился в одно из крупнейших научных учреждений. Мы теперь занимаемся молекулярной диагностикой. Уже начали осваивать и генную диагностику, и даже сделан замах на генную терапию. То есть пытаемся лечить инфекции с помощью формирования природной устойчивости, изменяя геном человека. Мы этим занимаемся под руководством В.И. Покровского. Он развивал именно те направления, которые потом оказались самыми передовыми.

— **Сейчас многое меняется в организации здравоохранения. Не пострадает ли созданная В.И. Покровским система?**

— Сейчас много споров о том, как реорганизация науки может отразиться на ситуации. Никто определенно ответить на этот вопрос не может, все говорят, что раньше было лучше, но никто не знает, как будет завтра.

— **На эпидемиологической ситуации сильно отражаются антипрививочные кампании?**

— Мы не относим противников прививок к ученым. Сам я как раз принадлежу к тем, кто считает, что прививки должны быть обязательными. Это защита всего населения. Каждый человек должен брать на себя определенную ответственность за то, чтобы эпидемия не распространялась, все должны заботиться о своем иммунитете. Поэтому и вакцинация должна быть обязательной. Конечно, никто не будет вакцинировать препаратами, которые несут реальную опасность, и такие вакцины не применяются. Странно слышать, что вакцины несут какую-то угрозу.

— **Сейчас в интернете ходит список наиболее загрязненных и менее загрязненных московских районов. Это влияет на эпидемиологическую обстановку?**

— Прямого воздействия на эпидемический процесс загрязнение не оказывает, если это, конечно, не какие-то микробиологические продукты. Но иммунитет, на который, естественно, воздействует окружающая среда, имеет значение для распространения инфекции. Конечно, нежелательно присутствие в природе никаких токсических, тем более радиоактивных веществ. И тут должна

быть работа экологов. Но мы все-таки боремся в основном с микроорганизмами, а не с людьми, которые загрязняют природу, хотя, в общем, надо этим тоже заниматься.

— **А насколько велика роль иммунитета?**

— Есть два вида иммунитета — приобретенный и врожденный. Раньше мы ориентировались только на приобретенный иммунитет, полученный путем вакцинации. А оказалось, что к некоторым инфекциям приобретенного иммунитета нет. Например, не развивается иммунитет к ВИЧ-инфекции, и вакцину создать не получается. Некоторые люди имеют природный иммунитет. Вот если их гены пересадить другим людям, то у всех будет природная устойчивость. Генная иммунизация — очень интересное направление, основы этой работы также заложил В.И. Покровский.

— **Какие опасности грозят человечеству?**

— Мы знаем, что гепатит С, гепатит В, ВИЧ-инфекция распространяются с кровью. Уже есть на подходе много вирусов, в том числе тех, которые могут вызывать лимфомы. У нас сейчас наблюдается некоторое увеличение количества лимфом. Может быть, это как раз связано с распространением этих вирусов. Есть множество опасностей, и надо быть начеку.

— **Но вы держите руку на пульсе?**

— Мы стараемся держать, но все-таки для этого нам нужна большая государственная поддержка, чтобы мы могли работать.

— **А она есть?**

— Конечно есть, но, как все говорят, денег не хватает. Тут я не оригинален.



В.И. Покровский с сыном Вадимом



ВАСИЛИЙ ГЕННАДЬЕВИЧ АКИМКИН, АКАДЕМИК, ДИРЕКТОР ФБУН ЦНИИ ЭПИДЕМИОЛОГИИ РОСПОТРЕБНАДЗОРА:

— Василий Геннадьевич, какие принципы, заложенные В.И. Покровским при создании института, для вас самые важные?

— Принципы, которые заложил Валентин Иванович, это прежде всего научность, необходимость работать на практическую медицину, достижение конечного результата. В.И. Покровскому удалось сделать в науке и практическом здравоохранении то, что удалось бы далеко не каждому из ученых его уровня. Он создал не просто научно-исследовательский институт, а научно-производственный комплекс, который сегодня живет и развивается. Наш институт — один из крупнейших в России научных разработчиков и производителей инновационной импортозамещающей продукции — тест-систем для диагностики широкого спектра возбудителей инфекционных заболеваний (ВИЧ, вирусные гепатиты, кишечные инфекции, инфекции, передающиеся половым путем и др.). Сегодня продукция института достаточно конкурентна на рынке России и за рубежом.

Для института крайне важен сам Валентин Иванович как личность, как человек. Он — ученый с мировым именем, крупный организатор российского здравоохранения и науки, наш Учитель. Но для большинства сотрудников он прежде всего — большой человек с большим сердцем, который всегда готов прийти на помощь, выслушать, дать нужный совет. Он искрится добротой, и каждый это ощущает всегда, когда находится рядом с ним. У В.И. Покровского огромное число учеников в Российской Федерации и за рубежом. Не знаю, есть ли хоть один человек, причисляющий себя к медицине, который не знает имя Валентина Ивановича, его научные труды. По его книгам живет и работает практически любой врач в России.

— Как вы стали эпидемиологом?

— У меня был такой эпизод в жизни. Когда я в 18 лет готовился к поступлению в медицинский институт, мне каким-то чудом попал в руки двухтомник руководства по инфекционным болезням под редакцией В.И. Покровского. Читая его, я тогда подумал, какой же это мудрый ученый так красиво излагает крайне интересные сведения о «загадочных» для обывателя инфекционных болезнях.

Поступил я на лечебный факультет, а с эпидемиологией встретился позже. На четвертом курсе я опять беру в руки учебник по эпидемиологии. Эта дисциплина, к сожалению, не очень интересно преподавалась в нашем вузе, но меня крайне занимала сама ситуация, связанная с борьбой с инфекционными болезнями: как это тяжело и страшно, когда огромное количество людей погибает от холеры, чумы и пр., как спасти людей от этого. И я тогда окончательно выбрал специальность, поскольку решил, что это самое интересное и важное — видеть результаты собственного труда, когда ты можешь помочь тысячам людей, причем сделать это в очень короткий промежуток времени. Вот, собственно, так и сложилась жизнь.

Я искренне считаю, что эпидемиология — важнейшая системообразующая медицинская наука, крайне востребованная во все периоды развития человечества. Сегодня современный врач-эпидемиолог — специалист, обладающий фундаментальными ассоциативными знаниями во многих медицинских дисциплинах (инфекционные болезни, микробиология, вирусология, иммунология, гигиена, дезинфектология и др.), прекрасно разбирающийся в организации системы здравоохранения, отдельных вопросах клинических медицинских специальностей, в совершенстве владеющий

навыками статистической обработки биоинформационных данных, сочетающий таланты врача, организатора и исследователя. Эпидемиология — безграничная, неисчерпаемая, развивающаяся научная дисциплина, философия современной медицины. В эту медицинскую науку можно влюбиться один раз и на всю жизнь.

— **Какие направления в приоритете вашего института?**

— В институте осуществляется большой объем научной деятельности по всему спектру вопросов эпидемиологии, диагностики и профилактики актуальных инфекционных болезней: ВИЧ-инфекции, вирусных гепатитов, кишечных, воздушно-капельных, природно-очаговых инфекций, инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи, и др. Активно развиваются научные направления по разработке и производству современных диагностических тест-систем, новых методов лабораторной диагностики инфекционных и неинфекционных социально значимых болезней. Сегодня в Институте эпидемиологии выполняется более 30 научных тем, функционируют десять референс-центров Роспотребнадзора по всем направлениям актуальной инфекционной патологии человека, активно действует диссертационный совет по защите кандидатских и докторских диссертаций, работают четыре проблемные комиссии ученого совета Роспотребнадзора.

— **А какова тема вашей докторской диссертации?**

— Внутрибольничный сальмонеллез. Я служил в одном крупном лечебном учреждении Министерства обороны, в котором мы безуспешно пытались бороться с тяжелейшей патологией — госпитальным сальмонеллезом. Три года нам не удавалось с ней справиться. И вот благодаря нашим общим с В.И. Покровским идеям мы разработали схему лечения этой патологии бактериофагами. Это один из эффективных отечественных методов лечения и профилактики инфекционных болезней, который Валентин Иванович и раньше пропагандировал, а сейчас он может стать особенно актуальным в свете глобальной проблемы антибиотикорезистентности. Разработанная

нами схема лечения пациентов и фагопрофилактики сотрудников адаптированным бактериофагом позволила локализовать, а затем ликвидировать хроническую эпидемию внутрибольничного сальмонеллеза в течение двух месяцев. Так и родилась диссертационная работа, потом была монография.

— **Я еще прочитала, что вы были в Чернобыле.**

— Был.

— **Расскажите?**

— Рассказывать особенно нечего. Это были служебные командировки, наша часть базировалась в 60 км от Чернобыля. Мы делали выезды по замеру радиационного фона в 30-километровую зону. Я там пробыл три года, сейчас это официальная зона отчуждения.

— **Вам пригодились знания и опыт, которые вы получили в Вооруженных Силах?**

— Безусловно, 25 лет службы из биографии не вычеркнешь, хотя порой кажется, что это было в прошлой жизни — так стремительно летит время. Большой объем знаний и опыт эпидемиологии, чем в организованных коллективах военнослужащих, приобрести очень сложно. Это всегда наиболее яркие клинические и эпидемиологические проявления инфекционной патологии, особенно выраженные на этапе формирования организованных воинских коллективов. Однородность коллектива, специфика жизнедеятельности, особенности



В.И. Покровский с сотрудниками ЦНИИ эпидемиологии, кафедры инфекционных болезней ММСИ и российскими эпидемиологами (1980-е гг.)

размещения, питания военнослужащих создают практически идеальные условия для изучения проявлений эпидемического процесса многих инфекций. Эпидемии — традиционные спутники войн и социальных потрясений, наверное, именно поэтому многие врачи-эпидемиологи в прошлом имели военный опыт.

Может быть, вы помните, как лет десять назад в одном из учебных соединений была зарегистрирована вспышка внебольничных пневмоний, погибли несколько ребят. Я тогда был главным государственным санитарным врачом Министерства обороны, и мы практически на государственном уровне расследовали эту ситуацию. Классические вспышки гриппа, менингококковой инфекции, дифтерии, дизентерии, сальмонеллеза, гепатита А приходилось видеть вживую и организовывать мероприятия по их ликвидации. Поэтому вопросы эпидемиологии для организованных коллективов — это первостепенная задача.

Кстати, моя кандидатская диссертация была посвящена вопросам иммунопрофилактики дифтерии в войсках, это были 1990-е гг., когда мы регистрировали в стране значительный подъем уровня заболеваемости населения этой инфекцией. Это было связано с тем, что у нас сформировался существенный провал в области иммунопрофилактики дифтерии, хотя эта инфекция относится к категории вакциноуправляемых.

— Не помню, чтобы проблема внутрибольничного заражения обсуждалась в публичном информационном пространстве...

— Если говорить о внутрибольничных инфекциях, то, пожалуй, сможете дня четыре меня записывать. *(Улыбается.)* Я одним из первых в стране стал работать госпитальным эпидемиологом (с 1994 г.), как только официально ввели такую должность. Я занимаюсь этой проблемой в научном и практическом отношении уже больше четверти века, начиная с Главного военного клинического госпиталя им. акад. Н.Н. Бурденко и до настоящего времени. На эту тему написано много книг и диссертаций, в том числе моими учениками. Тема неисчерпаемая и невероятно интересная. Она развивается вместе с развитием современных методов лечения и обследования человека, появлением новых нозологических форм инфекционной патологии. Сегодня это и вопросы, связанные с гнойными осложнениями у хирургических пациентов, заражением вирусными гепатитами и ВИЧ-инфекцией,

поиском современных инновационных решений в области дезинфекции и стерилизации

Эта тема очень близко связана с проблемой глобальной антибиотикорезистентности. Наш институт активно занимается этой проблемой в двух аспектах. Во-первых, у нас активно функционирует референс-центр Роспотребнадзора по внутрибольничным инфекциям и мы анализируем ситуацию по внутрибольничным штаммам возбудителей. Во-вторых, мы занимаемся не менее глобальным вопросом — распространением антибиотикорезистентных штаммов и выявлением остаточных количеств антибиотиков в сырье и продуктах питания в Российской Федерации и ряде сопредельных государств. По второму направлению тоже создан референс-центр, и в самое ближайшее время мы надеемся приобрести международный статус данного центра.

— То есть правильно все бояться, что антибиотики перестанут действовать?

— Они, по сути, уже и перестают действовать. Эта тема требует очень серьезных научных подходов, потому что без антибиотиков мы не сможем лечить инфекционные болезни, но вопрос часто заключается в том, как правильно их применять. Сегодня назначение и использование антибиотиков — это исключительная прерогатива врача, они не могут свободно без рецептов отпускаться в аптеке всем желающим.

— Как быть с родителями, которые отказываются делать прививки своим детям?

— Тема отказов от прививок — особая и злободневная. Служба Роспотребнадзора и наш институт активно противодействуют антивакцинальной пропаганде, поскольку иммунизация — самый эффективный метод борьбы с инфекциями. Поэтому работа с родителями и их обучение — необходимое условие реализации этой важной деятельности.

Это достоинство человечества, которое создано мировым научным сообществом и производителями вакцин благодаря бесмертным трудам Луи Пастера и его последователей, нельзя потерять. Крайне важно активно защищать метод иммунопрофилактики от попыток дискредитации, поскольку защита населения целых стран и континентов от инфекций — главная задача медицины. ■

Беседовала Ольга Беленицкая

Всё, всем, всегда ДОСТУПНО



Номера журнала за все годы
читайте в **любом удобном** для вас формате

ЦИФРОВЫЕ РЕСУРСЫ

Мгновенный доступ к текущему номеру и архиву с января 2012 г. с вашего iPad

www.sciam.ru

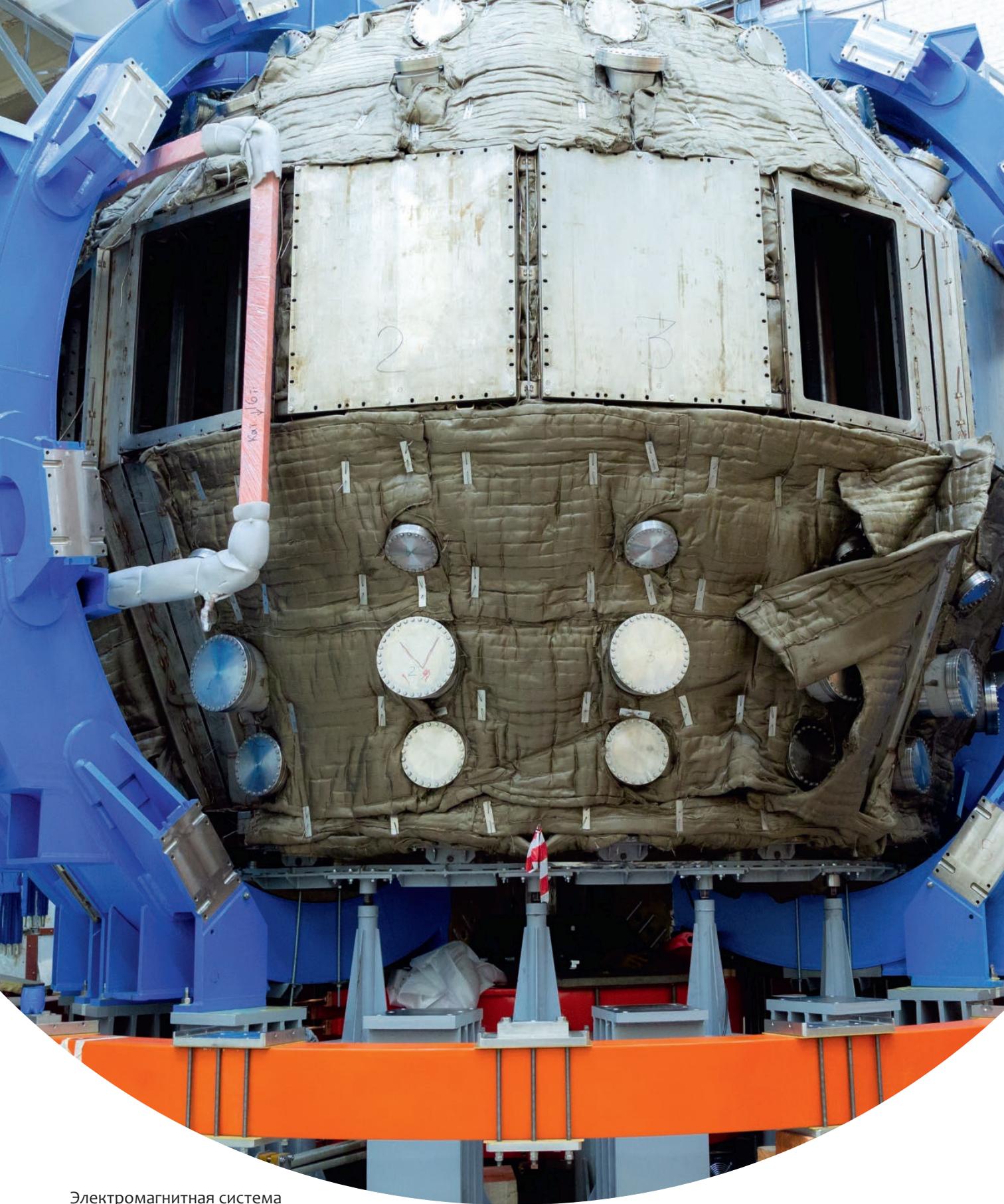


Google play



**В мире
науки** SCIENTIFIC
AMERICAN

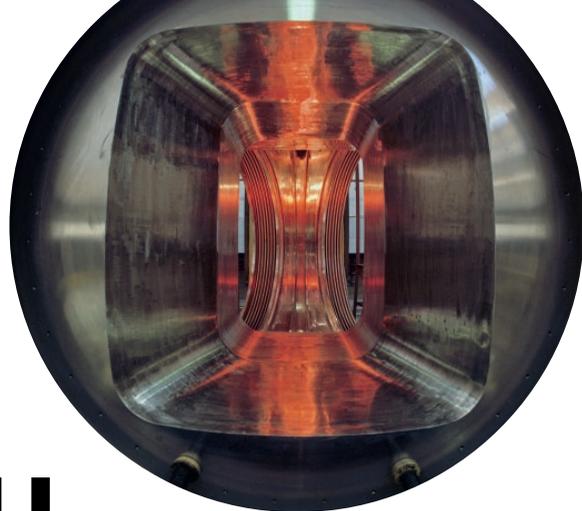
Ежемесячный
научно-информационный
журнал



Электромагнитная система
и разрядная камера токамака Т-15МД.
На следующей странице:
разрядная камера токамака Т-15, вид
изнутри. Фото: Юрий Макаров.

ФИЗИКА

ТОКАМАК РАСКРОЕТ ТАЙНЫ ГОРЯЧЕЙ ПЛАЗМЫ



В эти дни на базе НИЦ «Курчатовский институт» создается токамак принципиально нового типа, в недрах которого можно будет получить плазму более высоких энергетических значений, чем обычно. Установка, находящаяся на этапе сборки, напоминает инопланетный космический корабль с распахнутыми настезь черными глазницами иллюминаторов. Однако пройдет несколько месяцев, и в его металлическом «сердце» поселится раскаленная плазма. Тогда здесь начнутся эксперименты, которые позволят ученым пролить свет на многие фундаментальные вопросы и решить ряд важных прикладных задач.



Что это за вопросы и каких результатов стоит ожидать от работы этой уникальной мегаустановки — наш разговор с Петром Павловичем Хвостенко, доктором технических наук, научным руководителем Курчатовского комплекса термоядерной энергетики и плазменных технологий НИЦ «Курчатовский институт».

— Петр Павлович, мы с вами находимся в зале, где создается новый токамак. Расскажите, пожалуйста, каковы цели и задачи этого проекта.

— Он называется токамак Т-15МД, то есть Т-15 модернизированный. Известно, что последние годы строится большой международный токамак — реактор *ITER*. И одна из наших задач — поддержка программы *ITER*. Вторая задача, не менее важная — построить гибридный реактор, который станет источником термоядерных нейтронов. Наш токамак Т-15МД — прототип будущей большой установки, с помощью которой можно будет решить проблему замыкания топливного цикла в атомной энергетике. Ведь сегодня считается, что основного топлива для тепловых атомных станций хватит лет на 50–60. Поэтому встала задача: как возобновить топливо для атомных тепловых реакторов? Токамаки как источники термоядерных нейтронов как нельзя лучше подходят для решения этой задачи.

Токамак должен генерировать термоядерные нейтроны, которые облучают топливо, окружающее плазму. В этом случае исходом топлива становится торий-232, которого очень много в земной коре. После облучения нейтронами мы получаем уран-233, который и будет топливом для атомных станций.

— Чем же термоядерный источник нейтронов лучше классической термоядерной электростанции?

— Разница вот в чем. В термоядерном источнике нейтроны получают от взаимодействия пучка быстрых атомов с основной плазмой, при этом температура плазмы не должна доходить до 120–150 млн градусов, как в чистом энергетическом реакторе. Она должна иметь температуру не более 30–50 млн градусов.

— Неужели это мало?

— Немного. На сегодняшних токамаках с помощью гиротронов легко получить и более высокие температуры. Но если вы имеете источник быстрых атомов, которые взаимодействуют с основной плазмой, то в этом случае появляются нейтроны, с помощью которых мы можем изучать физику взаимодействия процесса.

— На каком веществе будет работать токамак?

— На водороде. Поэтому нейтронов здесь не будет, но все вопросы технологии процесса мы отрабатываем. Причем он может работать как для нужд *ITER*, так и для задач гибридного реактора.

— Внешне ваш токамак как будто из фантастического фильма. Кажется — сейчас полетит.

— Да, это действительно нечто космическое. А когдаходишь внутрь, создается полное ощущение полета. На сегодня мы окончательно смонтировали тороидальную магнитную систему, камеру высотой 3,5 м, и монтажники входят туда, ставят диагностику, меняют элементы, которые будут взаимодействовать с плазмой. Когда плазма поселится в «сердце» токамака, ощущение фантастики усилится.

— Токамаков в мире существует немало. Чем ваш отличается от других?

— Наш токамак уникален. Он имеет достаточно низкое аспектное отношение, то есть отношение величины большого радиуса плазменного шнура к малому радиусу. Мы сможем получать более высокое давление плазмы. Такой комбинации низкого аспектного отношения и магнитного поля в 2 Тл нет нигде в мире.

— Кто придумал такую модель установки?

Конечно, у истоков этих работ на современном этапе стоял Е.П. Велихов, инициировавший международный проект *ITER*. Э.А. Азизов, который

долгое время был директором Курчатовского института физики токамаков, выдвинул идею установки, а я рассчитывал всю магнитную конфигурацию. И когда она стала более или менее понятна, мы обратились к главному конструктору Научно-исследовательского института электротехнической аппаратуры им. Д.В. Ефремова (НИИЭФА) в Санкт-Петербурге. Они делали всю проработку конструкции токамака. А изготовление всех элементов и узлов взяла на себя брянская группа компаний машиностроения и приборостроения, где в рекордно короткие сроки была создана практически вся магнитная система. Это тоже уникальный результат междисциплинарного сотрудничества. Наши коллеги, в том числе зарубежные, не верят, что можно было все это сделать менее чем за два года.

— **Что дает такое сочетание физических характеристик в работе вашей установки?**

— Мы можем получать более высокие значения бета. Бета — это отношение газокINETического давления плазмы к давлению магнитного поля. Это значительно повышает эффективность использования магнитного поля. Кроме того, обычно при повышении давления развивается неустойчивость, которая разрушает плазменный шнур, и поэтому давления выше достичь нельзя. А вот в компактном токамаке, где все сжато, величина бета может достигать более заметных величин, а это

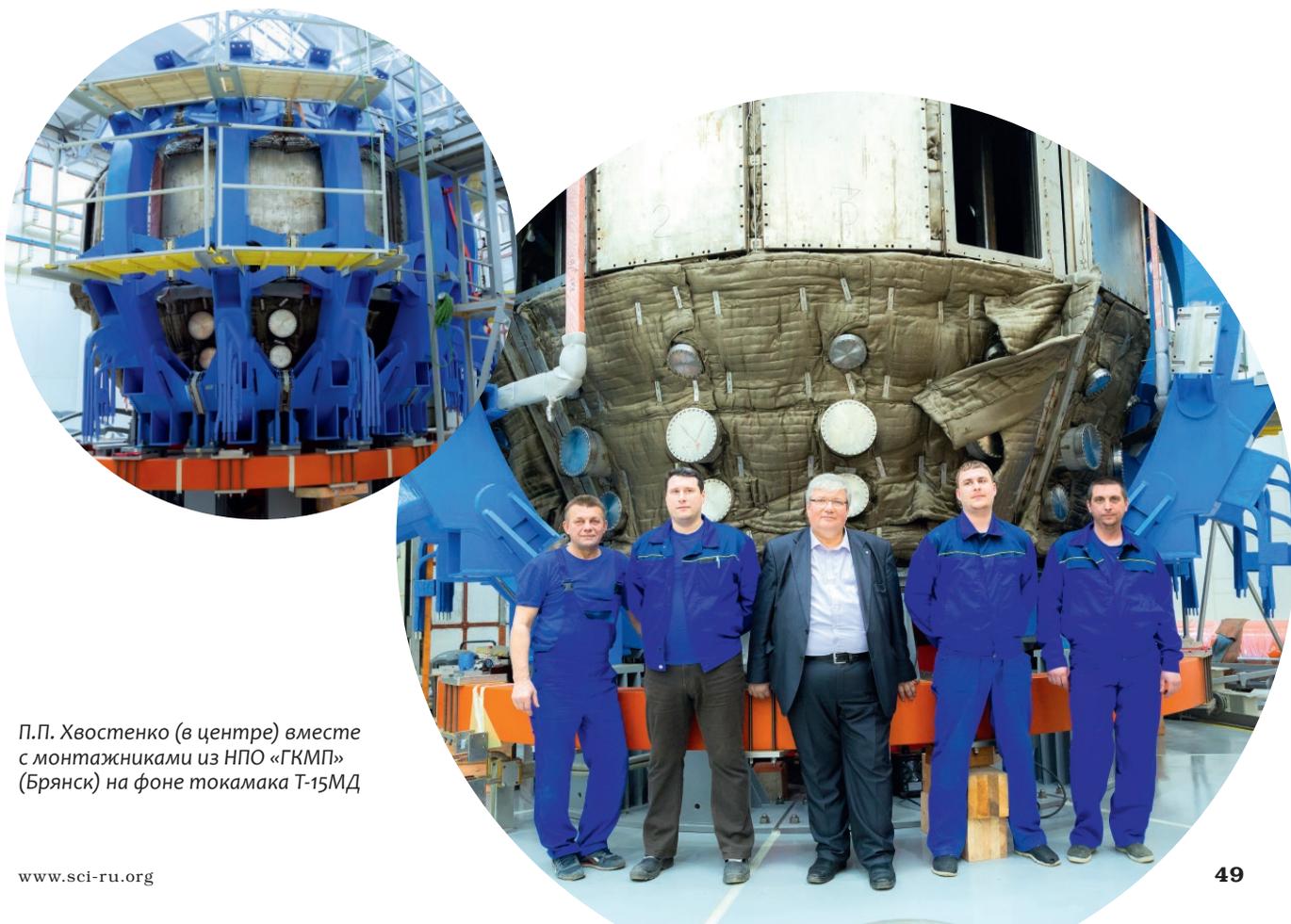
очень важно. Мы сохранили магнитное поле, достаточно высокое для токамака. Это удалось потому, что мы использовали медный проводник с небольшой добавкой серебра. Что это дало? Во-первых, мы имели проводник с проводимостью чистой меди, а по прочности он как нержавеющая сталь. Это важно, потому что при работе токамака действуют очень большие растягивающие силы, и если бы это была чистая медь, то предел прочности был бы превышен. А когда мы перешли на другой тип проводника, все получилось.

— **Как вы думаете, когда установка заработает в полную силу?**

— Физический пуск установки запланирован на декабрь 2020 г. Мы работаем в тесном контакте с ГК «Росатом» в рамках федеральной целевой программы «Ядерные энерготехнологии нового поколения». По всем расчетам, к концу апреля мы окончательно соберем нашу установку, потом подключим вакуумную откачку, заварим камеру, все проверим. Вероятно, к лету она будет готова с точки зрения подключения коммуникаций. А потом мы все это разовьем, сделаем антресоли, чтобы физики могли ставить диагностику.

— **Физики будут работать на антресолях?**

— Да, по всему периметру вокруг токамака у нас будут установлены красивые двухуровневые антресоли. Это будет деревянная конструкция, близко подходящая к токамаку. На первом этапе



П.П. Хвостенко (в центре) вместе с монтажниками из НПО «ГКМП» (Брянск) на фоне токамака Т-15МД

диагностики пройдут вакуумные испытания на стендах. Затем они будут пристыковываться к патрубкам (их здесь 152) и работать непосредственно с токамаком.

— **Пристыковываться? Выходит, не зря я уви-дела здесь космическую аналогию?**

— Да, именно пристыковываться. Хотя, конечно, люди будут находиться в атмосфере Земли, не будут летать, но сравнение с космическим экспериментом тут вполне уместно. Наблюдение за плазменным процессом, который будет происходить внутри камеры, — это, в принципе, то же самое, что изучение процессов, происходящих на Солнце или в звездах. И вопросов здесь пока больше, чем ответов.

— **Насколько опасна такая работа?**

— Больших нейтронных потоков здесь не будет. Во время разряда образуется пучок ускоренных электронов, которые попадают на стенку, образуется жесткое гамма-излучение, но интенсивность его очень невелика. К тому же, когда работает установка, в зале никого нет. У нас существует мощная биозащита — стены из свинца и бетона. В процессе работы токамака в отличие от тепловых атомных станций большой наведенной радиационной активности нет, поскольку нет и нейтронов. И вообще токамак по сравнению с АЭС более естественный с точки зрения природоподобия. Президент НИЦ «Курчатовский институт»

М.В. Ковальчук, как идеолог развития природоподобных технологий, всегда отмечает, что токамак — это природоподобная энергетическая установка по своей сути.

— **Почему?**

— Именно потому, что мы воссоздаем такие же реакции, какие происходят на Солнце и в звездах. Природа распорядилась получать энергию путем синтеза легких ядер — и ровно то же самое мы делаем в токамаке. В отличие от реакторов, делящих тот же уран. Ведь такого процесса не увидишь в природе.

— **Каких ожидаете результатов?**

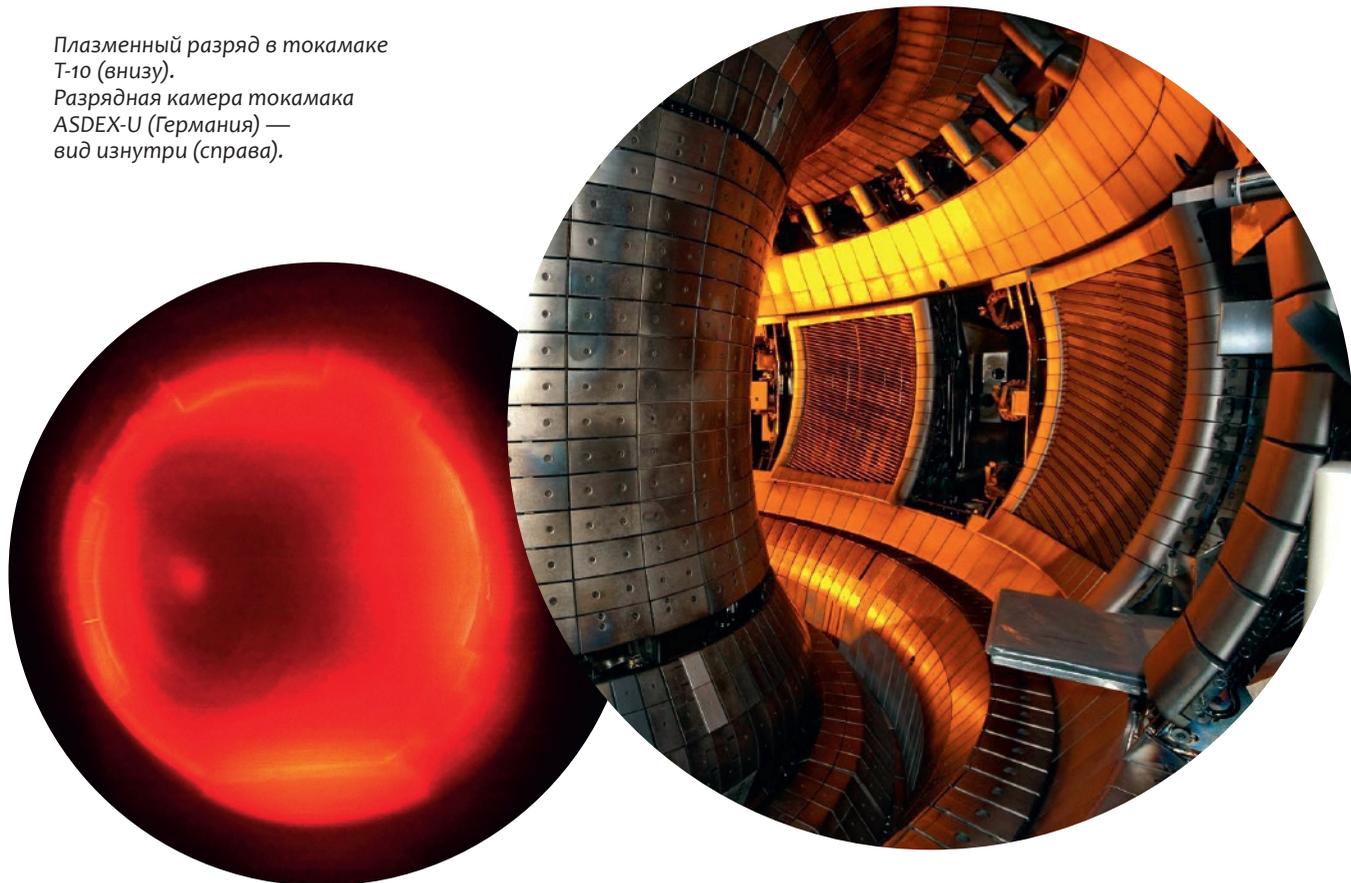
— В первую очередь, мы должны собрать большую базу данных как по инженерии, так и по физике для проектирования будущих термоядерных станций и гибридных реакторов. За это время нам нужно обобщить всю информацию, чтобы потом меньше оставалось вопросов с точки зрения проекта будущих больших реакторов.

— **А с фундаментальной научной точки зрения каких ожидаете открытий?**

— Физика плазмы — наука, до конца не изведенная. Надо найти пути к уменьшению различных влияний и повышению устойчивости плазмы. Эти задачи идут в поддержку *ITER*, потому что следующий шаг — это демонстрационный реактор, большая экспериментальная установка, где мы ждем по-настоящему прорывных результатов.

Плазменный разряд в токамаке Т-10 (внизу).

Разрядная камера токамака ASDEX-U (Германия) — вид изнутри (справа).



— **Помните, как у Высоцкого: «А с этой плазмой дойдешь до маразма». Правда ли, что плазма — самое сложное состояние вещества?**

— Абсолютная правда. Состояние это сложное и во многом непонятное. Идея токамака была изначально завязана на плазме, и родилась она в этих стенах, в Курчатовском институте, еще в 50-е гг. прошлого века. И.Е. Тамм и А.Д. Сахаров выдвинули идею, как с помощью магнитного поля можно удерживать высокотемпературную плазму, а потом у нас в институте начались эти исследования. После испытания водородной бомбы в 1953 г. И.В. Курчатова говорил о том, что термоядерная энергия должна не разрушать, а созидать. И когда появилась эта идея, он горячо ее поддержал, лично интересовался исследованиями и даже предложил установку, которая очень похожа на сегодняшний гибридный реактор. В этом был пророческий дар И.В. Курчатова. Исследования были поручены Л.А. Арцимовичу, под руководством которого проводились исследования именно в этом здании. А само слово «токамак» (сокращение от «тороидальная камера с магнитными катушками») придумал И.Н. Головин, первый заместитель И.В. Курчатова. Это слово используется во всем мире, это наш бренд — как спутник, матрешка, валенки или водка.

— **Первый токамак тоже появился в этих стенах?**

— Да, в 1959 г. Это была маленькая установка. А до 1965 г. в этом здании мы собрали еще девять установок различной конфигурации, на которых решались самые разные задачи. В 1968 г. здесь впервые в мире была получена плазма с температурой более 10 млн градусов. Никто не верил, что нам удалось достичь такой температуры. Предложили Л.А. Арцимовичу пригласить иностранную делегацию, чтобы это проверить. А Лев Андреевич был не только выдающимся ученым и организатором науки, но еще и очень смелым человеком. Холодная война, железный занавес — а он сумел добиться разрешения на проезд в эти сверхсекретные стены английских ученых. Настолько велик был его авторитет.

— **И что же? Они померили температуру плазмы?**

— Померили. Причем приехали на пяти огромных фурах, привезли свое измерительное оборудование. Тогда ведь вся диагностика была громоздкой. В результате измерений температура оказалась даже чуть выше, чем мы заявляли. После этого все сомнения были сняты — и токамак получил «зеленую улицу». Сегодня более 300 токамаков создано по всему миру. Но наш, повторю, уникален.

— **Наверное, к вам на работу приходят очень квалифицированные физики?**

— Сейчас вектор исследований перемещается в технологию, инженерию. Например,

в *ITER* первая стенка должна будет меняться раз в пять лет. Там идут большие тепловые потоки до 20 МВт/м², начинается эрозия материала, он попадает в плазму, поэтому без суперпрофессиональных физиков и инженерных кадров не обойтись. За годы работы мы провели исследования по широкому спектру материалов, включая вольфрам, который сейчас предлагают наши европейские партнеры. Выясняется, что он не очень хорошо себя ведет при больших нагрузках.

— **То есть идет поиск идеального материала?**

— Да. Сейчас наши ученые предлагают литиевые технологии, которые позволяют перераспределять мощность на более широкие площади, не давая такую интенсивную нагрузку. Эти идеи также будут проверены на нашем токамаке.

— **Значит, опять настал момент, когда инженеры в стране нужны?**

— Да, это так. Токмак будет полностью управляться системой компьютеров, вся техника — самая современная и очень сложная. Физики — это наши главные генераторы идей, а инженеры — наша главная движущая сила. С ростом масштабов установок и их сложности эти специалисты должны быть самого высокого уровня.

— **Где вы их берете?**

— Физики — базовая кафедра МИФИ, МФТИ, физфак МГУ. Инженерия — Бауманский институт, МЭИ, МАИ. Очень толковые ребята — других здесь не держат.

— **Вы ведь тоже в свое время пришли сюда из МГТУ им. Н.Э. Баумана?**

— Да, это моя альма-матер. Когда я пришел сюда больше 40 лет назад, мне казалось, что я попал в какую-то научную Мекку. Здесь широчайшее поле знаний, на котором, куда ни обратишься, тебе подскажут все, что ты хочешь узнать. Ты все это впитываешь и с какого-то момента тоже становишься разносчиком знаний. Это поле знаний — Курчатовский институт.

— **Такая атмосфера осталась?**

— Осталась. Мало того, в последние годы, я бы сказал, мы двинулись более широко, в разнообразных направлениях. М.В. Ковальчук такие традиции активно развивает. У нас по его инициативе сейчас представлены буквально все науки, даже гуманитарные. При этом активно развиваются и базовые атомные исследования, с которых когда-то начинался наш институт. Сегодня внимание к атомным и ядерным установкам и проводимым на них исследованиям огромное. Есть понимание на государственном уровне, что эти знания могут двигать общество вперед, и радостно, что именно Курчатовский институт этим занимается. Мне особенно приятно об этом говорить, потому что я проработал здесь, можно сказать, всю жизнь. ■

Беседовала Наталия Лескова

ислышавъ вь володе
стопоастисъ вь вели
спити. епиъ же
гласивъ крсти воло
дана. на внѣ проз
расное исцеленет



неже видѣ вши дѣла е. мнози кр
сто е вци. не цркви стоаши. в кор
срѣдѣ. и дѣ торгѣ. полтавол
стойть. и до се днѣ а црчма палат
щени скетри вѣ црцию на вѣ ро



ЖИЗНЬ ДОЛЖНА УЧИТЬСЯ У НАУКИ

На фото:
фрагменты
Радзивилловской
летописи

ИСТОРИЯ

В марте этого года выдающийся украинский историк и археолог, академик НАН Украины, иностранный член РАН Петр Петрович Толочко представил в Российской академии наук свою новую книгу «Украина между Россией и Западом: историко-публицистические очерки» (СПб., 2018). В ней исследуются взаимоотношения России и Украины, ставшие в последние годы конфронтационными. Каковы наши общие корни — и общие ли они? Как возникла и развивалась древнерусская государственность? Что такое историческая память? Может ли миф заменить исторический факт? Об этом и многом другом П.П. Толочко рассказал нашему корреспонденту.

и мнрѣ рѣ. аще и стнма боуде
къ бгѣ хрпѣ гамескѣ. и повель
сориоуныскый. стопы црчмы. и
днмира. и яко въ зложнроуко
ртѣ. вцрѣтѣ вжесе володимерѣ. и
и про смъ нъ гѣ рѣте перводведѣ



и тнша. крпѣ жесе вѣ
и кдми гѣ амѣ стн
однмира вѣ країцѣ
и агаолта рѣ. покр
учапне : : :





Академик НАН Украины,
иностраный член РАН
П.П. Толочко

— Петр Петрович, традиционный вопрос: как вы стали историком? И почему занялись Киевской Русью?

— Все очень просто. У меня было два старших брата, и они пошли учиться на исторический факультет Киевского педагогического института. Кроме того, у нас была прекрасная учительница в средней школе, Галина Митрофановна Скопенко, которая учила нас истории. Она хорошо знала и любила этот предмет и привила, по крайней мере мне, любовь к нему. Это, может быть, даже и не главное. А главная причина в том, что я совершенно не способен к точным наукам. (Смеется.)

Почему Киевская Русь? Так случилось, что рядом с селом, где я родился, вырос и дожил до 17 лет, находилось древнерусское городище над рекой Трубеж. Городище, как я потом узнал, давнее, X в. Из тех городов-крепостей, которые князь Владимир Святославович строил, укрепляя центр Руси и Киев. В «Повести временных лет» сказано: «И стал ставить города по Десне, и по Остру, и по Трубежу, и по Суле, и по Стугне». Мы в детстве там гуляли и летом, и зимой. Летом собирали черепки, монеты... И вот потом уже, задним числом, я подумал, что, может быть, «ноосфера Вернадского» так работала и наваяла мне интерес к древнерусской истории. Но когда я поступил в Киевский государственный университет на кафедру археологии, у меня не было никакого сомнения в том, что я буду заниматься Киевской Русью.

— Кто были ваши учителя?

— Когда я был студентом третьего курса, у нас на Украине работал крупнейший историк и археолог академик Б.А. Рыбаков, Герой Социалистического Труда, очень яркий человек. Он проводил раскопки в Черниговской области, там есть городок Любеч, где в 1097 г. состоялся знаменитый

Любечский объединительный съезд, на котором русские князья поклялись «быть во едино сердце». И он взял нескольких студентов из Киевского университета на раскопки. Это был еще один шаг к тому, чтобы я утвердился в выборе своей специализации. Борис Александрович был потрясающе интересным человеком, прекрасно знал летописи, свободно их цитировал. Мы шесть дней работали, а в субботу во второй половине дня он обходил все раскопы и спрашивал каждого начальника раскопа (я был одним из них): «А что вы тут за неделю обнаружили?» Он таким образом добивался, чтобы мы думали, размышляли. А потом он нас выводил на кромку Замковой горы и рассказывал, где стояли дружины Святополка Окаянного, где — Ярослава Мудрого, как они сошлись, как не выдержал лед и кто-то начал тонуть... Он говорил: «Видите? Вон два озера, между ними все и происходило». И мы, молодые, внимали ему. Он рассказывал о профессии, насколько хороша русская археология. Как-то он сказал: «Я избрал этот путь в далекие 1920-е гг., и ни разу в жизни у меня не было случая разочароваться в своем выборе». Я тоже могу сказать, что доволен своим выбором. Чрезвычайно интересная профессия. Ведь это не только археология, это летописи, это бурная, противоречивая политическая жизнь Руси. Я ежедневно «беседую» с летописцами, читаю их мысли, «путешествую» с князьями по Руси. Я знаю, что там было не все хорошо, но романтизирую эту историю, и мне кажется, что это было что-то особенное.

— Как вы считаете, почему история восточных славян началась так поздно по сравнению с другими древними цивилизациями?

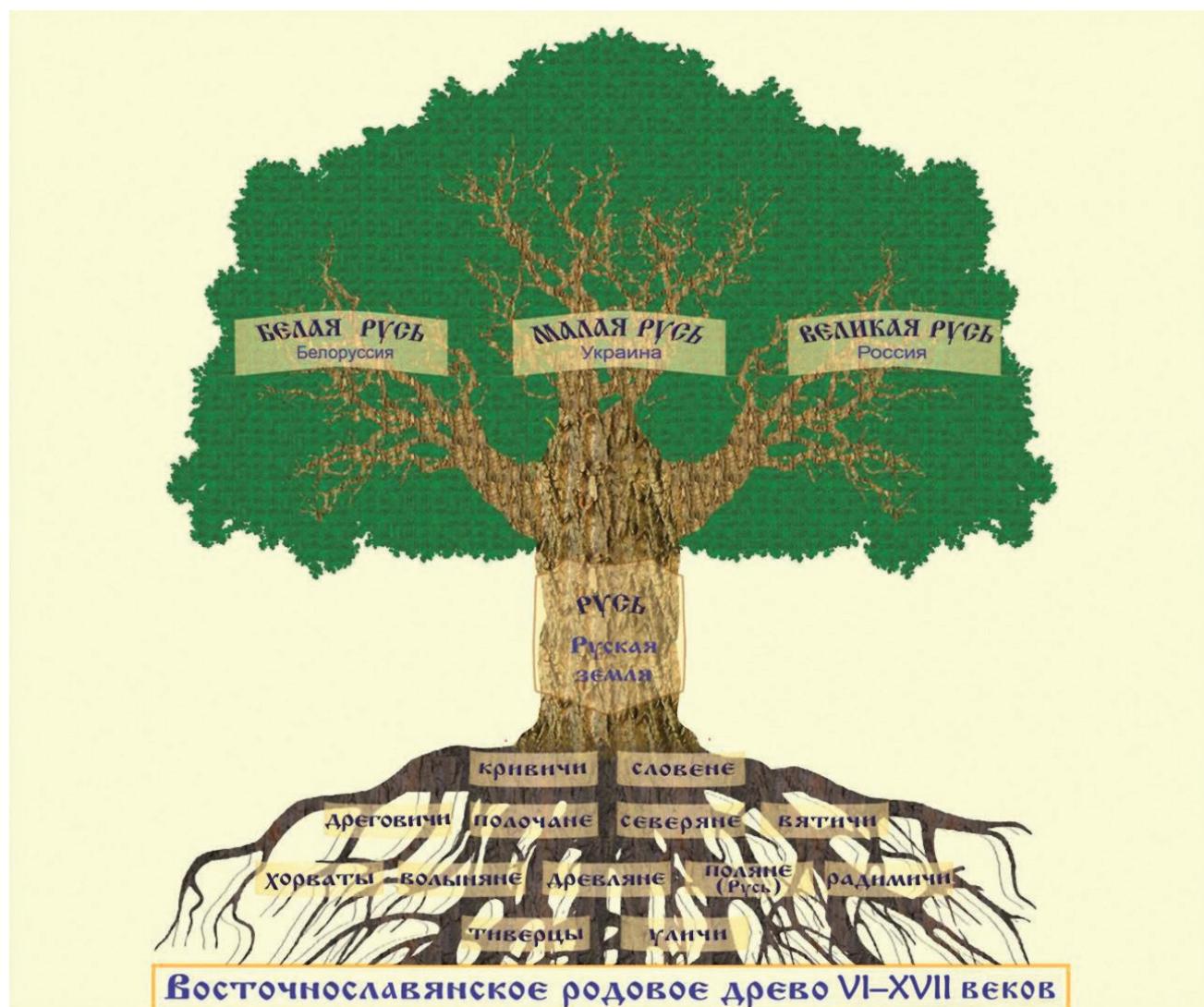
— Ну, не так уж и поздно. Конечно, мы не греки, не египтяне, мы вышли на историческую арену позже. Как и болгары, чехи, поляки и т.д. Да и Европа

не намного раньше появилась. Она оказалась вовлеченной в античную цивилизацию за счет Римской империи. Поэтому не переживайте, мы в нормальное время вышли на историческую арену.

В конце V — начале VI в. произошло разделение славян на три ветви — восточных, западных и южных. Появляются языки: восточнославянский, южнославянский и западнославянский. VI–X вв. — это было время, когда зарождалась восточнославянская цивилизационная общность, сначала языческая, а потом, при Владимире Святославовиче, христианская. У меня есть образ нашей истории. Это родовое древо, у которого мощное корневище — 12 восточнославянских племенных объединений: поляне, древляне, северяне, радимичи и т.д. Потом это все выходит в мощный ствол — это Русь, «Русская земля». Этот визуальный образ я называю «моя икона».

— **Как возникло государство Киевская Русь? Актуальны ли сегодня споры по поводу норманнской теории?**

— Оно и образовалось из этих крупных 12 межплеменных союзов. На определенном этапе они слились в единое государство. Сторонники норманнской теории говорят, что пришли к нам норманны и все устроили. В действительности ничего они не устроили. Да, они пришли, но «наложились» на ту структуру, которая уже существовала до них. Приходит Рюрик в Ладогу, а Ладога уже есть, приходит к Новгороду, там свой городок, когда его люди идут по Днепру вниз, оказывается, уже и Смоленск есть, и Любеч... Приплывают к Киеву, и тут городок есть, и они спрашивают: «Чей се городок?» Им рассказывают, что «были три брата: один по имени Кий, другой — Щек и третий — Хорив, и сестра их — Лыбедь. <...> и построили город в честь старшего своего брата, и назвали его Киев» («Повесть временных лет». — Примеч. ред.). Где они ни появлялись, там уже была своя политическая, территориальная и административная структура. Характерно, что эти 12 племен затем выросли в 12 древнерусских





Основание Киева. Миниатюра из Радзивилловской летописи.

княжеств. Больших крупных княжеств на Руси тоже было примерно 12. Границы их не совсем совпадали, но тем не менее их столицами стали старые племенные центры — Киев, Чернигов, Смоленск, Ростов, Владимир, Суздаль... Варяги очень умело наслоились на эту структуру, дали Руси династию. Вот так и возникало это государство.

— Почему князь Владимир Святославич выбрал именно православие в качестве государственной религии? Как бы развивалась история, если бы он выбрал мусульманство или католичество?

— В соответствии с церковной теорией произошло единовременное всеобщее прозрение народа, а с исторической точки зрения это, конечно, был выбор. Ни Владимир, ни его окружение не знали монотеистических религий. Чтобы склониться к одной из них, они должны были испытать веру. В летописи есть повесть об испытании веры. Это был длительный процесс, приходили миссионеры из Волжской Булгарии, латиняне, иудеи, греки... Владимир склонился к греческой вере. И это был уже финальный этап христианизации Руси. Первые христиане у нас появились еще при Аскольде и Дире в середине IX в., когда они совершили поход на Константинополь и какая-то часть дружины приняла христианство. В 959 г. в Константинополе приняла крещение княгиня Ольга. И завершающий этап — это Владимир Святославич. По существу, выбор был сделан раньше, но это надо было легализовать. Когда он склонился к христианству, он спросил своих бояр: «Где веру примем?» И сам ответил: «В Корсуни». И русские дружины пошли походом на Херсонес. Он, как и все Крымское Причерноморье, принадлежал Византийской

империи, и там была своя Херсонесская митрополия. И для Владимира было чрезвычайно важно принять крещение именно там. А еще сопроводить крещение браком с византийской царевной Анной. Это было очень значимое событие для Руси. Князь женился на сестре византийских императоров, стал их родственником и, по существу, ровней. Русь вошла в византийское православное содружество наций.

Что было бы, если бы приняли католичество или мусульманство? Трудно сказать, но мне кажется, что ход исторических событий был таким, что ничего другого быть не могло. Константинополь в X в. был город мирового значения, столица Византийской империи. Здесь развивались архитектура, литература, философия, юриспруденция. Они поставляли роскошные шелка всем царствующим дворам. Это была привлекательная страна. Поэтому я считаю, что выбор был оптимальным. Русь очень быстро, буквально за полстолетия, вошла в число наиболее развитых европейских государств.

— Почему Киевская Русь стала распадаться в XII–XIII вв.? И в чем причины «феодальной раздробленности», как называли этот период в советских учебниках?

— В советское время действительно возобладала теория распада, феодальной раздробленности. Мне кажется, это было заблуждение. К сожалению, и мой учитель, Б.А. Рыбаков, разделял теорию, что на Руси образовалось 15 отдельных княжеств-королевств. Я считаю, что структура власти и форма государства в древнее время была другая. Это была федерация единого княжеского рода. Все его члены были братьями, потом они переженились, род Рюриков разветвился, каждому нужно было

дать стол, каждый претендовал на Киев. Юридическая практика не выработала четкого юридического престолонаследия, и поэтому между князьями были споры. Да, они воевали, но их «войны» были скорее похожи на своеобразные рыцарские турниры на полях.

— **То есть не было этой страшной междуусобицы, когда брат шел на брата?**

— Летописец пишет: «Была кровавая сеча», но жертвы в ней исчислялись несколькими человеками. Как таковой раздробленности не было. Распада государства не было. Оно существовало в федеративной форме, скрепленной единой княжеской семьей, единой верой, централизованным церковным управлением. Митрополит Киевский и всея Руси был безоговорочным авторитетом на всем древнерусском пространстве.

Отец Александра Невского сначала был князем Переславля Русского, потом Переславля Залесского, потом Новгорода, а потом, в 1236–1237 гг. — великим князем Киевским. И так многие князья бывали на нескольких столах.

О единстве Руси свидетельствует вся материальная культура — одинаковые храмы, жилищная архитектура и т.д. В распавшейся стране этого не могло быть. Поэтому я смотрю на Русь вплоть до монголо-татарского нашествия как на единое государство. Мы не знаем, чем бы все закончилось, не будь этого нашествия. Оно разорвало, разрушило эту великую страну.

— **И очень надолго.**

— Да, лет на 300. А в это время начало подниматься Великое княжество Литовское, воспользовалось и прирезало юго-западные земли Руси, а потом Польша часть прирезала, ну а часть осталась в Золотой Орде — Северо-Восточная Русь. Она, кстати, раньше других освободилась от зависимости, и там начало прорастать централизованное государство. Северо-Восточная Русь дольше всех сохраняла династию Рюриковичей, вплоть до Федора Иоанновича. Потом Романовы с Рюриковичами даже породнились.

Это мой взгляд на историю, за который меня ругали в свое время. Даже мой учитель Б.А. Рыбаков был очень мной недоволен. Но сейчас эта точка зрения если не возобладала, то уже многие склоняются к тому, что государство оставалось, оно не было централизованным и изначально формировалось как семейная федерация. И таким оставалось до монголо-татарского нашествия.

— **А как произошло смещение центра из Киева в Москву?**

— Возвышение Москвы произошло позже. Сначала было возвышение Владимира, еще во времена Киевской Руси, когда им правил авторитарный князь Андрей Боголюбский, которого у нас на Украине называют «москалем». Хотя его отец Юрий Долгорукий и дед Владимир Мономах были «украинцами». Он не только хотел возвысить Владимира над другими княжествами, но и совершил первую попытку в истории Киевской Руси разделить Русскую церковь на две митрополии. Но это ему не удалось.



Крещение Владимира Святославича. Миниатюра из Радзивилловской летописи.

Потом при его младшем брате князе Всеволоде Большое Гнездо княжество Владимирское достигло наивысшего могущества. Но все равно даже при авторитарных личных качествах этих князей переместить политический центр из Поднепровья на Северо-Восток они не могли. Перемещение окончательно произошло уже после разорения Киева, когда он перестал быть политическим центром, а вскоре и церковным.

— **Как это случилось?**

— В 1299 г. митрополит Киевский Максим, как сказано в летописи, «не терпя татарского насилия», со всем двором и клиром переселился во Владимир на Клязьме. Но при этом, как и раньше, считался митрополитом Киевским и всея Руси.



Князь владими́ро-сузда́льский Ярослав Всеволо́дович. Фреска церкви Спаса на Нередице близ Новгорода, XIII в.

Константинополь узаконил митрополичий престол во Владимире, но сказал: «Да, пусть будет Владимир центром Русской митрополии. Но если Киев останется цел, то первым седалищем митрополии Киевской и Русской все равно должен считаться Киев». Первое седалище — Киев, а кафедра митрополичья во Владимире. И местом упокоения митрополитов стал Владимир. С тех пор началось возвышение Владимира. Ну а затем начал подниматься Ярославль, а потом Москва.

— **А как сейчас трактуется такое событие, как Переяславская Рада 1654 г.?**

— Я уже говорил, что после монголо-татарского нашествия Киевская Русь была разорвана. С XIII по XV в. Украина входила в состав Великого княжества Литовского. А в 1654 г. произошло воссоединение части южнорусских земель с уже централизованным Московским государством.

Это был не просто единовременный акт прозрения, но длительный и сложный процесс. В XVI в. Литва и Польша объединились в Речь Посполитую. Южнорусская часть бывшей территории Руси тяготилась своим вхождением в Европу. Государственный язык польский, церковь католическая, была реальная угроза потерять идентичность, вероисповедание и просто свою культуру. С помощью Богдана Хмельницкого, достаточно кровавой войны 1648–1654 гг., украинцы вырвались из «братских объятий» Речи Посполитой. Сейчас некоторые наши историки не очень привечают Богдана Хмельницкого за этот поступок, но он для Украины был спасительным. Конечно, это воссоединение, или присоединение, как угодно, не было равноправным объединением. Мои предки это понимали и тем не менее просились под царскую «высокую руку», под защиту. Они посылали посольства в Москву на протяжении первой половины XVII в. и в 1654 г. обрели автономию в составе Русского государства. Мы знаем, что в той части, которая вошла в состав Русского государства, Украина имела государственность, свои управленческие структуры, гетмана. В той части, что осталась в Польше, ничего подобного не было.

Гетманы ездили в Москву, Мазепа — это Малороссийский квартал, где останавливались малороссийские посольства. Сейчас многие украинские национал-патриоты говорят, что мы были колонией России. В действительности никогда Украина колонией России не была. Мы были полноправными соучастниками и соавторами всего, что совершилось на большом постдревнерусском пространстве.

— А как происходило подписание договора в Переяславле?

— Утверждают, что там присутствовало немного людей, не было принято никакого юридического документа. И это чистая правда. Переяславль был небольшой полковой город, и нельзя сказать, что там было огромное население. А юридических документов там и не надо было принимать, потому что они были приняты до этого. Были прошения Богдана Хмельницкого о переходе под царскую «высокую руку» Войска Запорожского и решение Земского собора, которые произошли в 1653 г. В Переяславле имел место присяжный акт. 21 марта 1654 г. царь и Боярская дума утвердили «Статьи Богдана Хмельницкого», которыми определялся статус Гетманского государства в составе Русской державы.

— Петр Петрович, есть довольно распространенное мнение, что история — это не наука, что исторический факт и миф — в сущности одно и то же, что миф имеет такое же право на существование, поскольку уже овладел умами большого количества людей, вошел в обиход. Что вы об этом думаете?

— Это очень хороший вопрос. И, вы знаете, по счастливой случайности я сейчас занимаюсь этой проблемой — проблемой исторической памяти. Должен вам сказать, что историческая память всегда в значительной степени мифологизирована. Реальная историческая память — это та, которая находится в летописях, академических изданиях, трудах серьезных историков, документах, археологическом материале. Все остальное — это уже не совсем историческая память, ее можно назвать этнической, национальной, социальной, патриотической. Но это уже та память, которая нам нужна, которая нам нравится. Политесная. Вот как у нас сейчас создали Украинский институт национальной памяти и стерилизуют прошлое, создают новый исторический миф. Иногда в мифе что-то есть от реальной, исторической, объективной памяти, а иногда он совсем от нее уходит. Создается совершенно другой нарратив. У каждой страны есть какие-то мифы, которые немного расходятся с фактами, с реальной действительностью.

Знаете, что я заметил? У нас на протяжении 28 лет создавался и продолжает создаваться миф Украины-жертвы, украинцев — жертвенного народа, который вечно был кем-то обижаемым. Вот такой страдательный миф народа-мученика. Я борюсь с этим мифом и никак не могу доказать властям предрержащим и псевдопатриотам, что это плохая услуга Украине, ее народу. Этот миф воспитывает у народа комплекс неполноценности, социальной несостоятельности. И я заметил, что успешные народы создают позитивные исторические мифы, а неуспешные — негативные. Вот так бы я вам ответил на ваш вопрос.

— Марксистский подход к истории давал четкую методологию в оценке исторических событий, роли личности в истории и т.д. А сейчас какая методология в основе оценки исторических событий? И нужна ли она в таком виде?

— Методология всегда важна и нужна. Какое-то магистральное направление должно быть. Не знаю, вложили ли вы в понятие марксистской идеологии иронический смысл...

— Нет.

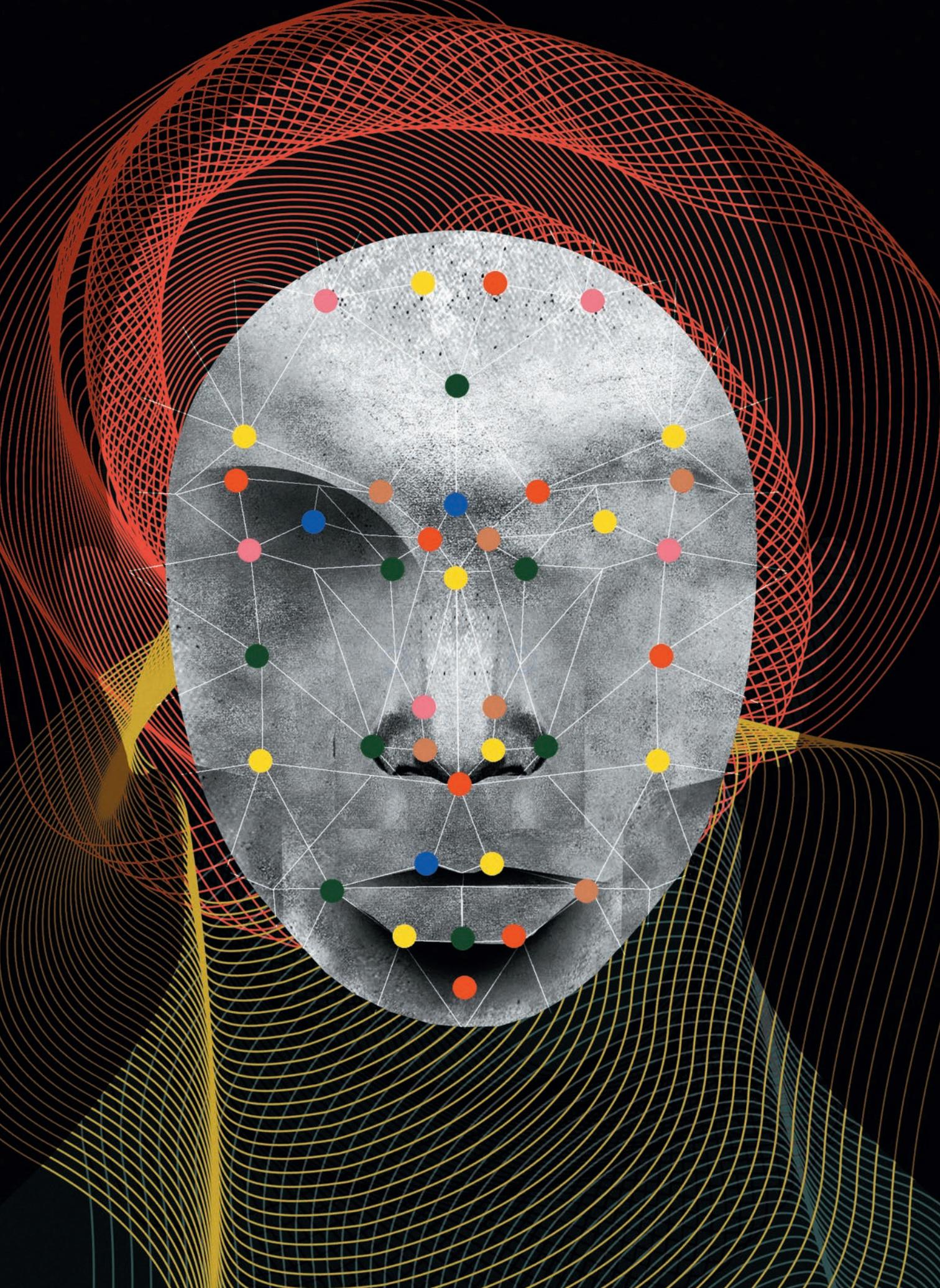
— Но я отношусь к ней очень позитивно. У меня есть книга «Археология и древняя история (в защиту исторического марксизма)». Это была очень стройная формационная теория, от первобытности до социалистического периода. И за эти почти 30 лет наша философская и историческая мысль ничего умнее не придумала. Придумывали какие-то цивилизационные периодизации. Но что это такое? Цивилизация тянется от Владимира, скажем, до сегодня. Как ее разделить на этапы? А тут объясняются социально-экономические сочленения. Когда я писал эту книгу, обнаружил, что Маркс и Энгельс, по существу, базировали свою историческую периодизацию на археологической периодизации. Поэтому, как говорил Ленин, «Учение Маркса всесильно, потому что оно верно». Я марксист.

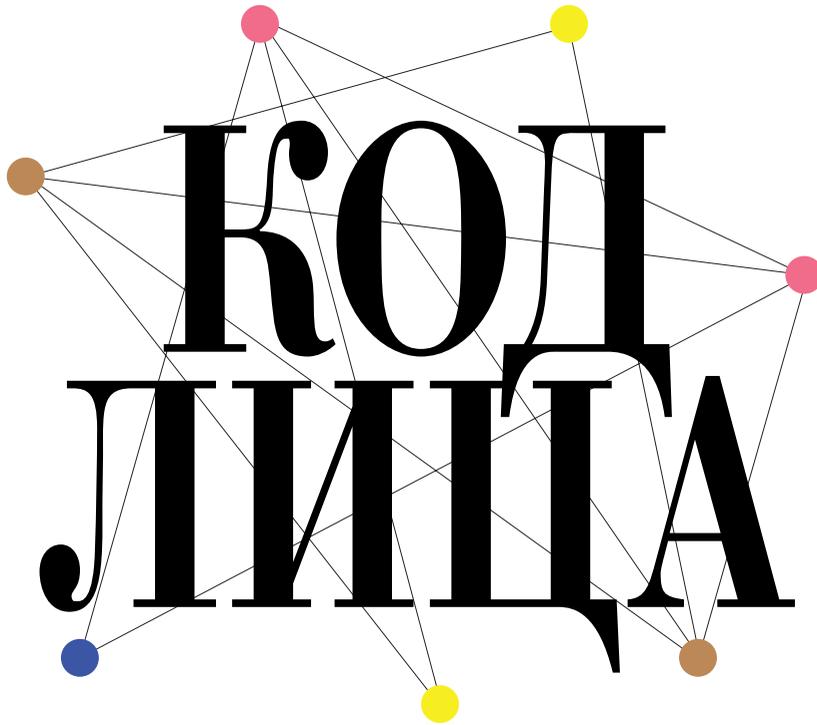
— У вас есть любимый историк? Н.М. Карамзин, С.М. Соловьев, В.О. Ключевский?.. Кто из них?

— У меня много любимых историков. Мне очень нравится Н.М. Карамзин. И хотя я сейчас читаю его труды и ничего, кроме пересказа летописей, не нахожу, но он — один из первых. До него, правда, был еще В.Н. Татищев. И потом были очень крупные историки, например С.М. Соловьев. Я недавно нашел у него цитату по поводу этики историка. Я сейчас точно не вспомню, но он говорит, что наука — вещь очень неспешная. И жизнь не должна ей диктовать, что делать. Это жизнь должна учиться у науки, а не наоборот. Но если под жизнью подразумевать сильных мира сего, то все становится на свои места. Не диктуйте, пусть историки сами разберутся...

Ну а из ближних — это, конечно, мой учитель Б.А. Рыбаков. У меня были очень хорошие отношения с крупнейшим ученым Д.С. Лихачевым. Когда он приезжал в Киев, я всегда водил его по всем храмам, раскопкам. Я пришел к пониманию того, что учитель — не тот, который учит, а тот, у которого учатся. И неважно, что мне не читали лекции ни Б.А. Рыбаков, ни Д.С. Лихачев, но я у них учился. Не знаю, признали бы они меня за своего ученика, но это так и есть. ■

Беседовала Ольга Беленицкая





Изучая области мозга, участвующие в распознавании лиц, мы сможем лучше разобраться в нейронных механизмах зрения

Дорис Цао

Учась в старших классах, однажды на введении в высшую математику я узнала о плотности кривых. Простая пара дифференциальных уравнений для моделирования взаимоотношений хищников и жертв может дать бесконечное количество замкнутых кривых — концентрических окружностей, вложенных одна в другую, как на мишени. Более того, их плотность меняется в зависимости от их расположения.

Последний факт показался мне странным. Я легко могла представить себе конечный набор кривых, располагающихся все более плотно или, наоборот, все реже. Но как бесконечное количество кривых может быть плотнее в одном месте и реже в другом? Вскоре я узнала, что бесконечность бывает разная и может иметь парадоксальные свойства, как Гранд-отель Давида Гильберта (где все комнаты заняты, но всегда можно разместить нового гостя) или яблоко Банаха — Тарского (которое можно разрезать на пять частей и составить из них два яблока того же объема, как у исходного). Я часами сидела над этими математическими выкладками. Они казались мне магией символов, не имеющей практического значения, но зерно интереса уже пустило свои корни.

ОБ АВТОРЕ

Дорис Цао (Doris Y. Tsao) — профессор биологии в Калифорнийском технологическом институте и исследователь в Медицинском институте Говарда Хьюза. Кроме того, она директор Центра системной нейробиологии Тяньцяо и Крисси Чэнь в Калтехе. В октябре 2018 г. она получила стипендию Фонда Макартуров.



Позже, уже во время учебы в Калифорнийском технологическом институте, я узнала про эксперименты Дэвида Хьюбела (David Hubel) и Торстена Визеля (Torsten Wiesel) и их знаменитое открытие, как область мозга, называемая первичной зрительной корой, выявляет границы у изображений, воспринимаемых глазами. Я поняла, что именно озадачивало меня тогда, в старших классах: это были попытки представить себе разную плотность бесконечности. В отличие от тех математических трюков, которые я изучала в старшей школе, границы, описанные Хьюбелом и Визелем, обрабатывались нейронами, то есть они на самом деле существовали в мозге. Я поняла, что нейробиология зрения позволяет выяснить, как нейронная активность порождает осознанное восприятие кривой.

Осознав это, я испытала неопишемое воодушевление. Я считаю, что на каждом этапе жизни у человека есть некая задача. И задача студента колледжа — мечтать и найти то, что завладеет его сердцем и покажется достойным, чтобы посвятить этому жизнь. На самом деле, это важнейший шаг в науке — найти правильную проблему. Я была очарована проблемой зрения и приступила к поискам, чтобы выяснить, как паттерны электрической активности в мозге могут кодировать зрительное восприятие объектов — не просто прямых и кривых линий, но и таких трудноопределяемых объектов, как лица. Для достижения данной цели требуется выделить те области мозга, которые участвуют в распознавании лиц, и расшифровать исходные нейронные принципы, то есть схему электрической активности, с помощью которой узнаются окружающие люди.

Мой путь к открытиям начался в магистратуре Гарвардского университета, где я изучала стереопсис — механизм, благодаря которому из-за неодинаковости поступающего к глазам изображения возникает восприятие глубины. Однажды я наткнулась на статью нейробиолога Нэнси Кэнвишер (Nancy Kanwisher), работающей сейчас в Массачусетском технологическом институте, с коллегами, где они сообщали об открытии области мозга человека, которая при проведении функциональной магниторезонансной томографии (фМРТ) значительно сильнее реагировала на картинки с лицами, чем на изображения каких-либо других объектов. Статья показалась мне фантастической. Я привыкла, что мозг состоит из частей с такими названиями, как «базальные ганглии» и «орбитофронтальная кора», и они имеют некую неопределенную функцию, о которой ученые еще только начинают догадываться. Концепция, что некая область специально предназначена для обработки лиц, казалась слишком четкой и потому нереальной. Любой человек может сделать разумное предположение о функции этой области — там, вероятно, должно быть представлено все разнообразие известных нам лиц и что-нибудь про их выражение и половую принадлежность.

В магистратуре я использовала фМРТ, чтобы выявить области, активизирующиеся при восприятии трехмерности изображения у обезьян. Я решила показать обезьяне фотографии разных объектов. Когда я сравнила активность в мозге обезьяны при восприятии лиц и предметов, то обнаружила несколько участков в височной коре (области мозга, расположенной за висками), которые

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Понимание механизмов зрения — одна из главных задач, стоящих перед нейробиологами.
- Существенная часть этой задачи — выяснить, как мозг распознает важнейшую социальную информацию — лицо.
- В определенных участках коры мозга, так называемых лицевых пятнах, расположены нейроны, предназначенные для распознавания лиц.
- Когда мы поймем, как работает эта система, мы сможем определить, какие вычисления производит мозг при распознавании лиц.
- Эти принципы работы нейронов могут послужить Розеттским камнем для понимания механизмов распознавания и других объектов, не обязательно лиц.

избирательно реагировали именно на лица, в частности такая активность наблюдалась в зоне *IT*, расположенной в нижней височной коре. Чарлз Гросс (Charles Gross), одним из первых исследовавший распознавание объектов, описал нейроны, реагирующие на лица в зоне *IT* у макака, еще в начале 1970-х гг. Но он считал, что эти клетки беспорядочно разбросаны по всей зоне *IT*. Мы с помощью фМРТ впервые показали, что клетки, отвечающие за распознавание лиц, могут быть сконцентрированы в определенных местах.

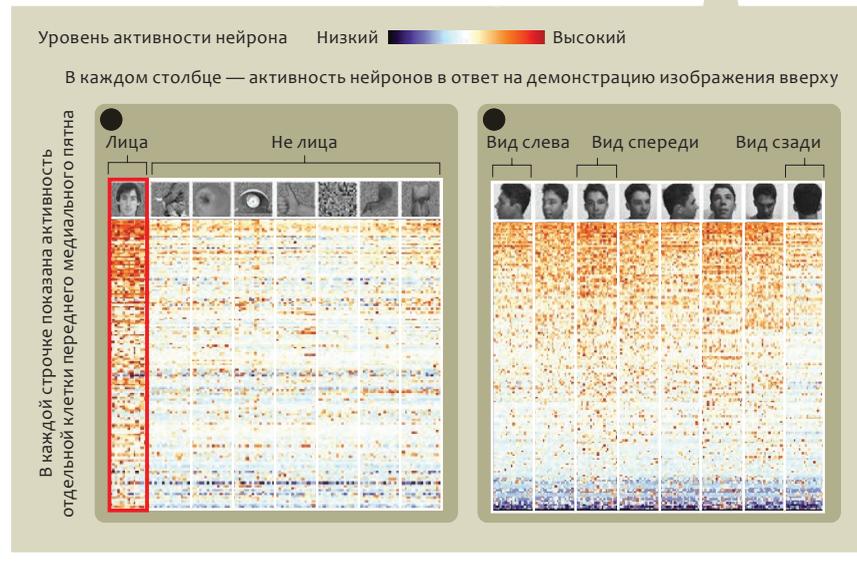
Лицевые пятна

После публикации данной работы меня пригласили рассказать о своем исследовании на собеседовании для соискания преподавательской должности в Калифорнийском технологическом институте, но тогда места мне получить не удалось. Многие люди скептически относились к результатам, полученным с помощью фМРТ, которая измеряет интенсивность кровотока. Они утверждали, что усиление кровотока в определенном участке мозга при взгляде на лица не означает, что нейроны в этой области кодируют информацию о лицах, потому что связь между кровотоком и электрической активностью неясна. Может быть, в этих лицевых пятнах случайно оказалось больше нейронов, реагирующих на лица, так же как айсберги на море группируются в произвольных местах.

Поскольку я работала с обезьянами, я могла рассеять сомнения, вживив электроды в область мозга, которая на фМРТ активировалась при предъявлении лиц, и посмотреть, какие изображения вызывают наиболее сильную активность отдельных нейронов в этой области. Я провела эксперимент вместе с Винрихом Фрайвальдом (Winrich Freiwald), который работал тогда научным сотрудником в лаборатории Маргарет Ливингстон (Margaret Livingstone) в Гарварде, где я была в магистратуре. Мы предъявляли лица и другие объекты

Где находятся детекторы лиц?

Система из шести узлов, расположенных в нижней височной коре (*IT*) обоих полушарий, специализируется на распознавании лиц. Такие «лицевые пятна» работают как сборочный конвейер: в средних латеральных и средних донных пятнах один нейрон может проявлять активность, если лицо повернуто прямо, другой может реагировать на лицо, смотрящее вправо. В конце конвейерной линии в переднем медиальном пятне разные виды объединяются. Нейроны в этом пятне реагируют в ответ на лицо конкретного человека, независимо от того, вид это спереди или сбоку. Лицевое пятно обезьяны реагирует на лица, но не на другие объекты (красные области на рисунке А), а также на повернутое под разными углами лицо одного и того же человека, например темноволосого мужчины (красные области на рисунке В).



обезьянам, регистрируя электрическую активность отдельных нейронов с помощью электродов. Чтобы отслеживать ответ нейрона в реальном времени, электрический сигнал преобразовывался в звуковой, который мы могли слышать из динамика в лаборатории.

У эксперимента был удивительный результат: почти каждая клетка в области, выявленной с помощью фМРТ, участвовала в восприятии лиц. Я помню восторг, когда во время первого эксперимента слушала, как нейроны один за другим трещат, сильно реагируя на предъявление лиц и очень слабо — на другие объекты. Мы почувствовали, что нашли нечто важное, участок коры, который поможет понять высокоуровневое кодирование, используемое мозгом во время зрительного восприятия. Ливингстон сказала по поводу лицевых пятен: «Вы нашли золотоносную жилу».

FROM "FUNCTIONAL COMPARTMENTALIZATION AND VIEWPOINT GENERALIZATION WITHIN THE MACAQUE FACE-PROCESSING SYSTEM," BY WINRICH A. FREIWALD AND DOBBS Y. TSAO, IN SCIENCE, VOL. 336, NOVEMBER 5, 2010 (Data grids and photo insets); Illustration by Body Scientific (brain)

Я также помню свое удивление во время первого эксперимента. Я ожидала, что в области, отвечающей за распознавание лиц, будут клетки, избирательно реагирующие на определенных особей, по аналогии с клетками в первичной зрительной коре, реагирующими на определенную ориентацию линии. Ведь в нескольких широко известных исследованиях показано, что отдельные нейроны могут удивительно избирательно реагировать на знакомые лица — например, исключительно на Дженнифер Энистон. Но вопреки моим ожиданиям каждая клетка, казалось, сильно реагирует на абсолютно любое лицо.

Во время первых экспериментов я усиленно работала с графическими программами и обнаружила, что клетки реагируют не только на лица людей и обезьян, но даже и на очень упрощенные нарисованные лица.

Тогда я решила задействовать нарисованные лица с 19 различными параметрами, которые, как казалось, имели отношение к узнаванию лица,

среди них в числе прочих были расстояние между глазами, соотношение ширины и высоты лица, высота расположения рта. Затем мы начали варьировать их значения — например, изменяли расстояние между глазами. На большинство лиц клетки реагировали, но, что интересно, для разных лиц частота разрядов нейронов могла отличаться. И такие различия были систематическими: когда мы записали активность клеток при разных значениях параметров картинки, мы обнаружили, что на одну крайность, например на самое маленькое расстояние между глазами, ответ был минимальным, а на другую крайность — наибольшее расстояние между глазами — ответ был максимальным, при промежуточном же значении параметра ответ был средний. Для каждой черты лица наблюдалась линейная зависимость интенсивности ответа от величины параметра.

Меня снова пригласили на собеседование в Калифорнийский технологический институт. Теперь я могла предложить нечто большее, чем просто фМРТ картинки. С добавлением новых результатов, полученных при регистрации отдельных нейронов, всем становилось ясно, что лицевые пятна существуют на самом деле и, видимо, играют важную роль в распознавании лиц. Более того, понимание лежащих в основе нервных процессов, вероятно, поможет решению более общего вопроса: как мозг распознает видимые объекты.

Главное — контраст

В Калифорническом технологическом институте мы с коллегами углубились в изучение распознавания лиц клетками. Вдохновение мы почерпнули из статьи Павана Синхи (Pawan Sinha), специалиста по вычислительной нейробиологии и нейробиологии зрения из Массачусетского технологического института. Он предположил, что лица можно узнавать благодаря контрасту между различными частями лица (например, область лба светлее, чем область рта). Синха предложил разумный способ определять, какие именно контрасты можно использовать

Форма + поверхность = лицо

Выявление лицевых пятен было лишь первым шагом. Затем необходимо было выяснить, что происходит с нейронами внутри каждого пятна, начать поиск способа, которым мозг кодирует лица. Чтобы получить количественные показатели для лиц, лаборатория Цао выделила 25 параметров для формы лица и 25 для наружных черт. Эти параметры могут оцениваться каждым нейроном в лицевом пятне — получается 50-мерное лицевое пространство. Особенности формы можно считать те, которые зависят от скелета: например, ширину головы или расстояние между глазами. Наружные черты — это поверхность лица (цвет кожи, глаз, волос и т.д.).

Форма: описывается положением (в координатах x, y) ключевых точек (желтые точки)



Наружные черты: различия в яркости после трансформации изображения к усредненной форме лица



для распознавания лица: те, которые не зависят от освещения. Например, «левый глаз темнее носа» — полезное свойство для распознавания лица, поскольку неважно, сфотографировано ли лицо, освещенное сверху, слева, справа или снизу, — левый глаз действительно всегда будет темнее носа (проверьте сами).

С теоретической точки зрения данная идея дает простой и элегантный механизм вычисления при распознавании лиц, и мы проверили, используют ли это клетки. Когда мы оценивали реакцию клеток на лица, изменяя яркость отдельных областей, мы обнаружили, что они, как правило, явно реагировали на наличие определенного контраста у изображения.

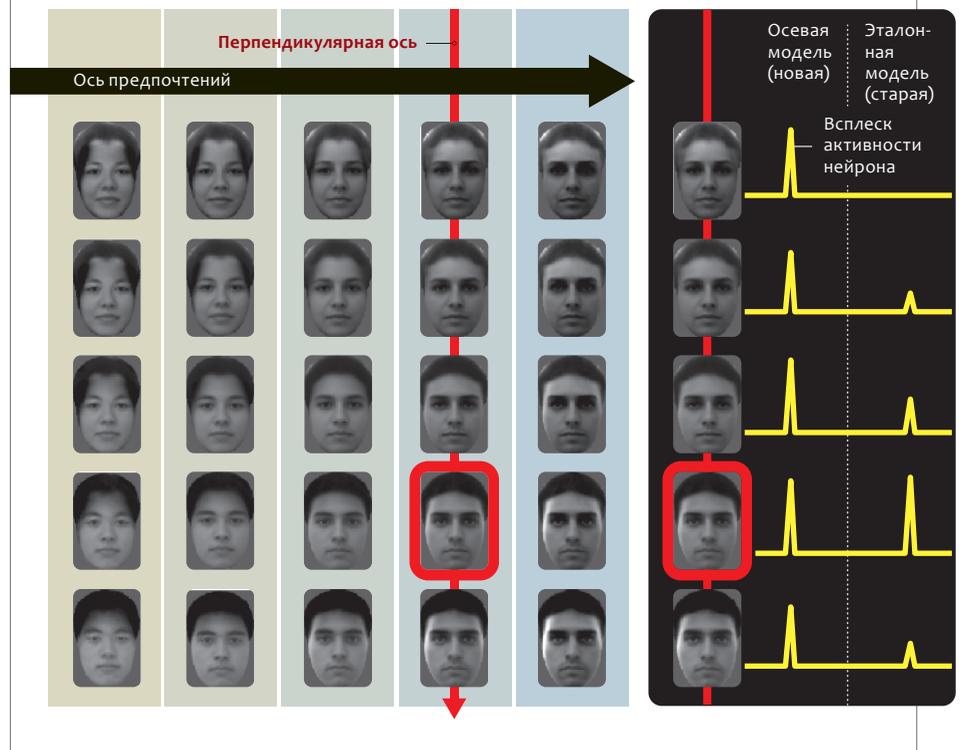
К нашему удивлению, почти все клетки были полностью одинаковы в своих предпочтениях — была найдена только одна, реагирующая противоположным образом. Более того, предпочтительными были именно те черты, для которых Синха определил независимость от освещения. Таким образом, в эксперименте подтвердилось, что клетки распознают лица благодаря контрасту.

В общем, результаты подтвердили, что эти клетки действительно были клетками, распознающими лица. Скептики могли бы спросить, откуда мы это знаем. Мы не можем проверить реакцию на все возможные стимулы. Как можно быть уверенным, что клетка отвечает за распознавание лиц, а не гранатов или газонокосилок? Полученный результат подтвердил нашу правоту. Точное совпадение предсказаний Синха с тем, как клетки реагировали на изменения контраста между различными участками лица, было поразительным.

В наших первоначальных экспериментах были выявлены два соседних участка коры, реагирующие на лица. Но при дальнейшем сканировании с использованием контрастного вещества, в несколько раз увеличивающего точность результата, стало ясно, что на самом деле в каждом из двух полушарий мозга имеется шесть лицевых пятен, — в общей сложности получается дюжина «золотых

И, наконец, код для лица

Имея 50 координат для формы и внешнего вида лица, можно описать нейронную активность в ответ на конкретное лицо — это описание функционирует как код, который можно представить геометрически. В соответствии с этим кодом каждая клетка, реагирующая на лицо, получает входящую информацию о лице в виде 50 координат, или измерений. В соответствии с положением лица на оси предпочтений нейрон реагирует на конкретное лицо (в красной рамке) с определенной интенсивностью. Вдоль оси предпочтений интенсивность реакции непрерывно (монотонно) возрастает. Более того, ответ будет одинаков для любого лица на оси, проходящей перпендикулярно оси предпочтений, даже если эти лица выглядят совершенно по-разному. Эта осевая модель кодирования лиц отличается от предыдущей эталонной модели, где предполагалось, что каждый нейрон проявляет максимальную активность на одно предпочитаемое им лицо.



жил». Они распределены по всей височной доле. Причем эти шесть участков были разбросаны по зоне IT не случайным образом. У всех животных расположение участков было одинаковым. Кроме того, мы и другие исследовательские группы обнаружили, что схожее расположение лицевых пятен в зоне IT существует и у людей, и у других приматов, в частности — у игрунок.

Одинаковое расположение лицевых пятен означало, что они могут быть организованы в единую линию обработки лиц. Если это так, то можно ожидать, что эти шесть участков будут связаны друг с другом и каждый из них будет выполнять свою собственную функцию.

Мы решили использовать слабую электрическую стимуляцию различных участков (микростимуляцию), пока обезьяна находилась внутри томографа. Цель состояла в том, чтобы увидеть, какие еще участки мозга активируются при стимуляции

Что видят 205 нейронов

Мы можем предсказать, как будут реагировать клетки на определенное лицо, взяв взвешенную сумму всех 50 координат лица. Чтобы по нейронной активности определить, какое лицо видит обезьяна, можно использовать обратный процесс: зная реакцию 205 распознающих лицо клеток, можно предсказать 50 координат, определяющих конкретные черты лица, и получить достаточно точную реконструкцию заданного лица.

Исходные изображения из базы данных



Реконструкция соответствующих лиц на основе нейронной активности

определенного лицевого пятна. Мы обнаружили, что всякий раз, когда мы стимулировали одно лицевое пятно, другие активировались, а окружающие их участки коры — нет. Это означало, что лицевые пятна сильно связаны друг с другом. Более того, мы обнаружили, что у каждого пятна есть свои функции. Мы предъявляли обезьянам фотографии 25 человек, каждый из которых был снят с восемью разными положениями головы, и записали реакцию клеток в трех областях: среднем латеральном пятне и среднем донном пятне (*ML/MF*), переднем латеральном пятне (*AL*) и переднем медиальном пятне (*AM*).

Мы обнаружили замечательные различия между этими тремя участками. В *ML/MF* клетки избирательно реагировали на определенное положение головы. Например, одна клетка отвечала на предъявление лиц, смотрящих вперед, а другая — на те, что смотрят влево. В *AL* клетки были не так узко специализированы. Один тип клеток реагировал на лица, смотрящие вверх, прямо или вниз, а другой — на смотрящие вправо или влево. В *AM* клетки реагировали на конкретных людей, независимо от того, было ли лицо повернуто прямо или

в профиль. Таким образом, в конце цепи (в участке *AM*) изображения лиц в разных положениях успешно объединялись в единое представление.

По-видимому, лицевые пятна действительно образуют единую конвейерную линию для решения одной из сложнейших проблем зрения — распознавания окружающих предметов несмотря на изменения в их облике. Автомобиль бывает любых марки и цвета, появляется под любым углом зрения, на любом расстоянии, может быть частично скрыт за более близким объектом, таким как дерево или другие машины. Распознавание объекта несмотря на все эти изменения называется проблемой инвариантности, и мы поняли, что основная функция сети лицевых пятен заключается в решении данной проблемы.

Учитывая большую чувствительность клеток лицевых пятен к изменениям лица, логично было ожидать, что, модифицировав реакцию клеток, можно повлиять на то, как животное определяет лицо. Нейробиологи Йозеф Парвизи (Josef Parvizi) и Каланит Грилл-Спектор (Kalanit Grill-Spector) из Стэнфордского университета электрически стимулировали область лицевых пятен у людей, которым были имплантированы электроды, для выявления эпилептического очага в мозге, и оказалось, что эта стимуляция искажает восприятие лица.

Мы заинтересовались, удастся ли нам обнаружить такой же эффект при стимуляции лицевых пятен у обезьян. Изменится ли при этом только восприятие лиц — или других объектов тоже? Разница между лицом и не лицом нечеткая: при желании можно увидеть лицо в рисунке облаков или в электрической розетке. Мы хотели с помощью электрической микроstimуляции точно выяснить, как лицевое пятно узнает лицо. Мы обучили обезьян реагировать определенным образом в зависимости от того, предъявляются ли им последовательно два одинаковых или два разных лица. Наши результаты подтвердили то, что ранее было показано на людях: микроstimуляция лицевых пятен сильно искажала восприятие, так

что животное реагировало на два одинаковых лица так, как будто они были разными.

Интересно, что микростимуляция не повлияла на восприятие многих объектов, непохожих на лица, но значительно повлияла на восприятие некоторых объектов, форма которых совпадала с формой лица, например яблок. Почему такая стимуляция повлияла на восприятие яблока?

Одно из возможных объяснений — что лицевые пятна обычно используются для распознавания не только лиц, но и других округлых объектов. Другая гипотеза — что лицевые пятна обычно не используются для распознавания таких объектов, но из-за стимуляции яблоко стало восприниматься как лицо. Пока остается неясным, задействованы ли лицевые пятна в восприятии нелицевых объектов.

Взлом кода

Разобраться в устройстве системы лицевых пятен и свойствах расположенных там клеток было большим достижением. Но когда мы впервые начали регистрировать активность в лицевых пятнах, я мечтала добиться большего. Я предчувствовала, что благодаря этим клеткам мы сможем взломать код, который использует нервная система для распознавания лиц, — то есть сможем понять, как отдельные нейроны обрабатывают изображения лиц на уровне конкретных деталей, и предсказать реакцию клеток на любое предъявляемое лицо или по одной лишь нейронной активности определить свойства любого воспринимаемого лица.

Главная задача заключалась в том, чтобы найти способ количественного описания лиц с высокой точностью. Лэ Чан (Le Chang), сотрудник моей лаборатории, блестяще придумал использовать идею из области машинного зрения, которая называется «активная модель внешнего вида». При таком подходе лицо будет иметь два набора описаний, первый для формы, а второй для наружных черт. Формой считается то, что зависит от скелета: например, насколько широка голова и каково расстояние между глазами. Наружные черты — это строение поверхности лица (цвет кожи, глаз, волос и т.д.).

Для того чтобы получить описания формы и поверхности, мы использовали большую базу данных, содержащую изображения лиц. На каждом лице мы разместили набор маркеров в ключевых точках. Пространственное расположение маркеров описывало форму лица. На основе этих разных форм мы вычислили «среднее лицо». Затем мы изменили каждое лицо в базе данных так, что в ключевых точках оно полностью совпадало с усредненным. Полученные изображения различались только поверхностью лица при одинаковой форме.

Затем мы применили метод главных компонентов отдельно для описаний формы и поверхности

для всего набора лиц. Это математический метод, позволяющий в большом наборе данных находить те измерения, которые изменяются сильнее всего.

Взяв 25 самых ключевых компонентов для формы и 25 для поверхности, мы создали 50-мерное пространство, описывающее лицо. Это пространство похоже на наше обычное трехмерное, но каждая точка представляет собой лицо, а не место в пространстве, и там значительно больше трех измерений. В трехмерном пространстве положение каждой точки описывается тремя координатами (x, y, z). Для 50-мерного пространства лиц каждая точка описывается 50 координатами.

Мы нарисовали случайные 2 тыс. лиц и предъявляли их обезьяне, регистрируя активность клеток в двух лицевых пятнах. Обнаружилось, что абсолютно все клетки дают градуированные ответы, линейно уменьшающиеся или возрастающие для набора из 50 особенностей, аналогично тому, что было в моих предыдущих экспериментах с нарисованными лицами. Но у нас появились новые соображения, почему это важно. Если клетка, реагирующая на лицо, линейно изменяет свою активность в ответ на изменение различных особенностей, ее реакцию можно приблизительно оценить просто как взвешенную сумму особенностей лица, вес которых определяется углом наклона отдельных функций. Другими словами: ответ клеток лица = весовая матрица \times 50 особенностей лица.

Затем мы можем просто инвертировать это уравнение, чтобы получить ту форму записи, которая позволяет нам определять предъявляемое лицо по величине клеточного ответа: 50 особенностей лица = $(1 / \text{весовая матрица}) \times \text{ответ клеток лица}$.

Поначалу уравнение показалось нам невероятно простым. Чтобы его проверить, мы использовали ответы на все 2 тыс. изображенных лиц за исключением одного, чтобы получить весовую матрицу, а затем попытались определить 50 особенностей неиспользованного лица. Удивительно, но предсказанное оказалось почти неотличимым от настоящего лица.

Беспригрешное пари

О нашем открытии способа реконструкции лиц по нейронной активности я рассказала на конференции в Асконе в Швейцарии. После моего доклада Родриго Квиан Кирога (Rodrigo Quian Quiroga), описавший в 2005 г. знаменитые клетки Дженнифер Энистон в медиальной височной доле у человека, а сейчас работающий в Лестерском университете в Англии, спросил меня, как мои клетки согласуются с его представлениями о том, что отдельные нейроны избирательно реагируют на лица определенных людей. Предполагается, что клетки Дженнифер Энистон, которые называют еще «нейронами бабушки», — это нервные клетки,

активирующиеся в ответ на лицо визуально знакомого человека, будь то знаменитость или близкий родственник.

Я ответила ему, что наши клетки могут быть строительными блоками для его клеток, не особенно задумавшись о том, как это будет работать. Той ночью я не могла уснуть из-за смены часового пояса и осознала огромную разницу между клетками, распознающими лица, в нашей и в его моделях. В своем докладе я описала, как наши клетки лица вычисляют силу ответа по взвешенным суммам различных особенностей лица. Посреди ночи я поняла, что это вычисление — то же самое, что и математическая операция под названием «скалярное произведение», которая геометрически представляется в виде проекции вектора на ось (как свет солнца проецирует тень флагштока на землю).

Вспоминая школьный курс линейной алгебры, я поняла, что мы можем построить большое «нулевое пространство» лиц для каждой клетки — серии лиц разных людей, которые лежат на оси, перпендикулярной к оси проекции. Более того, все эти лица будут вызывать у клетки совершенно одинаковый ответ.

А это, в свою очередь, означает, что клетки в лицевых пятнах принципиально отличаются от «нейронов бабушки». Это не соответствовало интуитивным представлениям, что клетки лица должны быть настроены на распознавание конкретных лиц.

В пять утра на следующий день я была первым человеком, вышедшим к завтраку. Я надеялась найти Родриго Кирогу и рассказать ему о контринтуитивных соображениях. Удивительно, что когда он наконец появился, то сказал мне, что у него возникла та же мысль. Тогда мы заключили пари, и Кирога согласился сформулировать условия так, чтобы я получила удовлетворение в любом случае. Если выяснится, что каждая клетка действительно одинаково реагирует на разные лица, я пошлю Родриго бутылку дорогого вина. С другой стороны, если предсказание окажется неверным, он пришлет мне вино в утешение.

В поисках ответа в нашей лаборатории в Калтехе Лэ Чан сначала определил ось предпочтений для одной клетки, используя ее ответы на 2 тыс. лиц. Затем, продолжая регистрацию ответов от той же клетки, он сгенерировал набор лиц, которые

можно было поместить на оси, перпендикулярной оси предпочтений этой клетки. Примечательно, что все лица вызвали у клетки одинаковый ответ. На следующей неделе Кирога получил бутылку превосходного «Каберне».

Оказалось, что клетки лица в зоне IT не кодируют узнавание определенной личности. Они осуществляют проекцию на ось, то есть гораздо более абстрактное вычисление.

Проведем аналогию с цветом. Цвета можно кодировать с помощью определенных названий, таких как «перванш» или «лазурь». Кроме того, их можно кодировать с помощью определенных комбинаций из трех чисел, показывающих количество красного, зеленого и синего в этом цвете. При использовании второй схемы элемент, осуществляющий проекцию на красную ось, будет подавать электрические импульсы с частотой, пропорциональной вкладу красного в цвет. Он будет одинаково активен для

Поскольку почти для всех основных функций мозга требуется взаимодействие с объектами, то, глубоко разобравшись в восприятии объектов, мы получим представление о работе всего мозга

коричневого и желтого цвета, в которых одинаковое количество красного, смешанного с другими цветами. Клетки лица работают по схожему принципу, но вместо трех осей у них 50. И оси кодируют не вклад красного, синего и зеленого, а степень отклонения формы или поверхности предъявленного лица от «среднего лица».

Казалось бы, тогда нейронов Дженнифер Энистон быть не должно, во всяком случае в зоне IT. Но отдельные нейроны, избирательно реагирующие на конкретных знакомых людей, все же могут работать в той части мозга, которая обрабатывает сигналы от клеток лица. В областях, где хранится память (в гиппокампе и соседних участках), могут иметься клетки, которые помогают человеку узнавать кого-то на основе предшествующего опыта, — вроде знаменитых «нейронов бабушки».

Таким образом, распознавание лиц в зоне IT основывается на наборе из примерно 50 чисел, отражающих измерения лица вдоль набора осей. И открытие такого простого кода, используемого для распознавания лиц, вероятно, помогает понять, как в мозге представлены визуальные объекты. Возможно, вся IT-зона организована таким же образом, как и система лицевых пятен, и содержит кластеры нейронов, кодирующих различные наборы осей для распознавания объектов. Сейчас мы продолжаем наши эксперименты, чтобы проверить эту идею.

Нейронный Розеттский камень

Если вы посетите Британский музей, то увидите потрясающий экспонат, Розеттский камень, на котором одна и та же надпись выбита трижды: на древнеегипетском языке иероглифами и египетским демотическим письмом и на древнегреческом языке. Поскольку филологи знали древнегреческий, они смогли использовать Розеттский камень для расшифровки древнеегипетских иероглифов и демотических знаков. Аналогичным образом лица, лицевые пятна и зона *IT* образуют нейронный Розеттский камень, который пока еще расшифровывается. Показывая обезьянам изображения лиц, мы обнаружили лицевые пятна и выяснили, как клетки в них находят и распознают лица. В свою очередь, зная принципы кодирования в сети лицевых пятен, может быть, однажды удастся понять, как устроена вся зона *IT*, и раскрыть тайну кода, используемого для более общего распознавания объектов. Возможно, в зоне *IT* содержатся дополнительные нервные сети, специализирующиеся на обработке других типов объектов, — как несколько конвейерных линий на фабрике.

Я надеюсь, что когда мы узнаем код для распознавания лиц, это поможет осуществить мою мечту со времен колледжа — описать, как мы представляем себе кривые. Затем, зная устройство лицевых пятен, мы сможем обучать животных воображать

лица и изучать нейронную активность, возникающую при чисто внутреннем акте воображения. Возникает множество новых вопросов. Будет ли воображение лиц вызывать активацию кода в лицевых пятнах? Будет ли воскрешаться в памяти предыдущее изображение с контуром и тенями, которое поступало в систему лицевых пятен? Теперь у нас есть инструменты, чтобы исследовать эти вопросы и лучше понять, как мозг видит реальные или воображаемые объекты.

Поскольку почти для всех основных функций мозга — сознания, зрительной памяти, принятия решений, речи — требуется взаимодействие с объектами, то, глубоко разобравшись в восприятии объектов, мы получим представление о работе всего мозга, а не только о зрительной коре. Мы еще только начали разгадывать тайну лица. ■

Перевод: М.С. Багоцкая

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- The Code for Facial Identity in the Primate Brain. Le Chang and Doris Y. Tsao in *Cell*, Vol. 169, No. 6, pages 1013–1028; June 1, 2017.
- How Do We Recognize a Face? Rodrigo Quian Quiroga in *Cell*, Vol. 169, No. 6, pages 975–977; June 1, 2017.
- The Face as Entryway to the Self. Christof Koch; *Consciousness Redux*, Scientific American Mind, January/February 2015.



Выходит 6 раз в год

Познавательный журнал для хороших людей

Дочь денисовца и неандерталки, по версии *Science*, — в десятке главных научных прорывов года

Изучение алтайского палеолита «взорвало» привычные представления о путях становления современного человечества

По мнению лауреата премии «Глобальная энергия» академика С. В. Алексеенко, наиболее перспективным энергетическим источником служит тепло земных глубин

Катастрофические вулканические извержения, влияющие на климат Земли, происходят чаще, чем считалось, — в среднем один раз в столетие

Древний и современный, многогранный и многоликий Китай глазами историка и археолога

www.scfh.ru



БИОЛОГИЯ

| ЦВЕТЫ | ПРИЗРАКИ |

Гены гавайских растений, исчезнувших
более века назад, возвращены из небытия.
И теперь мы можем наслаждаться
ароматом цветков этих деревьев

Роуэн Джейкобсен



Возвращение к жизни.

Левкадендрон Вайнберга (слева) исчез с лица Земли в 1806 г., в 1912 г. та же участь постигла горный гибискус, произраставший на острове Мауи (справа). Но современным биологам удалось выделить фрагменты ДНК из крошечных кусочков листьев этих растений, сохранившихся в гербариях, и воссоздать гены, чьи продукты создавали неповторимый аромат их цветков. Так, цветки одного из исчезнувших видов гибискуса пахли древесной корой и юниперолом, на их фоне слышались нотки лимона и чабреца.

ОБ АВТОРЕ

Роуэн Джейкобсен (Rowan Jacobsen) — журналист, автор нескольких научно-популярных книг, в том числе «Тени в Заливе» (*Shadows on the Gulf*, 2011) и «Устрица насущная» (*The Essential Oyster*, 2016), а также множества статей. В 2017–2018 гг. был обладателем стипендии Программы им. Найтов по научной журналистике в Массачусетском технологическом институте.



В 1912 г. на склоне кратера вулкана Халеакала на острове Мауи (Гавайские острова) стояло одинокое умирающее дерево. Его ствол высотой более 5 м оброс лишайником, в том году оно цвело в последний раз.

Жители Гавайев называли это дерево *hau kuaʻiwi* — «горный гибискус». В отличие от обычных гавайских гибискусов, которые произрастают на богатых влагой открытых пространствах, горный гибискус можно было встретить только на сухих, хорошо дренированных, покрытых лавой территориях, прилегающих к вулканам. Из пяти лепестков его цветков раскрывались только два, остальные сворачивались в трубочку, из которой с помощью своего изогнутого клюва добывали нектар гавайские цветочницы, певчие птицы-опылители.

На этом дереве уже давно нет никаких цветков. Гавайские цветочницы исчезли на рубеже XIX–XX вв. Разливы лавы вулкана Халеакала превратились в пастбища. Коровы искрошили лавовую корку. Крысы съели семена гибискусов.

Вернемся к началу прошлого века. Вверх по склону вулкана поднимается человек в ковбойской шляпе и одежде цвета хаки, с рюкзаком на спине. Это ботаник Джеррит Уайлдер (Gerrit Wilder), организатор экспедиции, которая обнаружила то самое одинокое дерево в 1910 г. В честь ученого его назвали *Hibiscadelphus wilderianus*. Найденный экземпляр был единственным оставшимся представителем своего рода, что и заставило Уайлдера вернуться к нему в 1912 г. Он сорвал последний цветок вместе с несколькими веточками и листьями, положил их в рюкзак и спустился вниз.

Вскоре дерево погибло, род *H. wilderianus* перестал существовать. Казалось, он исчез навсегда.

Однако наука не стояла на месте: разработка методов секвенирования ДНК позволила расшифровать гены давно умерших организмов и воссоздать их генетический материал. Предпринимаются

серьезные попытки вернуть из небытия странствующего голубя и мамонта. Реализуемость обоеих поисков зависит от успехов биотехнологии, ожидать которых придется еще много лет. А пока в одной из лабораторий в восьмизэтажном корпусе в Бостоне занимаются возрождением давно исчезнувшего горного гибискуса.

Группе специалистов в области генной инженерии в сотрудничестве с компанией *Ginkgo Bioworks* удалось воссоздать гены цветков, отвечающих за их запах, используя совершенно другую

Возрожденные гены. Из листьев растений, хранящихся в Гарвардском гербарии, были выделены фрагменты ДНК. Их соединили друг с другом в нужном порядке и получили гены левкадендрона Вайнберга (*Leucadendron grandiflorum* Salisb.) (1), горного гибискуса (*Hibiscadelphus wilderianus* Rock) (2) и растения из семейства бобовых (*Orbexilum stipulatum* [Torr. & A. Gray] Rydb.) (3), произраставшего когда-то на скалистых островках на реке Огайо. Воссозданные гены этих трех растений кодировали молекулы ароматических веществ, создающих запах их цветков. Запах четвертого растения, разновидности мирта (*Myrcia skeldingii* Proctor) (4), воссоздать не удалось.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Смерть есть смерть: когда с лица Земли исчезает последний экземпляр того или иного вида животных или растений, этот вид исчезает навсегда.
- Но гены умерших можно «воскресить» — что и показала группа биологов — и заставить их функционировать, то есть вырабатывать кодируемые ими биохимические соединения.
- Так были воссозданы гены цветков давно исчезнувших растений, и теперь мы знаем, как эти цветки пахли.



1



2



3



4

форму жизни, а именно дрожжи, и теперь мы знаем, как пахли цветки гибискуса, исчезнувшего более 100 лет назад. Подобно Одиссею, вызвавшему души из Аида и выпытавшему у них все, что его интересовало, ученые установили связь с чем-то давно исчезнувшим с лица Земли.

Это были не сами цветки, а нуклеотидная последовательность ДНК растения, которая отвечала за выработку пахучих веществ точно так же, как это происходило в природе. Данные вещества, попав в нос человека, посылают сигналы в головной мозг и вызывают такие же ощущения, как если бы человек нюхал цветки живого растения. И тогда возникает вопрос: можем ли мы, получив некое число генов исчезнувшего растения или животного, считать, что это растение или это животное не исчезло окончательно?

Аромат жизни

Как ни странно, проект «Воскрешение» (*Resurrection Project*) стартовал в 2014 г. в Риме на ежегодном съезде Международной федерации промышленно-сти эфирных масел и химических ароматизаторов (*IFEAT*), где Джейсон Келли (Jason Kelly), исполнительный директор компании *Ginkgo Bioworks*, хотел поднять бизнес. Келли и его коллеги окончили в 2008 г. Массачусетский технологический институт по редкой в то время специальности «синтетическая биология». Его компания тоже высокоспециализированная: в отличие от других, использующих какой-либо новый организм для получения ценного продукта — горючего, ароматического вещества, лекарства и многого другого, — *Ginkgo* намеревалась создавать и тестировать сотни их прототипов по заказу.

Многие клиенты *Ginkgo* — фармацевтические и парфюмерные компании; ингредиенты, из которых состоят их продукты, чрезвычайно дороги. Так, все пахучие вещества, используемые в парфюмерии, получают с помощью ферментов растений, а инструкции по их синтезу содержатся в специфических генах. Все живые организмы используют одинаковый четырехбуквенный код из азотистых оснований, А, Т, С и G, а геномы дрожжей и растений имеют множество сходных генов. Встроив «гены ароматов» в клетки особым образом модифицированных дрожжей, *Ginkgo* получают в чашке Петри их продукты.

На конференции Келли встретил одного из консультантов *Givaudan*, швейцарского гиганта парфюмерной промышленности, который рассказал ему о программе *Scent Trek*, в рамках которой в дождевые леса были направлены специалисты по сбору проб воздуха с пахучими веществами, выделяемыми цветками редких растений. Келли был заинтригован. Если *Ginkgo* получит эти пробы, компания сможет секвенировать гены ферментов, катализирующих синтез уникальных пахучих веществ. Но в ходе обсуждения у Келли возникла сумасшедшая идея: что если пойти дальше редких растений и заняться цветками исчезнувших видов?

«Это могло бы стать первым шагом к восстановлению утраченного биологического разнообразия, — подумал он. — Природе понадобилось 3 млрд лет для создания ДНК с самой разной нуклеотидной последовательностью в ходе процесса, который мы называем эволюцией. Но по пути многое было утрачено по самым разным причинам — в результате падения метеорита или чего-то еще.

И мы ничего не можем сделать? Для нас, биодизайнеров, такая ситуация непереносима!»

Изначально Келли задумывал проделать нечто подобное тому, что происходило в одной из серий фильма «Парк юрского периода»: выкопать цветок растения одного из ледниковых периодов из арктической вечной мерзлоты, секвенировать его гены и синтезировать те из них, которые отвечают за образование ароматических веществ, а затем встроить их в геном дрожже-

вых клеток. Последние начнут вырабатывать молекулы этих веществ, и Келли сможет изготовить духи *Extinction № 5*.

Это был очень смелый план. Некоторое число «древних» генов уже было воссоздано в разных лабораториях, но большинство «оживить» не удалось и никто не мог отдать им команду к синтезу соответствующих продуктов. Даже если бы *Ginkgo Bioworks* смогла реконструировать все необходимые гены, никто не давал гарантии, что они заработают в дрожжевых клетках. Кроме того, работники компании были и так перегружены и не горели желанием включиться в проект.

Выход нашла Кристина Агапакис (Christina Agapakis), креативный директор *Ginkgo*. Докторскую степень в области синтетической биологии

«Природа нашей планеты работала над эволюцией ДНК сотни миллионов лет. Позволим ли мы уничтожить плоды ее трудов? С точки зрения биодизайнеров, это было бы катастрофой»

Джейсон Келли, *Ginkgo Bioworks*



Засушенный лист *Hibiscadelphus wilderianus*

Воскрешение из мертвых

Возвращение генов к жизни не сводится к простым поискам древней ДНК. Найденный генетический материал нужно превратить в работающий ген, который экспрессировался бы с образованием кодируемого им продукта. Для этого он должен быть перемещен в новую клетку-хозяина, что и было проделано в случае исчезнувшего гавайского растения — горного гибискуса. Специалисты фирмы *Ginkgo Bioworks* встроили полученный ими ген в дрожжевую клетку, которая начала вырабатывать ароматические вещества согласно полученным инструкциям.

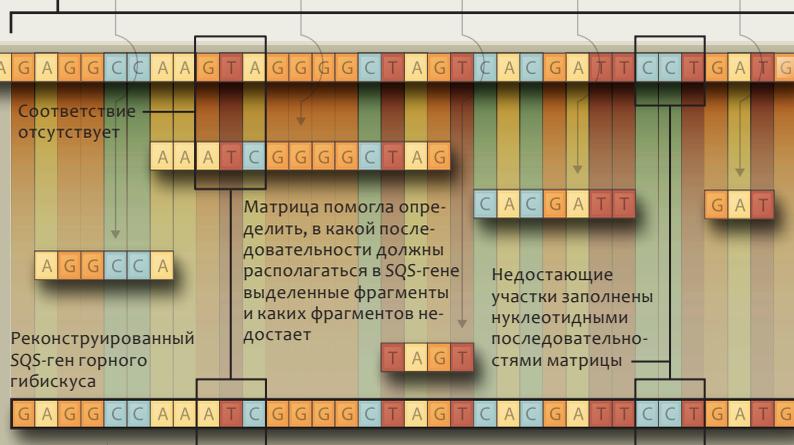
1 Из кусочков листа выделили фрагменты ДНК.

2 С помощью секвенирующего устройства определили нуклеотидную последовательность фрагментов.

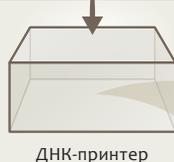


3 Ген, который ученые намеревались воссоздать, кодировал фермент под названием секвестерлен-синтаза (SQS); он осуществлял синтез большинства веществ, составляющих запах цветков исчезнувшего растения. Чтобы достичь намеченной цели, биологи идентифицировали нуклеотидные последовательности фрагментов ДНК, совпадающие с таковыми SQS-гена ныне существующих видов. Этот ген послужил матрицей, которая позволила определить взаимное расположение выделенных фрагментов исчезнувшей ДНК.

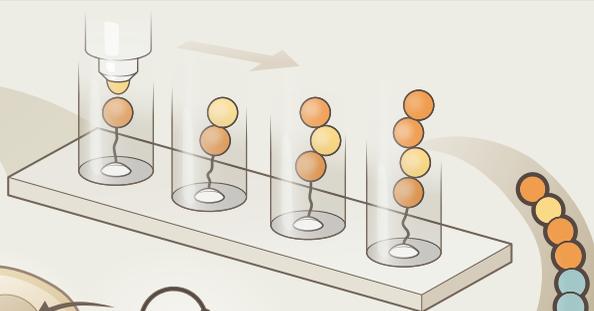
SQS-ген, послуживший матрицей



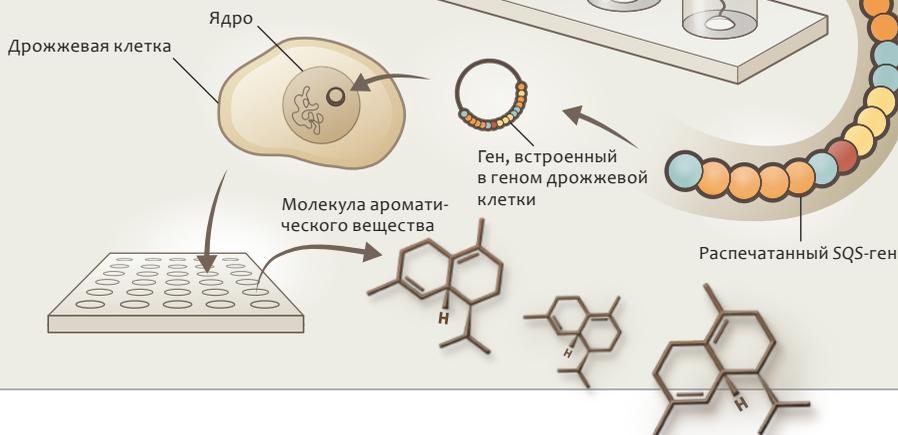
4 На основе реконструированной последовательности с помощью ДНК-принтера получили реальную ДНК — SQS-ген.



ДНК-принтер



5 Этот ген встроили в геном дрожжевой клетки, модифицированной так, чтобы обеспечить функционирование «чужака». Руководствуясь инструкциями, закодированными в SQS-гене, клетка начала синтезировать молекулы пахучих веществ, составляющих аромат исчезнувшего гибискуса.



Дрожжевая клетка

Ядро

Молекула ароматического вещества

Ген, встроенный в геном дрожжевой клетки

Распечатанный SQS-ген



Здесь возвращают к жизни. В одной из лабораторий компании Ginkgo Bioworks в Бостоне (1) ведутся работы по трансформации дрожжевых клеток, чтобы они могли вырабатывать несвойственные им вещества, например соединения, создающие аромат цветов исчезнувших растений. Одна из сотрудниц подготавливает клетки к тому, чтобы их геном мог встраивать сегменты чужеродных генов. Кристина Агапакис, руководитель проекта (3), получив вещества, кодируемые этими генами, может представить, как пахли цветки давно исчезнувшего растения.

она получила в Гарвардском университете, где занималась оптимизацией бактерий с целью получения с их помощью водорода. Ее очень заинтересовало исследование, которое связывало природное с искусственным и наводило на интересные размышления о генетически модифицированных организмах. Запах цветка исчезнувшего растения — это то, что входило в круг ее интересов. Она начала с того, что связалась с экспертами по раскопкам в вечной мерзлоте, и те сказали, что восстановить целостный геном растения из его крошечных частиц, вмёрзших в лед, невозможно. С мечтами о ледниковом периоде пришлось распрощаться.

Прежде чем включиться в работу, Агапакис прошерстила интернет в поисках материалов, касающихся секвенирования ДНК исчезнувших растений. В конце длинного списка, который она составила, находилась статья в *Biological Journal of the Linnean Society*, посвященная музеомике — выделению ДНК из музейных экспонатов: растений и животных. Итак, никакая вечная мерзлота не была нужна, а нужны были гербарии.

В поисках ДНК

Гербарий Гарвардского университета, основанный в 1842 г., размещается в кирпичном здании на Дивинити-авеню. Все его многочисленные этажи заставлены пропащими формалином шкафами, в которых хранится более 5 млн образцов. Когда в 2016 г. Агапакис показала куратору свой список, тот высказался по поводу успеха поиска скептически. Да и что взять с этих засушенных растений, почему нужно изымать их из коллекции, если никакой выгоды это не сулит? Кроме того, по ним нет базы данных, и есть ли в гербарии исчезнувшие растения — неизвестно.

На то, чтобы все-таки получить разрешение на доступ к гербариям, у Агапакис ушло несколько месяцев. Дело сдвинулось с мертвой точки, когда она пообещала предоставлять генетический материал любого обнаруженного в гербарии исчезнувшего растения для научных исследований. Но найти эти растения ей предстояло самой, никто из персонала помогать не собирался. И она могла взять из найденного материала кусочек размером с ноготь мизинца.

Агапакис и Дон Томпсон (Dawn Thompson), возглавляющая в *Ginkgo* отдел секвенирования следующего поколения, распечатали список из 116 исчезнувших растений и начали поиски. Растения Гарвардского гербария были сгруппированы по семействам, а затем по географическому принципу, и сначала нужно было отправиться на соответствующий этаж, найти там ряды шкафов с нужным семейством, а затем — папки, соответствующие искомым регионам. Ряды шкафов казались бесконечными, а сами шкафы — забитыми всем,

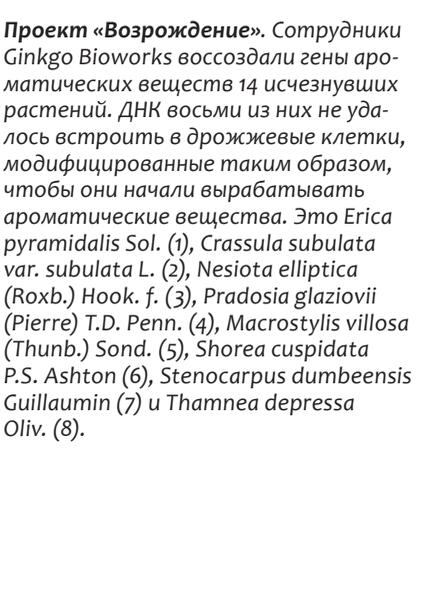
чем угодно, но только не тем, что искали Агапакис и Томпсон. Наконец, найдя отсек, посвященный Гавайским островам, Агапакис просмотрела папки и в одной из них обнаружила длинные веточки с красивыми широкими листьями и сплюснутой цветочной почкой. Надпись на листе гласила: «Флора Гавайских островов. *Hibiscadelphus wilderianus*». Агапакис будто ударило током. Вот оно, то самое исчезнувшее дерево!

В конце концов коллеги нашли 20 растений из своего списка, и в 14 случаях материала было достаточно, чтобы взять образцы. Под пристальным взглядом хранителя они отщипнули по кусочку от каждого экземпляра и поместили их в пластиковые контейнеры.

Дальше началось еще более трудное. После смерти растения или животного его ДНК деградирует. *Ginkgo* предстояло разыскать крошечные фрагменты ДНК в целлюлозной массе — иголку в стоге сена. А материала хватало только на несколько попыток. Исследователи решили потренироваться на листьях дуба, собранных с деревьев на улицах Бостона. Но и это ничего не дало. Оборудование для секвенирования было самым совершенным, но выделить ДНК не удавалось. О получении ДНК исчезнувших растений из имевшегося материала нечего было и думать.

Для того чтобы продолжить работу, необходимо было раздобыть дополнительный материал, но никаких идей насчет этого не было. Примерно через месяц Келли встретился на одной из конференций с Бет Шапиро (Beth Shapiro), исполнительным директором Лаборатории палеонтологии Калифорнийского университета в Санта-Крузе. Ее сотрудники достигли больших успехов в выделении генетического материала из тканей древних организмов. Так, в 2016 г. они идентифицировали 0,01–0,05% геномной ДНК мамонта, останки которого были обнаружены в осадочных породах возрастом 5650 лет на дне озера на острове в Беринговом проливе. «Пришлите нам ваши образцы», — сказала Шапиро.

Томпсон тут же переслала пластиковые контейнеры с материалом Джошу Каппу (Josh Capp), одному из дипломников Шапиро. То, что Капп увидел, не вызвало у него оптимизма. Он измельчил каждый образец в пудру, чтобы увеличить суммарную площадь поверхности частиц, но сделать это было гораздо труднее, чем измельчить костную ткань, с которой он работал. И все же после многочисленных фильтраций и обработки химическими веществами, связывающимися с фрагментами ДНК, Капп получил желаемое. Он распределил материал по 14 микропробиркам и, поместив их в сухой лед, отправил в *Ginkgo*. Пропустив образцы через секвенатор, Томпсон получила нуклеотидные последовательности бесчисленного числа фрагментов длиной от 40 до 50 нуклеотидов.



Проект «Возрождение». Сотрудники Ginkgo Bioworks воссоздали гены ароматических веществ 14 исчезнувших растений. ДНК восьми из них не удалось встроить в дрожжевые клетки, модифицированные таким образом, чтобы они начали вырабатывать ароматические вещества. Это *Erica pyramidalis* Sol. (1), *Crassula subulata* var. *subulata* L. (2), *Nesiota elliptica* (Roxb.) Hook. f. (3), *Pradosia glaziovii* (Pierre) T.D. Penn. (4), *Macrostylis villosa* (Thunb.) Sond. (5), *Shorea cuspidata* P.S. Ashton (6), *Stenocarpus dumbeensis* Guillaumin (7) и *Thamnea depressa* Oliv. (8).

Реконструкция в действии

Но принадлежит ли какой-либо из этих фрагментов искомому «древнему» гену и можно ли их соединить должным образом? Исследователям *Ginkgo* нужно было получить гены — длиной примерно 1,7 тыс. нуклеотидов каждый, — которые кодируют ферменты под названием сесквитерпен-синтазы (SQS), отвечающие за синтез ароматических соединений — источника запаха цветков гибискуса.

Если бы они располагали копиями данных генов и использовали их в качестве матриц, они могли бы локализовать эти фрагменты. И здесь на помощь пришла эволюция. Природа никогда не изобретает что-либо на пустом месте. Новые виды — это продукт эволюции старых, их гены — результат модификации генов-предшественников. И большинство генов ферментов SQS современных растений содержат множество сегментов, сходных с соответствующими сегментами генома прародителей. Цзюэ Ван (Jue Wang), специалист в области вычислительной биологии, должен был воссоздать SQS-гены исчезнувшего вида гибискуса, опираясь на данный принцип. Это было похоже на попытку восстановить утраченную версию Библии, руководствуясь версией короля Англии Якова II и Новой международной версией.

Бит за битом Ван смоделировал искомые гены, заполнив пробелы перекрывающимися последовательностями современных версий. Предположим, что в имеющемся варианте библейского текста стояло предложение «В на...ле было С...о»; воспользовавшись версией короля Якова II, мы получим хорошо известный нам текст.

В конце концов Ван реконструировал 2738 версий генов цветков исчезнувшего растения. Разумеется, в этих версиях биологических текстов были опечатки. Могли ли они иметь функциональные последствия? Известно, что какая-нибудь одна неверная «буква» в ДНК иногда катастрофически сказывается на работе соответствующего гена, пример тому — мутация, ассоциированная с серповидноклеточной анемией. Но часто небольшие изменения в гене не влияют на выработку продукта. А иногда существенно различающиеся версии гена функционируют сходным образом. Если говорить о Библии, то тексты «В начале было Слово» (король Яков II) и «Слово было первым» (Послание) не совпадают побуквенно, но означают одно и то же. Ван не надеялся, что все его версии будут адекватны, и рассчитывал хотя бы на некоторые.

Для того чтобы это проверить, нужно было превратить генетические тексты, существовавшие только в компьютере Вана, в реальные нуклеотидные последовательности, что не составило труда при наличии ДНК-принтера, напоминающего 3D-принтер, но оперирующего азотистыми основаниями А, С, G и T, которые, соединяясь друг с другом в цепочку, образуют всем известную двойную

спираль. Такую ДНК часто называют синтетической, но она ничем не отличается от природной.

Эту ДНК встроили в геном полученных путем искусственного отбора дрожжевых клеток, которые должны были синтезировать молекулы ароматических веществ согласно полученным инструкциям. В течение нескольких дней колонии инкубировали в крошечных контейнерах, и Скотт Марр (Scott Marr), молекулярный биолог из *Ginkgo*, с нетерпением ждал результата. По окончании ферментации Марр пропустил по одной пробе из каждой колонии через масс-спектрометр, способный идентифицировать минимальные количества молекул. Каждой их разновидности отвечал пик с определенным местоположением на ленте прибора. Задача Марра состояла в расшифровке набора этих пиков.

Он составил компьютерную программу с целью исключить пики веществ, представляющих собой обычные продукты жизнедеятельности дрожжей, и оставить те, которые отвечают SQS-продуктам. Первый результат оказался печальным: недрожжевые вещества отсутствовали. Второй — тоже. Было похоже на то, что в генетическом тексте, составленном из фрагментов ДНК гибискуса, содержалось слишком много опечаток и были пропущены целые параграфы, так что дрожжевые клетки не могли этот текст считать.

Но вот и удача: один SQS-пик, затем другой, третий. Марр, затаив дыхание, сопоставлял молекулярные «отпечатки пальцев» с базой данных по терпенам. Агапакис, сидя за столом, слушала, что докладывал ей Марр. С начала реализации сумасшедшей идеи прошло три года. Не раз за это время они с коллегами были на грани отчаяния. И наконец вот они — долгожданные молекулы, полученные в результате работы генов, исчезнувших более 100 лет назад!

Назад к реальности

Сконструированные *Ginkgo Bioworks* штаммы дрожжей смогли расшифровать гены трех разных исчезнувших растений и синтезировать кодируемые ими сесквитерпены. Несмотря на то что этих веществ было слишком мало, чтобы почувствовать их запах, о нем можно было составить представление, основываясь на запахе современных аналогов растений-призраков. Один из таких «призраков», некое растение из семейства бобовых, имевшее несчастье произрастать только на нескольких скалистых островках на реке Огайо, которые исчезли в результате строительства плотины в 1920-х гг., должен был иметь древесный, острый, бальзамический запах, если ориентироваться на его родственников XXI в.

Левкадендрон Вайнберга когда-то рос на каменистых холмах близ Кейптауна и в 1806 г. был окончательно вытеснен виноградниками. Аромат его

цветка на длинном стебле, с белыми лепестками и желтой серединой создавал 21 сесквитерпен; запах одного из этих веществ напоминал запах жасмина, другого — лимонника, третьего — конопли, четвертого — ромашки, пятый пах как куркума, шестой — как имбирь, седьмой — как хмель, и т.д. И вся эта невообразимая смесь ароматов относилась к цветку, который был известен как источник «крепкого неприятного запаха».

11 сесквитерпенов, составляющих аромат цветков *H. wilderianus*, горного гибискуса, исчезнувшего с лица Земли в 1912 г., никак не ожидали, что кто-нибудь возродит *hau kuaʻiʻiwi*, росший некогда на склоне вулкана Халеакала на Мауи. Но жизнь распорядилась иначе. С острова веточки последнего экземпляра *H. wilderianus* попали в Гавайский гербарий, где их засушили, а затем несколько из них переслали в Гарвард. Там они находились десятки лет, пока Агапакис не отыскала их в одной из папок. Выделенные из крошечных кусочков листика растения ферменты ДНК были встроены в совершенно чуждый им организм и принесли плоды — те самые сесквитерпены.

Настало время почувствовать, чем пахли цветки всех этих растений. Участники проекта «Воскрешение» начали с *Hibiscadelphus*, памятуя о том, что аромат его цветков веками привлекал несметное число гавайских цветочниц. В один из солнечных августовских дней в комнате, стены которой сияли белизной, собралась группа людей, которые должны были протестировать запах букетов из разных сесквитерпенов этого растения, составленных парфюмером Сиссель Толаас (*Sissel Tolaas*) из Берлина (одно из этих соединений, юниперол камфоры, — ценный ингредиент ароматических масел).

Каждую из 11 бумажных полосок погрузили в одну из мини-пробирок с разными сесквитерпенами, подержали их на расстоянии нескольких дюймов от носа и сделали вдох. «Первый воскрешенный аромат!» — объявил Келли. — «Потрясающе! — воскликнула Агапакис. — Такого запаха я никогда не ощущала».

От некоторых образцов исходил слабый запах лимона или чабреца, от всех пахло древесной корой и юпинеролом, которые, по-видимому, составляли основу аромата *hau kuaʻiʻiwi*. «Этот запах вызывает чувство легкости, — сказала Агапакис, приоткрываясь к тестовой полоске с закрытыми глазами. — Я как будто парю в воздухе!»

В запахе некоторых образцов слышалась пикантная нотка серной грязи. У Келли весело поблескивали глаза. «Это ни на что не похоже, — воскликнул он. — Надеюсь, это захватит воображение людей и заставит задуматься о том, что мы утратили».

«Запах — и мысли, которые он навеивает, — очень важная вещь, — говорит специалист в области биоинженерии из Стэнфордского университета Меган

Палмер (*Megan Palmer*), участница проекта по воскрешению странствующего голубя и мамонта. — Мы не можем знать досконально, как пахли эти цветки, но у нас есть молекулярные "подсказки", которые мы пропускали через призму наших знаний о ныне живущих видах». По мнению Палмер, в будущем это поможет получить представление о том, как функционировали исчезнувшие виды. Возможно, удастся воссоздать эти функции и даже сами виды.

Благодаря этим исследованиям мы стали на крошечный шаг ближе к тому, чтобы раскрыть тайну структуры гемоглобина неандертальцев. И по мере того как все больше генов исчезнувших видов будут возвращаться к жизни в новых «обертках», будут меняться наши привычные представления о том, что такое виды. Традиционные «генетические контейнеры» могут не налагать строгих ограничений на судьбу их содержимого. Становится все более ясно, что настал переломный момент в нашем понимании увлекательнейшей жизни ДНК на протяжении 4 млрд лет. Инновационное оборудование современных биоинженерных лабораторий, цифровые базы данных, ДНК-принтеры — все это создает условия для «свободного полета» генов, новых возможностей их репликации, освоения ими новых организмов. Сам вид может исчезнуть, но многие свойственные ему функции можно возродить, и когда-нибудь мы придем к тому, что «смерти больше нет».

Ароматические вещества постепенно заполняли комнату с белыми стенами в Бостоне, и сидящим в ней людям начинало казаться, что они находятся в каком-то тропическом лесу. Было легко представить, как выглядели лавовые поля Халеакалы в далеком прошлом, сплошь заросшие горным гибискусом; как с цветка на цветок перелетали гавайские цветочницы. Этот мир не вернуть, но можно воскресить некоторые из бесчисленных генов тех гавайских растений — что и делается сейчас. Дальнейшая их судьба — в руках генных инженеров. ■

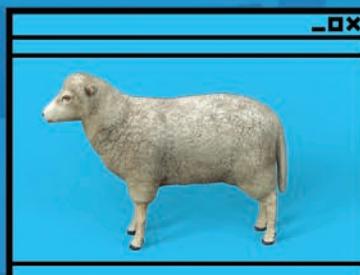
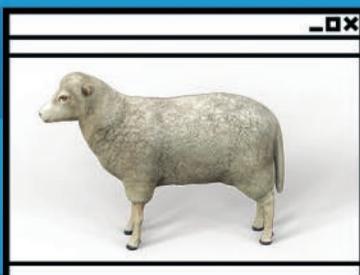
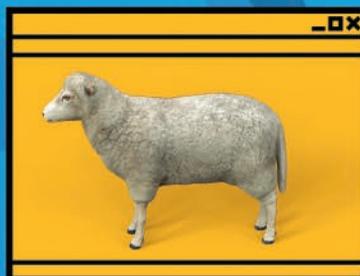
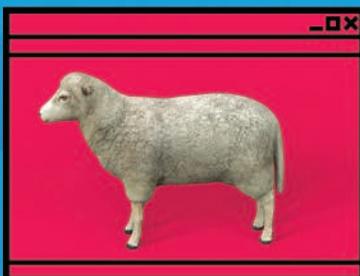
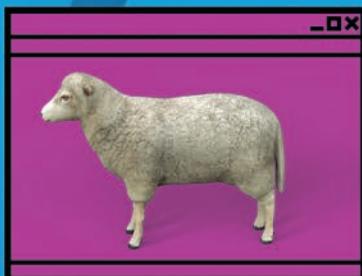
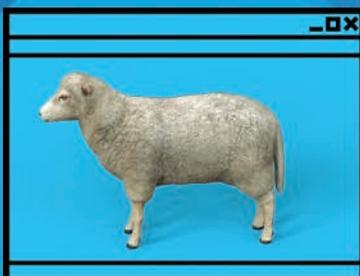
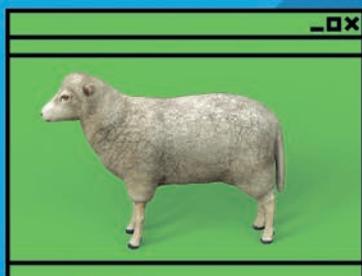
Перевод: Н.Н. Шафрановская

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Timing and Causes of Mid-Holocene Mammoth Extinction on St. Paul Island, Alaska. Russell W. Graham et al. in Proceedings of the National Academy of Sciences USA, Vol. 113, No. 22, pages 9310–9314; August 16, 2016.
- Natural Selection Shaped the Rise and Fall of Passenger Pigeon Genomic Diversity. Gemma G. R. Murray et al. in Science, Vol. 358, pages 951–954; November 17, 2017.
- IUCN Red List of Threatened Species on *Hibiscadelphus wilderianus*: www.iucnredlist.org/species/30397/9536660



НАУКА
ТЕЛЕКАНАЛ



*Рождение овечки Долли стало сенсацией.
Возможно ли клонирование человека? Кому и зачем это нужно?
К каким последствиям это может привести?*

ПРЕМЬЕРА ПРОЕКТА

КЛОНИРОВАНИЕ

АВТОР *ЕВГЕНИЙ КСЕНЗЕНКО*

Реклама

12+



ПОЗНАНИЕ



МОЯ ПЛАНЕТА
ТЕЛЕКАНАЛ



НАУКА
ТЕЛЕКАНАЛ



ЖИВАЯ ПЛАНЕТА
ТЕЛЕКАНАЛ



ПЛАНЕТА HD
ТЕЛЕКАНАЛ



ИСТОРИЯ
ТЕЛЕКАНАЛ



ДОКТОР
ТЕЛЕКАНАЛ



ТЕЛЕКАНАЛ

ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Быстрое
отступление
ледников
может
привести
к погружению
береговой
линии под воду
раньше, чем
предполагалось

Антарктида исчезает?



Ричард Элли



ОБ АВТОРЕ

Ричард Элли (Richard B. Alley) — профессор Университета штата Пенсильвания, преподает науки о Земле. Более 40 лет изучает покровные ледники, а также консультирует правительство США по различным вопросам климата.



Ледники тают, уровень моря поднимается. Мы уже знаем, что океанская вода продвинется внутрь материков вдоль восточного побережья США, Мексиканского залива и береговой линии по всему миру. Ученые пытаются разобраться в срочном порядке, будет ли «всемирный потоп» намного сильнее, чем предполагалось, поднимется ли океан на много сантиметров вместо нескольких. Встает большой вопрос: мы вступаем в эру еще более быстрого таяния льда? Если так, то в каких масштабах и как быстро? Ответ в значительной степени зависит от того, как гигантский ледник Туэйтса в Западной Антарктиде отреагирует на решительные шаги человечества. А уже от этого будет зависеть, будут ли скаты, курсирующие по приморским улицам, спорткарами одноименной марки или рыбами.

Глобальное потепление — это тающие ледники в высокогорных областях и увеличивающийся объем океанической воды, в то время как исчезает лед на обоих полюсах. В среднем за последние 25 лет уровень Мирового океана поднимается на 0,25 см в год, или на 30,5 см в столетие. Таяние остальных горных ледников мира может поднять уровень моря еще чуть более чем на 30,5 см. Но громадные ледниковые щиты Арктики и Антарктики вмещают потенциал поднятия уровня океана более чем на 61 м; а небольшое воздействие на них может вызвать большие изменения наших берегов. Ледяные барьеры ледников, протянувшиеся на много километров в длину и возвышающиеся на много метров в высоту, могут постоянно раскалываться и исчезать, значительно повышая уровень моря.

Хорошо обоснованные оценки дополнительного подъема уровня моря на данное столетие остаются в диапазоне невысоких значений: скорее всего, 61 см для умеренного потепления и менее 122 см даже в случае сильного потепления. Однако у ученых есть убедительные доказательства, что длительное, устойчивое потепление преуспешит значительно больше в течение грядущих веков. А мир может вступить в эру еще более быстрого таяния ледников, если кромки ледяных покровов начнут отступление.

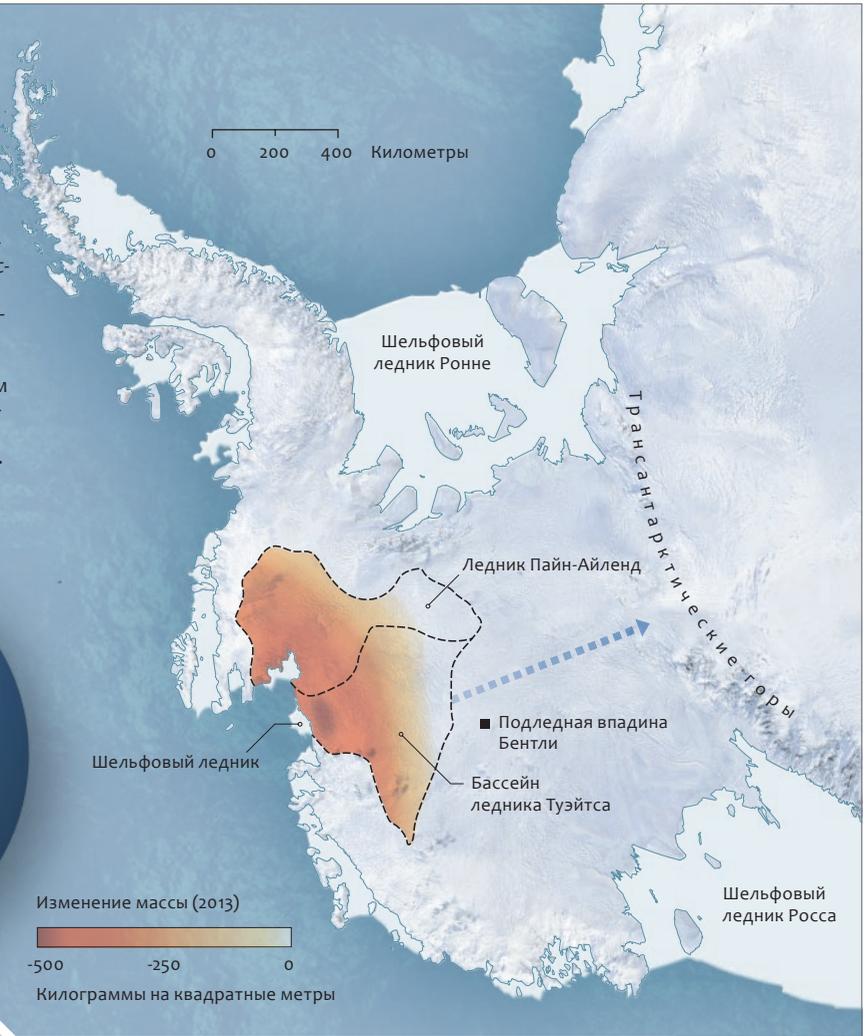
Чтобы узнать, может ли это случиться, поищем подсказки в изменениях, происходящих сегодня, используя достоверные знания о прошлом Земли и физике льда. Многие из загадок можно почерпнуть из драматических изменений, что начались

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Крупные ледники Гренландии, такие как Якобсхавн, быстро текут в океан, вызывая слабое поднятие уровня моря.
- Ледник Туэйтса в Западной Антарктиде, гораздо больших размеров, также начал ускорять свое движение. Решающий фактор его дальнейшей судьбы заключается в том, будет ли он отступать в глубокую подледную впадину Бентли.
- Если он отступит, то образуется очень высокий ледяной барьер, который может обрушиться в океан. Если ледник Туэйтса начнет обрушиваться, уровень океана может подняться на 3,35 м всего за несколько десятков лет.

Подъем уровня Мирового океана

Маленькие ледники стекают с разных сторон Западной Антарктиды и при таянии могут слегка поднять уровень моря. Но настоящие обширные ледники, как Пайн-Айленд и ледник Туэйтса, представляют гораздо более серьезную угрозу (основная карта). Ледник Туэйтса начинает истончаться; лед стекает в море, а передний край отходит назад внутрь материка (рис. на карте). Широкая подледная впадина Бенгли, расположенная за ледником Туэйтса, может продвинуть его отступление до Трансантарктических гор, от чего уровень моря может подняться на 3,35 м.



SOURCES: "HOW MUCH, HOW FAST: A SCIENCE REVIEW AND OUTLOOK FOR RESEARCH ON THE INSTABILITY OF ANTARCTIC THWAITES GLACIER IN THE 21ST CENTURY," BY T. A. SCAMMO'S ET AL., IN GLOBAL PLANETARY CHANGE, VOL. 153, JUNE 2017; SUBSIDENCE RECORD HISTORY OF TWENTY-FIRST-CENTURY RETREAT OF PINE ISLAND GLACIER," BY J. A. SMITH ET AL., IN NATURE, VOL. 541, JANUARY 5, 2017; NATURAL ENVIRONMENT RESEARCH COUNCIL (starways), Map by Mapping Specialists, Illustration by Ben Olliland

Как разрушить ледниковый покров

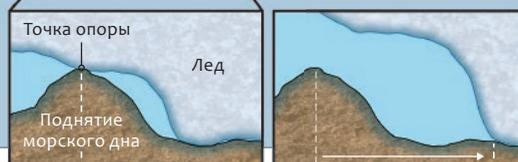
Новый снегопад наращивает снежный покров, а лед течет под действием силы тяжести собственного веса в море и тает (рис. слева). Покровные ледники Западной Антарктиды теряют чуть больше своей массы, чем приобретают, поднимая уровень моря. Шельфовый ледник, плавающий в океане у переднего края покровного ледника, замедляет его сток, но если теплые воздух и вода разрушат шельфовый ледник, то стекание покровного ледника усилится, и он станет

тоньше (рис. справа). Передняя кромка ледника отступает, и точка опоры на грунт, где лед контактирует с дном океана, отступает вместе с ней. Если за этой точкой существует глубокая котловина, то отступление продолжится беспрепятственно, значительно повышая уровень моря, пока ледник не натолкнется на следующее возвышение во внутренней части или не повиснет на выступе морского дна (фрагмент).



Перепрыгивая через уступы

При отступлении покровный ледник может зацепиться за поднятие морского дна, или выступ, создавая трение и задерживая теплую воду, вызывающую таяние нижней части ледника. Если отступающий ледник преодолевает барьер, трение падает, а вода получает открытый доступ.



около двух десятилетий назад на леднике Якобсхавн, важной части всего Гренландского щита. Ледники стекают под действием силы тяжести собственно веса в направлении океана, где передние кромки тают или обламываются, замещаясь потоком льда, идущим вслед. Когда потери опережают поток сзади, передние кромки отступают, при этом ледяной щит на суше сжимается, а уровень моря повышается.

В 1980-е гг. ледник Якобсхавн был известен как один среди самых быстрых, устремившихся к морю Баффина, хотя он удерживался шельфовым ледником, его продолжением, плавающим на поверхности моря. В 1990-х гг. потепление океана на 1,8 градуса по Фаренгейту (1° C) разрушило шельфовый лед, а наземный ответил удвоением скорости сползания на берег. Сегодня Якобсхавн интенсивно истончается и отступает, он один из самых больших обособленных участников поднятия уровня Мирового океана. Из исторической геологии местности известны сопоставимые события в прошлом. Из настоящих наблюдений явствует, что идет своим ходом подобная деятельность, преобразующая другие ледники Гренландии.

Если ледник Туэйтса, значительно больших размеров, последует примеру Якобсхавна, то есть вероятность, что он и прилегающие ледники разрушатся в течение нескольких десятилетий и тогда уровень моря поднимется на 3,35 м. То есть мы на краю опасности катастрофического поднятия уровня океана? Или этот риск слишком преувеличен? Как мы узнаем, как поведет себя ледник Туэйтса? Данные поступают прямо сейчас.

Прибрежные вафли

Вычисление поведения ледника Туэйтса — сложная задача. Чтобы понять это, обратимся к процессу приготовления завтрака. Когда вы льете жидкое тесто на вафельницу, весь купол распределяется по клеточкам железной решетки. В физическом смысле вес теста выталкивает купол наружу вопреки силе трения о решетку снизу. Растекание замедляется при выпечке по мере загустения теста или когда вы придерживаете его лопаткой.

Ледниковые покровы подобны большим вафлям, достигающим 3 км в толщину и простирающимся по всей площади континентов. Снежные осадки выпадают на поверхность и сжимаются в лед под действием силы тяжести последующих снегопадов. Образующиеся огромные ледяные купола



Талая вода вливается в Гренландский ледяной щит, ускоряя его сползание в море, — примета положения дел и в Антарктиде

достаточно крепки. Я приземлялся на них на тяжелых, оборудованных лыжами военно-транспортных самолетах, и они до сих пор целы. Их температура чаще всего колеблется в пределах нескольких градусов вокруг точки таяния, лед при этом достаточно мягкий и медленно течет с высоты центральной части к краям, где он легче тает и откалывается. Более мощные и крутые купола, такие как в Гренландии и Антарктиде, стекают быстрее.

Сам по себе ледниковый покров растет до тех пор, пока не станет достаточно высоким и крутым, чтобы начать растекаться, таять и откалываться, приходя в равновесие с продолжающимся дополнительным снегопадом. Ледяной купол может сохранять свои размеры длительное время. Но это не относится в целом к нашей теплеющей планете. Запас влаги ежегодных снежных осадков Гренландии и Антарктиды почти полностью обязан морской стихии и равен слою воды, испарившейся с поверхности всех океанов, — чуть

более 0,63 см. В настоящее время ледниковые покровы возвращают приблизительно на 15% больше этого количества посредством талой воды или обрушения айсбергов, в результате уровень океана поднимается ненамного. Если таяние будет превышать выпадение снега в течение длительного времени, то ледниковый покров скорее всего исчезнет. При нынешних темпах это может занять почти 100 тыс. лет. Тем не менее если потепление будет нарастать, то таяние ускорится. Такую картину мира мы наблюдаем сегодня.

Ужасная красота

Ледниковый поток зависит от крепости его строения, степени сцепления с подстилающей поверхностью, а также от того, есть ли у него поддержка — прилегающий плавающий шельфовый ледник. Общее атмосферное потепление может размягчить лед и растопить его в местах, где днище ледника примерзло к нижележащим породам, позволяя льду скользить быстрее в направлении моря. Но потребуются много времени, чтобы тепло могло проникнуть сквозь трехкилометровую толщу. Крупные покровные ледники еще не окончили разогрев в результате подъема температуры воздуха, прекратившего последнее оледенение более 10 тыс. лет назад.

Более быстрый способ согреть ледник и его ложе заключается в том, чтобы вода, растаявшая наверху, просочилась в трещины. В некоторых местах на склонах ледников Гренландии талая вода собирается в обширных углублениях на поверхности, образуя большие красивые голубые озера. Будучи плотнее льда, вода стремится пробиться в открытые трещины, которые могут достигать дна, и таким образом спускает озера. Растущее озеро может прорваться сквозь полукилометровую и глубже толщу льда, образуя поток воды мощнее Ниагарского водопада. За час такой прорыв воды может согреть ложе так же сильно, как это могло бы произойти за 10 тыс. лет.

Это процесс важен для изучения. Но он не вызывает серьезной тревоги у жителей побережий, поскольку неровности ложа могут также удерживать лед от ускоренного движения в море.

Однако подобный процесс представляет большую угрозу в случае шельфового ледника. В очень холодных местах ледник, стекающий в океан, остается и прикреплённым, и плавающим. Шельфовые ледники почти всегда присутствуют в защищенных бухтах или фьордах. Движение шельфового льда тормозится здесь трением вдоль береговой линии и, возможно, о торчащие донные выступы, где лед касается грунта. Шельфовый ледник задерживает наземный ледяной сток в море.

Теплый воздух может стать причиной образования ледяных озер на вершине шельфовых

ледников. При прорыве озер через трещины ледник может распасться. Например, шельфовый ледник Ларсена В на Антарктическом полуострове, к северу от ледника Туэйтса, в 2002 г практически полностью распался всего за пять недель, когда от него откалывались и опрокидывались айсберги, как домино. Вследствие этого уровень моря не поднялся сразу, ведь шельфовый ледник уже был на плаву, но его потери способствовали ускорению сползания наземной части ледника в океан, как будто вы убрали лопатку — и тесто заскользило вниз. Лед потек в шесть-восемь раз быстрее, чем он продвигался ранее. К счастью, на узком Антарктическом полуострове масса наземной части шельфового ледника Ларсена В была невелика, поэтому уровень моря поднялся незначительно. Но это событие заставило людей задуматься, что шельфовые ледники могут разрушиться очень быстро, выпуская ледники, которые они сдерживали. Шельфовые ледники могут также подтаивать снизу за счет подогрева морской водой, как это случилось с ледником Якобсхавн.

При потере шельфового льда айсберги отрываются прямо от ледниковых обрывов, обращенных к морю. Хотя от этого зрелища туристы на круизных судах, курсирующих вокруг Аляски и других точек мира, приходят в восторг, оно свидетельствует о приближении гибели покровных ледников. С ледяного барьера Якобсхавна сегодня обрушиваются айсберги, возвышающиеся над океаном более чем на 90 м, величиной с 30-этажный небоскреб, при этом подводная часть в девять раз больше. Если такие айсберги перевернутся, то вода вздымается вверх на 50 этажей, а возникшее в результате землетрясение могут засесть службы США.

До сих пор деградация шельфовых ледников и обрушение ледяных барьеров умеренно действовали на подъем уровня океана. Но этот процесс у ледника Туэйтса может вызвать драматические последствия, поскольку геологическая история распорядилась так, что ледник расположен на краю перегиба, где он может опрокинуться в огромную подледниковую впадину Бентли.

Перепрыгивая через уступы

Однажды осенним утром 1956 г. Чарльз Бентли (Charles Bentley), позже ставший консультантом моей диссертации, защитил диплом в Колумбийском университете. На следующий день он вскочил в поезд, идущий в Панаму, затем пересел на корабль, держащий курс на юг, для участия в исследованиях планеты Земля в рамках проекта, посвященного Международному геофизическому году. Бентли провел два года в Западной Антарктиде, прежде чем обнаружил по возвращении, что не окончил университет, поскольку не была внесена плата за обучение. Но за это время он и команда

преодолели более 4830 км по льду в округе научно-исследовательской станции Бэрд и в длинных маршрутах по Западной Антарктиде. (Чарльз Бентли умер в возрасте 87 лет в 2017 г.)

Среди множества измерений и открытий, которые они сделали, нам более всего важны те, что относятся к толщине льда. Они произвели несколько небольших взрывов на поверхности и с помощью сейсмографов проследили за прохождением звука сквозь толщу ледника и его отражением от дна. Полученные данные показали, что Западная Антарктида — не тонкая полоса льда, покрывающая высокий материк, как некоторые считали ранее. Напротив, Бентли и его команда обнаружили очень толстый слой льда и открыли подледниковую впадину Бентли. Она уходит вглубь на 2,5 км ниже уровня моря. Это самое глубокое место не под океаном, а на суше. А лед, что заполняет ее, возвышается на 1,6 км и более над уровнем моря.

Бентли и гляциологи, работающие с ним, нашли точку перегиба. Огромная впадина и прилегающие котловины лежат в основании обширного центра Западно-антарктического ледникового щита. Если передний край ледника Туэйтса отойдет назад от берега моря в сторону впадины, он может образовать ледяной барьер высотой в тысячи метров, от самой вершины ледника над впадиной и на всю ее глубину. Такой обрыв, гораздо мощнее, чем у Якобсхавна и любого другого ледника в мире, может быстро расколоться, создавая невероятные высокие айсберги, которые могут опрокидываться и уплывать через проем впадины в океан, значительно поднимая его уровень.

Десятилетия дополнительных научных изысканий доказали, как важно было изучить этот процесс. Джон Андерсон (John Anderson), который недавно ушел на пенсию после 43 лет работы в Университете Райса, и многие из его аспирантов неустанно картировали материковую отмель Антарктиды с помощью гидролокатора бокового обзора и других инструментов. Во время ледниковых эпох антарктический лед распространялся на много километров дальше во всех направлениях и отступал в период их окончания. Нынешнее дно океана вокруг Антарктиды в прошлом представляло собой ложе ледника.

Ярко выраженные отпечатки, оставленные в донных отложениях, рассказывают подробности о ледниковых щитах.

Одна из историй повествует, как распространяющиеся ледниковые щиты сползали к морю, таща с собой осадочный материал. Когда ледник доходит до местного поднятия дна, он стабилизируется и, нагромождая осадки, надстраивает поднятие, создавая моренные гряды, длинные каменистые валы, вырастающие на конце ледника, и, соответственно, отмели. Лед может оставаться в таком положении сотни и тысячи лет, отражая

слабые попытки его переместить. Но при достаточном потеплении ледник отступает по наклонному пласту вниз в углубление за грядой. Ледник редко останавливается снова, пока не наткнется на очередную высокую грядку, часто далеко расположенную. В это время айсберги плавают над заброшенной моренной грядкой, все еще покрытой морской водой и выступающей в океан.

Такое явление часто можно наблюдать вокруг Антарктиды и Гренландии. Ледник Якобсхавн «перепрыгнул» через аналогичный вал бывшей морены и отступает через узкий фьорд, открывая подступ к еще большему покровному леднику. Когда европейцы впервые исследовали район, ныне известный как бухта АЙСИ-БЕЙ на Аляске, он был покрыт огромным ледником, заканчивающимся большой мореной. С тех пор ледник отступил от той гряды, или выступа, более чем на 97 км вглубь района, чтобы задержаться у следующего возвышения, которое сегодня стало берегом красивого залива.

По счастью, большинство подобных отступлений имеют ограниченное воздействие на уровень Мирового океана. Даже большой ледник размером с бухту АЙСИ-БЕЙ будет мал по сравнению с Мировым океаном. Ледник Якобсхавн входит в десятку крупнейших выводных ледников Гренландского ледяного щита, но все они нарушают равновесие своих соседей в прилежащих фьордах не быстро и уходят не слишком глубоко внутрь, где ложе поднимается вновь. Аналогичным образом Антарктида дренируется множеством ледников, сползающих в свои долины — решетки стока, похожие на вафельницы. При достаточном потеплении многие из них, вероятно, отступят в унисон, но каждый сам по себе не окажет серьезного влияния на уровень моря в глобальных масштабах.

Совсем другую историю представляют впадина Бентли в Западной Антарктиде и несколько других внутренних районов Восточной Антарктиды, в том числе бассейны Уилкса и Аврора. Отступление через одно из этих понижений к следующей высоте может приобрести глобальное значение. Модели указывают, что ледник Туэйтса с максимальной вероятностью двинется во впадину Бентли и соединительные бассейны. Если он начнет «распаковываться», двигаясь со скоростью ледника Якобсхавн, то уровень моря может подняться на 3,35 м до того, как он вернется в равновесие на высокой точке другой стороны впадины. Бассейны Восточной Антарктиды самостоятельно могут поднять уровень океана больше, чем мог бы ледник Туэйтса, но им необходимо больше тепла, чтобы их ледники преодолели свои высоты.

Отметим, что в таком развитии событий нет ничего аномального. При достаточном потеплении ледник обычно отступает до следующей высоты. Это наблюдалось много раз. Если ледник Туэйтса

получит довольно тепла, чтобы начать действовать, как ледники Гренландии и Аляски, то он должен отступить.

Будущее с трещиной?

Как быстро сможет продвигаться ледник Туэйтса? Какой вклад в потепление мы можем совершить до этого момента? Мой коллега из Университета штата Пенсильвания Дэвид Поллард (David Pollard) и Роберт Де Конто (Robert M. DeConto) из Массачусетского университета в Амхерсте на современных быстрых компьютерах сконструировали модель течения ледника в соответствии с физическими данными, чтобы можно было изучить крупные изменения ледяных покровов на протяжении длительного времени. Я немного им помог с введением физических параметров отламывания айсбергов от высоких береговых обрывов после откола шельфовых ледников, особенно при прорыве поверхностных талых вод в ледниковые трещины.

Поллард и Де Конто усовершенствовали модель, внося данные о геологическом прошлом и оценке влияния антропогенного потепления различной величины. Они определили, что у нас, вероятно, есть в запасе несколько десятилетий даже при условии быстрого потепления до того, как наступит распад ледника Туэйтса, вызванный потерей шельфового ледника и работой талых вод, расширивших расселины. До полного его исчезновения пройдет, возможно, лет сто. На самом деле они не знали, как быстро может разрушиться ледник, но они заложили максимальную скорость, исходя из движения ледника Якобсхавн в Гренландии. (Однако тот вскоре стал двигаться быстрее.) Поскольку ледник Туэйтса мощнее, то и обрывы на нем могут быть выше, чем на Якобсхавне. Более высокие обрывы, как правило, осыпаются быстрее (вот почему инженеры-дорожники обычно оставляют склоны не очень крутыми). Таким образом, мы можем недооценивать худший вариант развития событий, но мы действительно его не знаем.

Поллард и Де Конто построили хорошую модель, но это, безусловно, еще не последнее слово. Остается надежда, что, например, ледник Туэйтса может прийти в состояние равновесия на выступе ниже по склону, прямо за его нынешней позицией, не отступая далее; или что айсберги могли бы отколоться и на какое-то время создать нагромождение за существующим гребнем, где сейчас ледник переходит в плавающее состояние, преобразуя шельф таким образом, чтобы потери льда стали меньше.

Чтобы найти ответы на эти и другие вопросы, Национальный научный фонд США и Антарктическое управление Великобритании совместно с другими сотрудничающими международными организациями направили основные усилия на дальнейшее изучение ледника Туэйтса — как он движется сегодня, над каким участком дна, —

чтобы всем нам удалось лучше представить его будущее. Эти данные определенно помогут исключить неточности и будут представлять интерес.

Все же на некоторые вопросы трудно найти ответ. Представьте себе керамические чашки, падающие на твердый пол. Одни подпрыгивают, другие трескаются, от третьих откалываются кусочки, а есть те, что разлетаются на множество осколков. Физические процессы всех этих разрушений хорошо известны и легко просчитываются, в среднем поведение многих упавших чашек предсказуемо. Но вы бы наверняка не захотели делать ставку на свою карьеру или еще что-то важное, предсказывая судьбу падения следующей чашки на пол.

Будущее ледника Туэйтса во многом зависит от трещин. Будет ли шельфовый ледник отламываться от питающего его ледника, понуждая ледяной покров преодолевать пороги и отступать в глубокие впадины? Будут ли огромные айсберги быстро откалываться, если потери шельфового льда образуют крутой обрыв по наружному краю, который выше всех на свете, при этом заставляя ледник отступать со скоростью, еще не виданной доселе? Талая вода играет важную роль, но сколько воды будет вынесено с речным стоком в море, а сколько просочится в снег и повторно замерзнет? Как быстро потеплеет воздух? Я полагаю, что по сравнению с этим судьбу кофейных чашек предсказывать легко.

Если мировое сообщество сможет мобилизовать все усилия, то замедление и прекращение потепления, вызванного выбросами парниковых газов, остановит подъем уровня океана, снимая бремя увеличивающихся расходов на восполнение ущерба прибрежной зоне. Но если ледник Туэйтса готов к энергичному отступлению, то предотвращение дальнейшего потепления посредством ограничения ущерба, наносимого деятельностью человека, может оказаться гораздо более ценным. ■

Перевод: В.И. Сидорова

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Фокс Д. Свидетельство таяния льдов Антарктики // ВМН, № 9, 2012.
- Oceanic Forcing of Ice-Sheet Retreat: West Antarctica and More. Richard B. Alley et al. in Annual Review of Earth and Planetary Sciences, Vol. 43, pages 207–231; May 2015.
- Contribution of Antarctica to Past and Future Sea-Level Rise. Robert M. DeConto and David Pollard in Nature, Vol. 531, pages 591–597; March 31, 2016.
- How Much, How Fast?: A Science Review and Outlook for Research on the Instability of Antarctica's Thwaites Glacier in the 21st Century. T.A. Scambos et al. in Global and Planetary Change, Vol. 153, pages 16–34; June 2017.



Чечилия Гуидо вместе с сыном Луисом Эдуардо Марином и внучкой Найдой Гуидо патрулируют участок колумбийской реки Какеты. Это часть мер, предпринимаемых их общиной для защиты резервации индейцев Кураре — Лос-Инглесес и живущего здесь племени, не вступающего в контакт.

АНТРОПОЛОГИЯ

ХРАНИТЕЛИ *народа* ТИГРА

Пока антропологи обсуждают, как лучше всего защитить племена, с которыми отсутствуют контакты, группы коренного населения Колумбии работают над тем, чтобы оградить своих изолированных соседей от наступления современности

Адам Пиор

ОБ АВТОРЕ

Адам Пиор (Adam Piore) — независимый журналист. В своей предыдущей статье для нашего журнала (*Вернуть Дарвина в дело // ВМН, № 10, 2018*) он рассматривает проблему преподавания теории эволюции в школах США.



Джонатан Андресш Переа,

прищурившись из-за ослепляющего солнца, вглядывается в стену леса. Он направляет свой деревянный баркас с крошечным мотором через приток могучей колумбийской реки Какеты и причаливает к грязному берегу. Выпрыгнув на едва различимую тропу, Джонатан — парень лет 20 из племени карихона — жестом приглашает нашу группу из пяти человек следовать за ним. Затем он исчезает в зелени сельвы среди какофонии звуков невидимых птиц, обезьян и насекомых.

Растительность настолько плотная и темная, а старая тропа так петляет, что нам, идущим за Переа, кажется, будто сельва полностью поглотила нашего молодого проводника. Но несколько минут спустя, выйдя из-за деревьев, мы видим его перед мерцающим соленым озером: Переа внимательно всматривается вдаль. «Дальше нам нельзя заходить. Там болото. По легенде, эта топь разделяет нас физически и духовно. — Он торжественно указывает через озеро. — Там. Они — там».

«Они» — это члены таинственного племени, проживающего почти в 10 км от невидимой границы, обозначающей начало их территории здесь, в Кураре — Лос-Инглесес, резервации индейцев на юго-востоке Колумбии. В отличие от карихона и других племен, живущих на периферии этой территории, простирающейся на земли соседнего



Национального природного парка Рио-Пуре и других зон, этой загадочной группы почти не коснулась современная цивилизация. На самом деле этот народ активно старается избегать любых контактов с внешним миром. Представители племени продолжают существовать так же, как они жили в сельве тысячелетиями: без одежды, охотятся, используя стрелы с отравленными наконечниками и дротики, пользуются каменными топорами для рубки деревьев и ножами из бамбука для разрезания пищи.

Некоторые из племени карихона называют этих людей «наши братья, живущие в естественном состоянии», другие местные жители — «народом тигра». (В Южной Америке тигров нет, но тиграми иногда называют ягуаров.) Это прозвище передавалось из поколения в поколение еще до появления

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- По оценкам, во всем мире насчитывается 100 племен, живущих в изоляции. Контакт с внешним миром может стать для них катастрофой из-за возможного заражения смертельно опасными патогенами.
- Ученые и политики давно обсуждают, как уберечь такие не вступающие в контакт группы, а в Колумбии коренное население защищает своих соседей.
- Проводимая ими работа могла бы подготовить основу для охраны по меньшей мере еще 17 не вступающих в контакт племен, живущих, как полагают, в колумбийской Амазонии.



«Длинный дом», или *talosa*, служит местом собрания местных общин для обсуждения мер по защите их изолированных соседей (2). Эти меры включают размещение нескольких контрольных постов вдоль границы охраняемых земель (1).

миссионеров, «каучуковых баронов» и всех ловушек современного западного мира, достигших этого удаленного уголка. Легенды повествуют о клане свирепых воинов, которые раскрашивали полосами свои тела, прокалывали носы и поедали своих врагов, а в XIX в. ушли в сельву по реке Бернардо (притоку Какеты), спасаясь бегством от белых людей. Карихона и 14 других племен, населяющих земли, граничащие с территорией не вступающей в контакт группы, относятся к своим изолированным соседям со смесью благоговения и страха; они завидуют чистоте культуры этого племени и верят, что их шаманы настолько близки к природе, что могут контролировать стихии.

Никто не знает, сколько человек в наши дни живет уединенно, спасаясь в сельве: оценки варьируют от 50 до 500. Но вторжение чужаков может угрожать их образу жизни, по сути, самому их существованию. Переа и его сверстники стараются предотвратить такое вмешательство. Я приехал в Кураре — Лос-Инглесес, чтобы понаблюдать, как они помогают своим соседям, контакты

Жизнь в уединении

В глубине колумбийской Амазонии были найдены члены племени, живущего в изоляции от внешнего мира. Их территория включает часть резервации индейцев Кураре — Лос-Инглесес и прилегающие районы, в том числе значительную часть национального природного парка Рио-Пуре. Другие племена защищают не вступающую в контакт группу.



с которыми отсутствуют, сохранить их уединение в этом все более взаимосвязанном мире.

Антропологи, активисты и правительственные чиновники давно обсуждают, как лучше всего защитить племена, с которыми отсутствует контакт, в Амазонии и по всему миру. Из-за того что такие группы живут в изоляции, у них отсутствует иммунитет к обычным заболеваниям обитателей индустриальных стран. Контакты с чужаками, которые могут оказаться носителями потенциально смертельных патогенов, способны привести к исчезновению подобных общин. Многие эксперты утверждают, что предотвращение контактов — единственный способ

защитить эти группы от таких болезней. Что еще более важно, многие из подобных племен знают о существовании «большого» мира и выбрали жизнь в изоляции. В таком случае отсутствие контактов — это уже вопрос прав человека. Другие специалисты считают, что контакт неизбежен и подготовка к подобной возможности — самый благоразумный способ действий. Наступление современного образа жизни не остановить. И без регулярных контактов невозможно защитить племена от вооруженных людей, жаждущих добраться до девственных лесов сельвы, золота и других природных ресурсов, часто скрытых на их землях.

В 2012 г. племя, к которому принадлежит Переа, и другие общины резервации вместе с группами из близлежащих районов перешли к активным действиям по патрулированию границ и защите земель своих соседей, не вступающих в контакт, от вторжений лесорубов, охотников, золотодобытчиков, миссионеров, контрабандистов, наркодилеров и повстанцев-коммунистов. Недавно в их миссии возникла особая необходимость. Десятки лет гражданская война в Колумбии мешала развитию района бассейна реки Амазонки, поскольку присутствие лагерей повстанцев, военизированных правых и нарколабораторий делало сельву слишком опасной для тех, кто пытался пользоваться ее ресурсами. Однако в ноябре 2016 г. правительство и повстанцы подписали мирное соглашение. Стабильность могла бы привести к наступлению времен экономического расцвета и, по опасениям многих, своего рода давление, связанное с развитием, может поставить под угрозу усилия по защите изолированных племен в соседних странах. Мирные соглашения также породили ряд непосредственных опасностей в виде новых отколовшихся групп



и оставшихся групп бескомпромиссных повстанцев, которые ищут новые пути через огромную неизведанную территорию и финансируют свою деятельность за счет тайных объектов по производству наркотиков и незаконной добычи полезных ископаемых.

Сейчас ведется работа по реализации национальной политики, разработанной совместно неправительственными организациями (НПО), лидерами коренного населения Колумбии и Министерством внутренних дел и подписанной прошлым летом президентом страны Хуаном Мануэлем Сантосом (позднее ушедшим в отставку) и его кабинетом министров. В протоколе гарантируются права изолированных народов на самоопределение и прописаны процедуры по защите этих прав по отношению к новым изолированным группам, обнаруженным на территории государства. Несмотря на то что народ тигра — пока единственное не вступающее в контакт племя, чье существование к настоящему времени подтверждено, есть свидетельства, что на территории колумбийской Амазонии в изоляции могут проживать еще 17 других племен.

Пока международные НПО собирают необходимые доказательства, чтобы продемонстрировать существование новых племен, которым требуется защита правительства, усилия Переа и других жителей Кураре служат в качестве важной модели, показывающей сомневающимся, что такая безопасность вообще возможна.

По оценкам НПО *Survival International*, во всем мире существует более 100 племен, с которыми отсутствует контакт. Эти группы определяют как «племена, не имеющие мирных контактов»

2

Шаманы Мойсес Нилмор Якуна (в красной футболке) и Альфонсо Матапи (в футболке в голубую полоску) присоединились к ежегодной встрече общин Кураре — Лос-Инглесес, чтобы пересмотреть планы по защите не вступающего в контакт племени (1). Даниэль Аристисабаль из «Группы по сохранению Амазонии» (в центре) и члены команды из Национального природного парка Рио-Пуре работают над протоколом совещания (2).

Многие выжившие оказались в убогих поселениях в сельве или на улицах городов, оторванные от традиций и общины, стали алкоголиками или проститутками, утратив даже некое подобие самодостаточности.

В начале 1960-х гг. усилия знаменитых *sertanistas*, братьев Кла-

удио и Орландо Виллас-Боас (Cláudio Villas-Bôas, Orlando Villas-Bôas), увенчались успехом и была создана крупная резервация, известная как Национальный парк Шингу, первая в мозаике закрытых заповедников, где коренные народы теоретически могли жить в безопасности. Шингу стал моделью для других подобных резерваций по всей Амазонии, включая Кураре — Лос-Инглесес. Тем не менее пагубное действие первых контактов было доказано и в последующие годы: болезни уничтожали племена даже до того, как поднимался вопрос об их переселении. В Колумбии тоже были свои трагедии. Вероятно, наиболее известна история нукак-маку — племени охотников-собирателей, которое было почти полностью уничтожено в результате болезни, начавшейся после первого официального контакта в 1988 г., и теперь борется за выживание.

В Бразилии к 1980-м гг. болезненные эффекты от контактов стали казаться настолько неизбежными, что некоторые *sertanistas*, возглавляемые Сидни Поссуэло (Sydney Possuelo), энергичным протестом братьев Виллас-Боас, начали приравнивать контакт к геноциду и выступили за радикальные меры. В 1988 г. Поссуэло получил поддержку нового подхода «отсутствие контактов»: составление карт земель коренного населения и защита их от лесорубов, старателей и других незваных гостей. По мнению многих, так удастся спасти множество жизней. Разработанная в Бразилии политика, исключаяющая контакты, с тех пор остается стандартным подходом к обеспечению прав коренных народов региона, одобренным и группами местного населения, и НПО. Этот подход использовался в качестве модели при разработке официально принятой в 2006 г. национальной политики Перу.

с кем-либо из основного или доминирующего населения». В Колумбии, как и в остальной части Амазонии, большинство таких групп по собственной воле живут в изоляции. Сначала, в XVIII — начале XX вв., многие спасались от колонистов, «каучуковых баронов», порабовавших представителей коренного населения и жестоко обращающихся с работниками, и от миссионеров, пытавшихся сделать местных жителей «цивилизованными» и обратить в христианство, запрещая следовать давним традициям.

«Первые контакты» в более поздний период тоже оказались катастрофическими, но по-другому. За последние десятилетия контакты чаще всего происходили на границе Колумбии и Бразилии, где находятся самые крупные участки девственного влажного экваториального леса. В течение XX в. правительство Бразилии старалось освоить этот регион: сначала в глушь отправлялись группы исследователей для создания в сельве небольших взлетно-посадочных полос со сторожевыми постами, а потом прорубали новые дороги, позволяя цивилизации медленно продвигаться вглубь. Для контакта с проживающими там племенами сначала государственная Служба защиты индейцев, а позднее Национальный фонд индейцев (ФУНАИ) до прибытия исследователей отправляли разведчиков, известных как *sertanistas*, которые должны были переманивать коренных жителей и ассимилировать их в общество.

Эти первоначальные контакты привели к ужасному опустошению, которое позже коснулось и других коренных народов в остальной части Амазонии. Из-за отсутствия иммунитета ко многим современным болезням от 50 до 90% населения деревень погибло в результате контакта.

Однако с тех пор подход, исключающий контакты, постоянно подвергается нападкам со стороны потенциальных колонистов и лиц, заинтересованных в добыче полезных ископаемых, заготовке древесины и создании ранчо, которые давно пытаются получить доступ к защищенным землям — иногда успешно. В 2006 г. Поссуэло уволили с занимаемого поста после критики в адрес главы ФУНАИ, публично заявившего, что у коренных народов слишком много земли.

Недавно некоторые антропологи стали считать, что в свете безжалостных поступков групп, действующих в сельве вне закона, политика «без контактов» вредна. В спорной передовой статье, опубликованной в журнале *Science* в 2015 г., Роберт Уокер (Robert S. Walker) из Университета Миссури и Ким Хилл (Kim R. Hill) из Аризонского университета утверждают, что старатели, лесорубы и охотники постоянно проникают на охраняемые территории, подвергая проживающие там племена воздействию смертельно опасных патогенов, и совершенно безнаказанно совершают там злодеяния. По мнению ученых, наиболее безопасный и гуманный способ защиты изолированных племен — «контролируемый контакт».

Хилл говорит, что эссе стало кульминацией многолетней работы на местах и результатом повторяющихся контактов с племенами, которые рассказывали о голоде, жестокости и неустойчивости жизни в бегах. Как поясняет Хилл, он высказался откровенно, потому что эти истории давно разрушили его первоначальный идеализм, и он убежден, что с трудностями эпидемиологического характера можно справиться за счет лучшего планирования. «Все изолированные племена в мире в значительной степени находятся под контролем бездарных и коррумпированных правительств развивающихся стран, которые очень плохо защищают их, — объясняет Ким Хилл. — Поэтому такая защита — иллюзия. Не получая достоверной информации из этих племен, мы не представляем, что на самом деле с ними происходит. А я думаю, что творится много всего ужасного, и это остается тайной, в частности потому, что мы не можем поговорить с людьми и спросить, как они живут».

Несмотря на указанные Хиллом намерения, статья в *Science* вызвала волну возмущения среди групп, выступающих за права коренного населения, НПО и других, посыпались гневные письма, даже с угрозами смерти. (Роберт Уокер отказался давать комментарии для моей статьи, сказав, что он больше не высказывается публично на эту тему.)

«Даже если бы можно было сделать контакт безопасным, контролируемым, а я думаю, что это невозможно, что тогда произойдет? — спрашивает Фиона Уотсон (Fiona Watson), директор по исследовательской и пропагандистской деятельности

Survival International, организации, которая стала самым активным критиком доводов Хилла и Уокера. — Если посмотреть на недавние случаи, то в результате контакта жизнь племен не стала лучше. Можно даже сказать, она становится хуже. Теперь они окружены, их земли захватывают, а люди намного больше подвержены болезням».

Тем временем многих коллег Хилла терзают противоречивые чувства. Стивен Бекерман (Stephen Backerman), культуролог-антрополог из Пенсильванского университета, отмечает, что «все согласны, что самое важное — сохранить жизнь этих племен». Но он полагает, что ни один из подходов не идеален. Бекерман, занимающийся исследованием племени бари в Венесуэле и Колумбии и племенем ваорани в Эквадоре, говорит: «Каждая клеточка моего тела кричит: "Да оставьте же вы их в покое!". Но мой опыт — каждый день, который я провел за работой в тропическом лесу, все, что я читал, о чем говорил с другими работавшими на местах людьми, — подсказывает, что этого не случится».

«Гром, ветер и дождь были посланием от народа тигра, гласившим: “Оставьте нас в покое!”»

Альфонсо Матапи, шаман

Тому, кто в первый раз отправился в Кураре — Лос-Инглесес, поездка может показаться путешествием на край света. Сначала я самолетом добрался до Санта-Фе-де-Богота, где встретился с Даниэлем Аристисабалем (Daniel Aristizabal) — худощавым колумбийцем лет 30 с забранными в хвост темными волосами, в изношенной белой футболке и выцветших брюках-карго. Аристисабаль работает в американской НПО «Группа по сохранению Амазонии» (ACT, *Amazon Conservation Team*). Вместе мы на самолете отправились в Летисию, на самом юге Колумбии, затем пересели на видавший виды грузовой самолет времен Второй мировой, направлявшийся в удаленный приграничный городок Ла-Педрера — пыльное поселение, построенное вокруг взлетной полосы глубоко в лесах Амазонии. С высоты 4572 м, в окружении поддонов с яйцами и мешков с сухим молоком и мукой, я пристально вглядывался в маленький иллюминатор. Внизу раскинулись сотни километров плотных девственных джунглей, нарушаемых лишь множеством длинных, могучих притоков Амазонки, вьющихся вокруг зелени в виде бесконечной последовательности коричневых S-образных кривых. За все путешествие на расстояние 321 км я



1



2



3

Представители общин коренного населения резервации Кураре — Лос-Инглесес и окрестностей совмещают усилия по охране не вступающего в контакт народа с ежедневными заботами: поддержанием огня в очагах на кухне (1), изготовлением муки из маниоки (2) и приготовлением татбе — смеси из листьев коки и золы (3)

не увидел ни одного поселения. В Ла-Педрере мы пересели в покосившийся деревянный баркас и направились вверх по реке. Спустя пять часов — и через четверо суток со времени отправления из Нью-Йорка — я наконец добрался до цели.

Люди живут здесь в поселениях вдоль реки, среди сельвы, без водопровода и электричества, только иногда используют генераторы. Большую часть продовольствия они получают за счет охоты, рыбалки и выращивания традиционных зерновых. Здесь нет дорог, только тропы среди сельвы и долбленные каноэ. Ла-Педрера — ближайший город с отелем и рестораном. Члены племени любят говорить, что они бедны в отношении денег и имущества, но богаты землями и природными ресурсами.

Несмотря на удаленность Кураре, в жизни здесь, на окраине, все же присутствуют элементы современности. Многие дети учатся в школе-интернате, расположенной на другой стороне реки от Ла-Педреры. Школой управляли католические священники вплоть до прошлого года, когда она

перешла к правительству. Члены племени регулярно обращаются за современной медицинской помощью в Ла-Педрере, а при серьезных заболеваниях или переломах едут в более удаленные города, например в Летисию и даже в столицу. Многие носят современную одежду, пользуются мачете, фонарями и стальными кастрюлями, купленными в городе, например в Ла-Педрере, и им знакомо телевидение. Тот факт, что эти влияния не проникли в глубинные районы, свидетельствует о решимости членов племени, не вступающего в контакт, и их самопровозглашенных хранителей.

Коренные жители Кураре и Рио-Пуре на протяжении многих поколений знают о присутствии в глуши их таинственных собратьев, которых ученые считают представителями двух родственных племен — юри и пасса. Но только с прибытием колумбийского защитника окружающей среды Роберто Франко (Roberto Franco) и АСТ в начале 2000-х гг. эти племена стали центральной темой диалога по вопросу защиты самых изолированных племен Колумбии.

Франко, автор ряда книг по истории Амазонии, в течение многих лет был в Колумбии главным сторонником идеи о том, что наилучший способ защиты влажных экваториальных лесов — это поддержание земельных прав племен коренных народов, для которых жизнь в гармонии с окружающей средой составляет основу культуры. Роберто Франко также работал консультантом по антропологии в правительственных агентствах, сам видел разрушительные последствия первого контакта и пришел к выводу, что «самоизоляция» — это вопрос прав человека. Желая найти способ оградить самые незащищенные группы населения страны, Франко начал собирать обрывки информации об изолированных племенах во время своих экспедиций по Амазонии в 1980-х гг. В поисках подсказок он корпел над литературой по истории, изучал карты и проводил опросы. Он даже встречался с бывшими командирами повстанцев и наркодилерами, которые во время своих походов случайно обнаруживали в глуши представителей племен, не вступающих в контакт.

Тем не менее для получения официальной защиты со стороны правительства требовалось конкретное доказательство существования таких племен. В 2007 г. АСТ согласилась поддержать усилия Франко. К тому времени Роберто уже решил, что Кураре и Рио-Пуре — наиболее подходящие места для начала поисков. В конце 1960-х гг. сборщик каучука и торговец мехом Хулиан Хиль (Julian Gil) наткнулся на заброшенную тропу в глубине джунглей, вдали от поселений, и она привела его к огромному «длинному дому», или *maloca*, где он обнаружил множество членов племени во время празднества. На этих людях были только повязки, прикрывающие интимные места, тела были разрисованы полосками, а в проколы в ушах и ноздрях были вставлены толстые, как карандаши, палочки. Племя не хотело иметь дело с визитерами, и встреча закончилась плачевно: исчезновением Хилья и смертью нескольких членов племени. Колумбийские военные арестовали нескольких представителей племени, вызвав возмущение во всем мире. Впоследствии заключенных освободили, и военные пообещали оставить племя в покое.

Полагают, что эти люди — члены племен юри и пасса, групп, которые, спасаясь бегством от белых рабовладельцев сотни лет назад, селились



Дети из общины Борикада в резервации Кураре — Лос-Инглесес играют в сельве среди лиан

в этом районе и считались вымершими. Тем не менее в 2010 г. Франко вместе с небольшой командой совершал полеты на одномоторной «Сессне» над несколькими наиболее вероятными зонами их обитания в Кураре и Рио-Пуре. В первый же день они заметили «длинный дом», окруженный фруктовыми деревьями, и сфотографировали женщину из племени с разрисованным лицом и телом, которая явно смотрела на самолет. Отснятого материала и идентификации еще четырех *maloca* было достаточно, чтобы правительство страны и группы коренного населения согласились начать процесс разработки мер по защите изолированных народов.

В 2014 г. Роберто Франко возвращался домой из другой общины, расположенной дальше на севере, когда его самолет разбился. Все десять человек,

бывшие на борту, погибли, в том числе и Даниэль Матапи (Daniel Matar), еще один сотрудник АСТ. Это стало ужасным ударом для АСТ и для Даниэля Аристисабаль, тогда молодого чиновника Министерства внутренних дел, чья дипломная работа была посвящена сохранению уединения изолированных племен. Аристисабаль тесно сотрудничал с Роберто Франко при разработке новых законов в этой сфере. После безвременной кончины Франко Аристисабаль согласился присоединиться к АСТ и продолжить работу Роберто.

Основным принципом этой работы было объединение с группами коренного населения Кураре для поддержки их усилий по защите изолированного племени. Когда я прибыл в Кураре, общины проводили ежегодное собрание, на котором пересматривали существующие меры и разрабатывали план на следующий год. Чтобы присоединиться к ним, Аристисабаль и я направились в огромный «длинный дом» высотой 9 м с крытой пальмовыми листьями крышей.

Когда мы вошли, нас приветствовали как старых друзей. В центре строения на своих ритуальных деревянных скамейках восседали восемь мужчин — старейшин общины. Разговаривая и смеясь, они передавали по кругу высокие цилиндрические пластиковые контейнеры с *tambe*, смесью листьев коки и золы, которую мужчины закладывали металлическими ложками между губами и деснами. Вокруг старейшин друг за другом, спотыкаясь и хохоча, бегали дети, а их родители наблюдали из-за решетки из длинных досок между колоннами, поддерживающими строение. Другие члены племени отдыхали в гамаках, подвешенных к дальним стенам.

В последующие три ночи разные представители племени приходили на утрамбованную площадку в передней части *maloca*, чтобы доложить о различных мероприятиях, выполненных в предыдущем году для защиты резервации и ее обитателей. Доклады были неспешными и продуманными и давали прекрасную возможность осмыслить то, с какими проблемами сталкиваются народы, не вступающие в контакт, и их защитники.

Некоторые участники говорили о сохранении культурных традиций племен, контактирующих с внешним миром. Один молодой представитель племени рассказал о своей попытке создать книгу сказок для самых маленьких с подробным изложением традиционных легенд, которая помогла бы объяснить важность защиты священных мест и план управления резервацией. «Как вы знаете, предания старейшин очень-очень длинные. Например, о происхождении животных и зерна, — заметил он. — Мы слушали все рассказы, и было трудно их объединить». Рассказ молодого человека сопровождался хором низких, горловых «м-м-м-хм-м-м»

со стороны старейшин и других представителей общины, находившихся в *maloca*, — традиционное выражение оценки или поддержки.

Другой докладчик поднял вопрос об устойчивости флоры и фауны в резервации. Когда старейшина племени сообщил о результатах расследования незаконного убийства беременной самки тапира в зоне, где племя запретило охоту, вспыхнул ожесточенный спор о том, какого размера должен быть штраф или какой объем общественной работы возложить на виновных в качестве наказания.

Наконец обсуждение перешло к вопросам, касающимся необходимости не пускать чужаков в резервацию. И без экономического развития для региона и живущего там изолированного племени существует множество угроз. В 2015 г., до заключения мирных соглашений, к югу от Рио-Пуре колумбийские власти перехватили двух американских миссионеров-евангелистов, пытавшихся вступить в контакт с изолированными племенами и обратиться к христианству. По-видимому, миссионерам было все равно, насколько опасен такой контакт для объекта их деятельности — и для них самих.

На востоке постоянную опасность представляют нелегальные баржи с оборудованием для добычи золота, прибывающие из Бразилии. Между тем торговцы наркотиками и бандиты начали периодически появляться в тех или иных районах самой резервации, и некоторые опасаются, что их станет еще больше после демобилизации повстанцев. В 2016 г. в резервацию пришли члены отколовшейся группировки Революционных вооруженных сил Колумбии (РВСК), недовольные мирными соглашениями. Потрясающая оружием и скандируя лозунги, они убедили сына-подростка старейшины общины Кураре бежать вместе с ними.

Для того чтобы проводить мониторинг этих угроз и помогать отвечать на них, сотрудники АСТ в дополнение к работе патрулей племени, действующих на местах, используют современные технологии. В офисах в Санта-Фе-де-Богота и Виргинии сотрудники просматривают массу спутниковых снимков в поисках признаков сведения лесов и присутствия нелегальных барж и одновременно ищут жилища изолированного племени. (Снимки бесплатно предоставляет американский коммерческий оператор спутников *DigitalGlobe*. Качество снимков повышается с каждым годом: сейчас разрешение составляет 30 см — достаточно большое, чтобы рассмотреть из космоса лист банана.)

Сотрудники АСТ регулярно проводят совещания с партнерами из Национальных природных парков Колумбии, получают отчеты от проживающих на границе с землями коренного народа и, при необходимости применения силы, обращаются к союзникам в Министерстве внутренних дел и Министерстве национальной обороны. Именно

Министерство внутренних дел заранее выдало официальное предупреждение американским миссионерам, которых остановили в 2015 г. Раньше колумбийские военные совершали демонстративные полеты над приграничной территорией для отпугивания потенциальных старателей из Бразилии. А в 2017 г., после того как АСТ сообщили военным о присутствии к северу, вверх по течению, двух нелегальных барж, оборудованных для добычи полезных ископаемых, военные разбомбили эти суда.

Но в центре планов по защите остается работа самих общин коренного населения: контроль над землями, обеспечение наблюдения на местах и, когда это возможно, защита их уязвимых соседей от чужаков. В 2012 г. общины включили неприкосновенную зону в подробный план управления резервацией и установили два «контрольных поста», финансируемых АСТ; три других поста под управлением Национальных заповедников Колумбии расположены на стратегически значимых излучинах реки, на границе охраняемых территорий.

Во время патрулирования местные жители и смотрители парка не носят оружие. Они полагаются на человеческое общение: вежливо объясняют, что это охраняемая зона, не берут взяток и отступают, если почувствуют какую-то опасность. Зачастую такого простого способа достаточно: существует множество других мест для добычи и рыбалки. Но опасность насилия есть всегда.

Недавнее вторжение миссионеров свидетельствует о главном недостатке. В условиях ограниченного финансирования охранников не хватает, поэтому остаются пограничные участки, уязвимые для скрытого проникновения чужаков. На собрания члены племени жаловались, что потеря поддержки со стороны других НПО заставила их сократить число охранников на посту.

Вероятно, самый уязвимый контрольный пост находится на южной окраине территорий изолированного племени, прямо напротив границы с Бразилией, где растет число нелегальных барж для золотодобычи. Пост Пуэрто-Франко настолько удаленный, а ситуация столь опасна, что охранники должны по несколько раз в день связываться по радиации и их научили использовать кодовые слова для передачи сообщения, если они окажутся в опасности. АСТ построили поблизости тайное временное убежище с запасом продовольствия и запасной радиацией на случай нападения со стороны старателей.

Для самих членов племени участие шаманов — их духовных наставников и хранителей традиционного знания племени — обязательный элемент. Когда я был в общине, однажды днем сидевший на скамейке в «длинном доме» местный 55-летний шаман Мойсес Нилмор Якуна (Moises Nilmore Yakuna) снял висевший на его шее маленький мешочек. Он высыпал мелкий черный порошок на свою ладонь и объяснил, как он использует нюхательный табак, состоящий из табака и других ингредиентов из джунглей, чтобы «раскрыть» свой разум и мысленно связаться с членами племени. Выполняя традиционные ритуалы, включающие танцы, он и другие шаманы племени построили защитную стену: духи удерживают старателей, лесорубов и торговцев наркотиками вне запретных территорий. «Благодаря духовной работе наших мыслей мы даем им пространство, поэтому они могут жить в мире», — рассказал мне Якуна.

Это занятие настолько важное, что местные жители даже прибегают к сторонней помощи. Так

они поступили через несколько месяцев после гибели Франко, когда охранник на одном из контрольных постов вдруг заболел и умер. Этот случай, а также серия необъяснимых гроз в череде обычно солнечных дней заставили старей-

шин послать за шаманом из общины в соседнем национальном парке, находящейся в трех днях пути вверх по реке.

Шаман Альфонсо Матапи (Alfonso Matarí), которому 78 лет, говорит, что когда он прибыл, то быстро понял, что местные жители вступили в противостояние со стихиями джунглей и разгневали более могущественного шамана народа тигра. По мнению Альфонсо, самолет Роберто Франко «разбился не из-за поломки, а потому что племена не хотели, чтобы над ними летали самолеты. Полетов было много, поэтому они вызвали катастрофу». (Остальные на борту самолета стали невинными жертвами.) Охранник погиб, потому что он ступил на запретные земли рядом со священным соленым озером, и животные, которые зависят от этого озера, защищались. Матапи объясняет: «Гром, ветер и дождь были посланием от народа тигра, гласившим: "Оставьте нас в покое!" Поэтому я пытаюсь мысленно передать им: "Не волнуйтесь, мы оставим вас в покое. Мы вас не потревожим"».

Возможно, изолированные племена сами выступят инициаторами контакта со своими

«Конечно, очень трудно постоянно защищать кого-то от контакта. Но это не означает, что мы не должны уважать их желание его избежать»

Даниэль Аристисабаль, «Группа по сохранению Амазонии»

соседями на приграничной территории. Для того чтобы помочь жителям Кураре подготовиться к такому событию, АСТ и община консультируются с группами и людьми, имеющими опыт общения с не вступающими в контакт племенами. В их число входит Луис Фелипе Торрес (Luis Felipe Torres), антрополог, возглавлявший с 2012 по 2017 г. группу в Министерстве культуры Перу, которая наблюдала за резонансными случаями контакта.

В последние годы разные группы, состоящие из нескольких членов племени машко-пиро, стали довольно часто выходить из джунглей в регионе Мадре-де-Дьос на юго-востоке Перу и пытаются торговать с местными жителями. С тех пор контакты периодически продолжаются. В большинстве случаев все проходит мирно, но в 2011 и 2015 гг. недопонимание привело к гибели по меньшей мере двух жителей деревни — в них выстрелили из лука. И это заставило правительство отправить группу Торреса для урегулирования ситуации.

Торрес отмечает, что люди, приходящие из изолированного племени, часто стремятся обменять товары и еду и могут принять попытки местных жителей оградить их от потенциально загрязненных предметов за враждебные жесты. Вероятно, именно это и привело к двум случаям смерти в Перу. Торрес помог Аристисабалью организовать взаимные визиты жителей, проживающих в регионе Мадре-де-Дьос, и местных из Кураре, так что колумбийцы могли поучиться у своих «коллег».

В соответствии с новой колумбийской политикой в отношении изолированных племен, как только возникают предположения о присутствии ранее неизвестного изолированного племени, ответственность возлагается на большой круг правительственных агентств. Кроме того, предполагается расширение земельных прав и обеспечение защиты изолированных племен в случае, если подозрения об их существовании подтвердятся. В соответствии с документом необходимо разработать резервный план на случай первого контакта и создать национальный комитет по координации, в состав которого, помимо прочих, войдут лидеры коренного населения, представители национального управления по земельным ресурсам, казначейства, вооруженных сил и министерств: охраны окружающей среды, здравоохранения и внутренних дел.

Со своей стороны Даниэль Аристисабаль не питает иллюзий, учитывая масштаб проблем, с которыми он сталкивается. Если кому-то требуются напоминания, то ряд последних событий хорошо это иллюстрирует. Недавно в регион вернулась отколовшаяся группировка РВСК. Одна из групп нашла жену известного местного лидера — старейшины деревни, с которым я встречался во время своей поездки, — и угрожала убить его вместе

с семьей, если он не перестанет публично выступать по вопросу прав на землю коренных народов. И все же Аристисабаль убежден, что защита изолированных племен от контакта — это лучшее, что можно сделать. «Конечно, очень трудно постоянно защищать кого-то от контакта, — говорит Даниэль. — Но это не значит, что мы не должны уважать их желание его избежать. Почему мы должны принимать решение за них?»

В последнее время сотрудники АСТ продолжили попытки собрать доказательства, необходимые для расширения защитных мер в отношении других племен. Не так давно они, вероятно, совершили открытие в регионе, расположенном вверх по течению Какеты, где погиб Франко. В течение пяти лет сотрудники АСТ изучали фотографии высокого разрешения в поисках доказательств существования изолированной общины коренного народа, предположительно проживающего на территории Национального парка Чирибикете. Однажды в январе 2017 г. Брайан Хеттлер (Brian Hettler), сотрудник офиса АСТ в Виргинии, получил самые четкие фотографии региона из тех, что он когда-либо видел. Раньше эта местность на фотографиях обычно была закрыта облаками.

В тот день привычные облака волшебным образом рассеялись, открыв ровные площадки на вершинах гор, покрытые изумрудно-зеленым тропическим пологом сельвы, и грубые скалы — места самого крупного скопления образцов наскальной живописи доколумбовой эпохи. Хеттлер быстро заметил среди непроницаемой стены зелени белесый участок и внутри него бледно-коричневое пятно, которое, по-видимому, представляет собой сделанную человеком крышу из сухих пальмовых листьев.

Хеттлер считает, что он нашел доказательство существования еще одного изолированного поселения. АСТ уже работает с другими племенами коренного населения, проживающими в этом районе, над разработкой планов по защите. Теперь, когда правительство Колумбии приняло точку зрения АСТ, если присутствие общины в дальнейшем подтвердится, то, возможно, удастся помочь этому племени продолжить существование в нынешнем состоянии. Быть может, там удастся на некоторое время сдержать наступление современности. ■

Перевод: С.М. Левензон

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

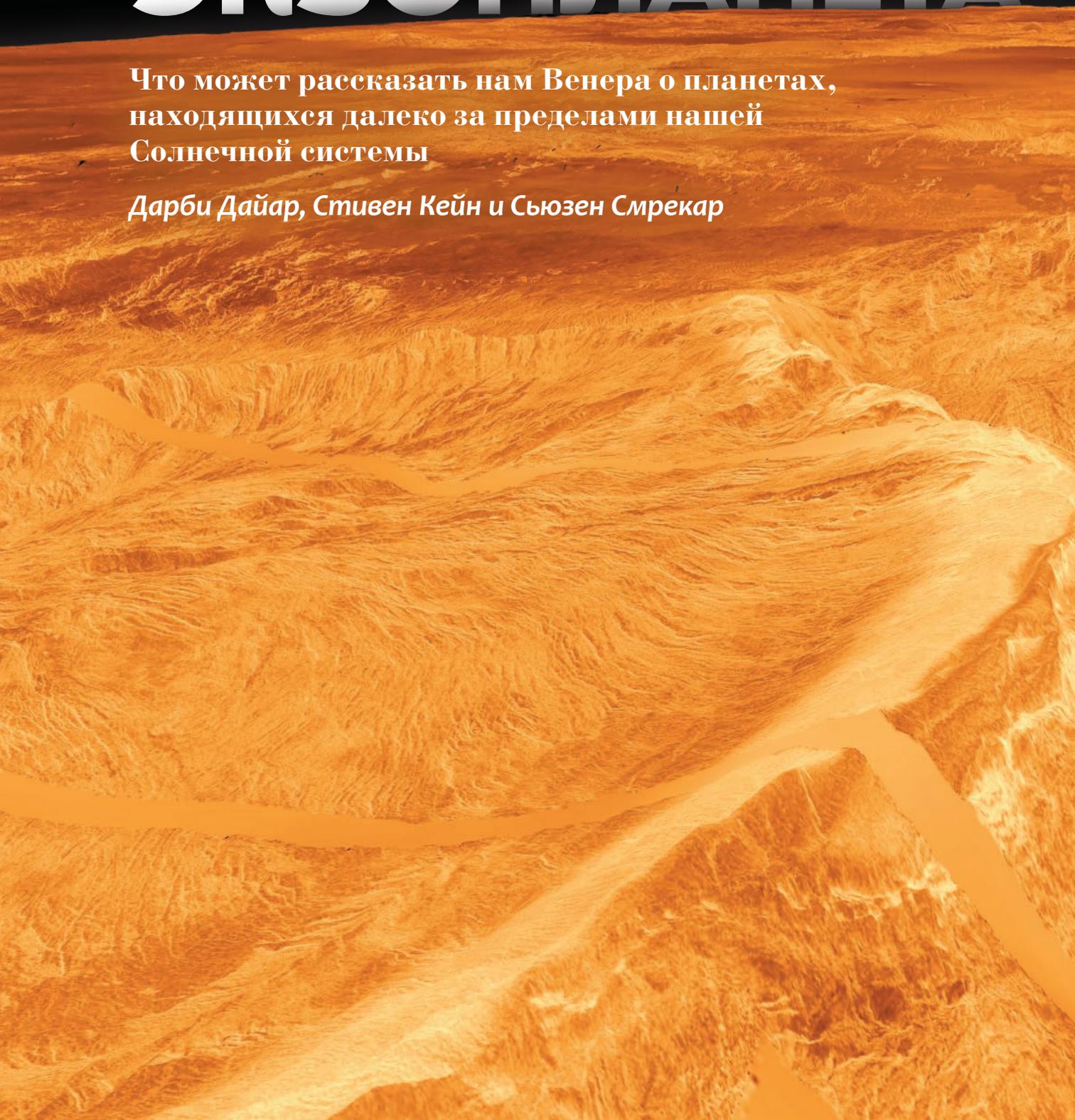
■ Colombian Government Approves Decree for the Protection of Isolated Indigenous Groups. Amazon Conservation Team. Опубликовано онлайн 18.07.2018. www.amazonteam.org/colombian-government-approves-groundbreaking-community-led-national-public-policy-for-the-protection-of-isolated-indigenous-groups

ПЛАНЕТОЛОГИЯ

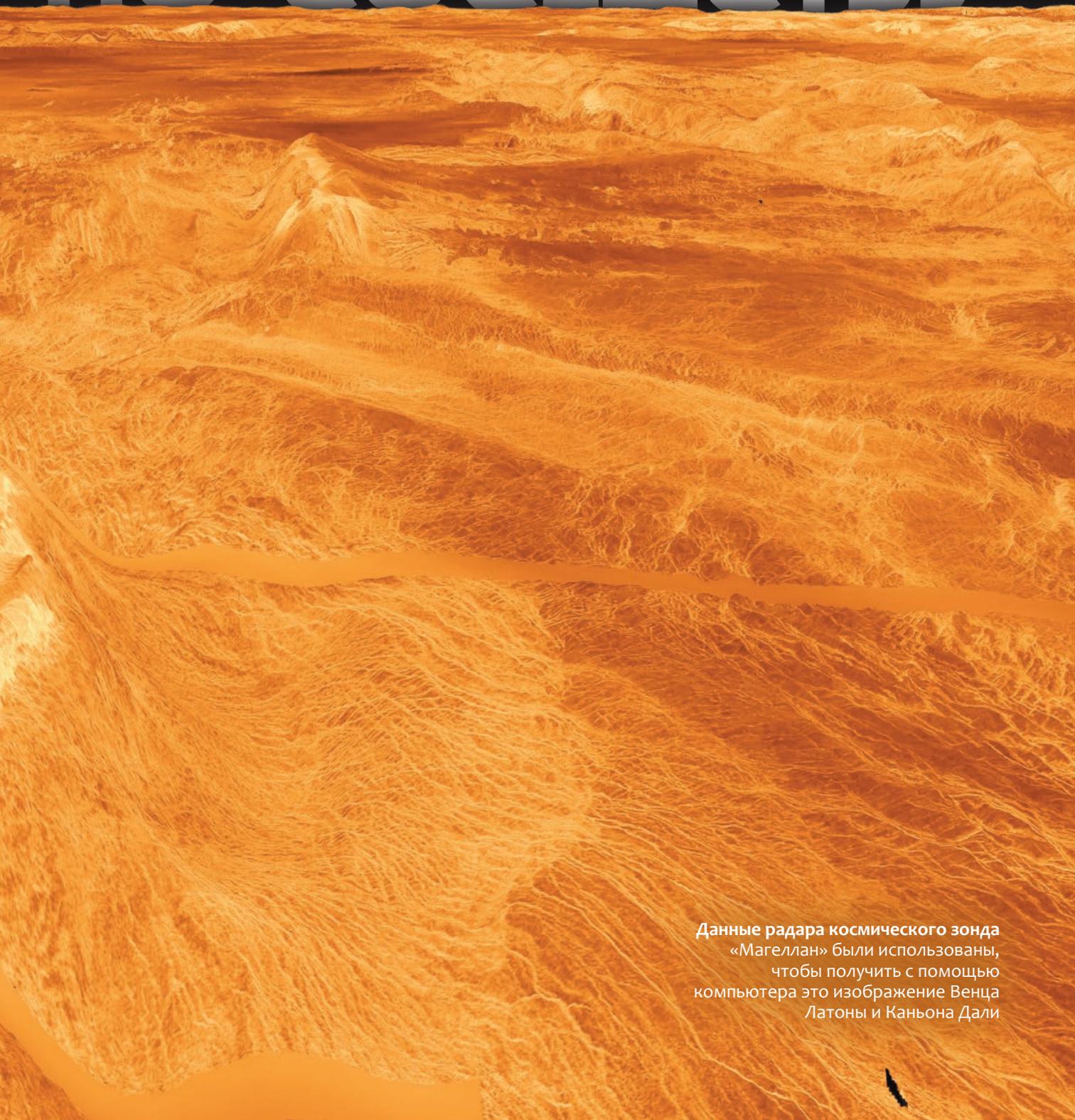
ЭКЗОПЛАНЕТА

Что может рассказать нам Венера о планетах,
находящихся далеко за пределами нашей
Солнечной системы

Дарби Дайар, Стивен Кейн и Сьюзен Смрекар



ПО СОСЕДСТВУ



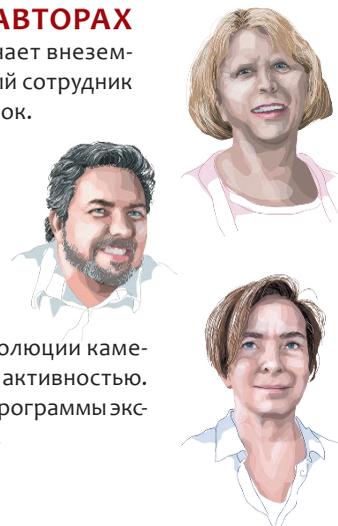
Данные радара космического зонда «Магеллан» были использованы, чтобы получить с помощью компьютера это изображение Венца Латоны и Каньона Дали

ОБ АВТОРАХ

Дарби Дайар (M. Darby Dyar) — спектроскопист-минеролог, которая изучает внеземные минералы и стекла с Луны, Марса, комет и астероидов. Старший научный сотрудник Института науки о планетах и профессор астрономии Колледжа Маунт-Холиоок.

Стивен Кейн (Stephen R. Kane) — астрофизик-планетолог, открывший сотни экзопланет и изучающий возможность существования на них жизни. Доцент факультета наук о Земле в Калифорнийском университете в Риверсайде.

Сьюзен Смрекар (Suzanne E. Smrekar) изучает различные пути эволюции каменистых планет с проявляющейся время от времени вулканической активностью. Старший научный сотрудник и заместитель научного руководителя программы экспедиции на Марс *InSight* Лаборатории реактивного движения NASA.



В 1982 г. на факультете планетологии Массачусетского технологического института все только и говорили об отмене последней флагманской экспедиции *NASA VOIR* (*Venus Orbital Imaging Radar*, «Радар для картографирования на орбите Венеры»). Одна из нас (Дарби Дайар) была в то время аспиранткой, двое других еще учились в колледже и начальной школе. Аспиранты открыто плакали в коридорах, а ветераны факультета лишь покачивали головами. Недавно избранная администрация Рональда Рейгана провела широкомасштабное сокращение программы космических исследований, и *VOIR* стала одной из жертв.

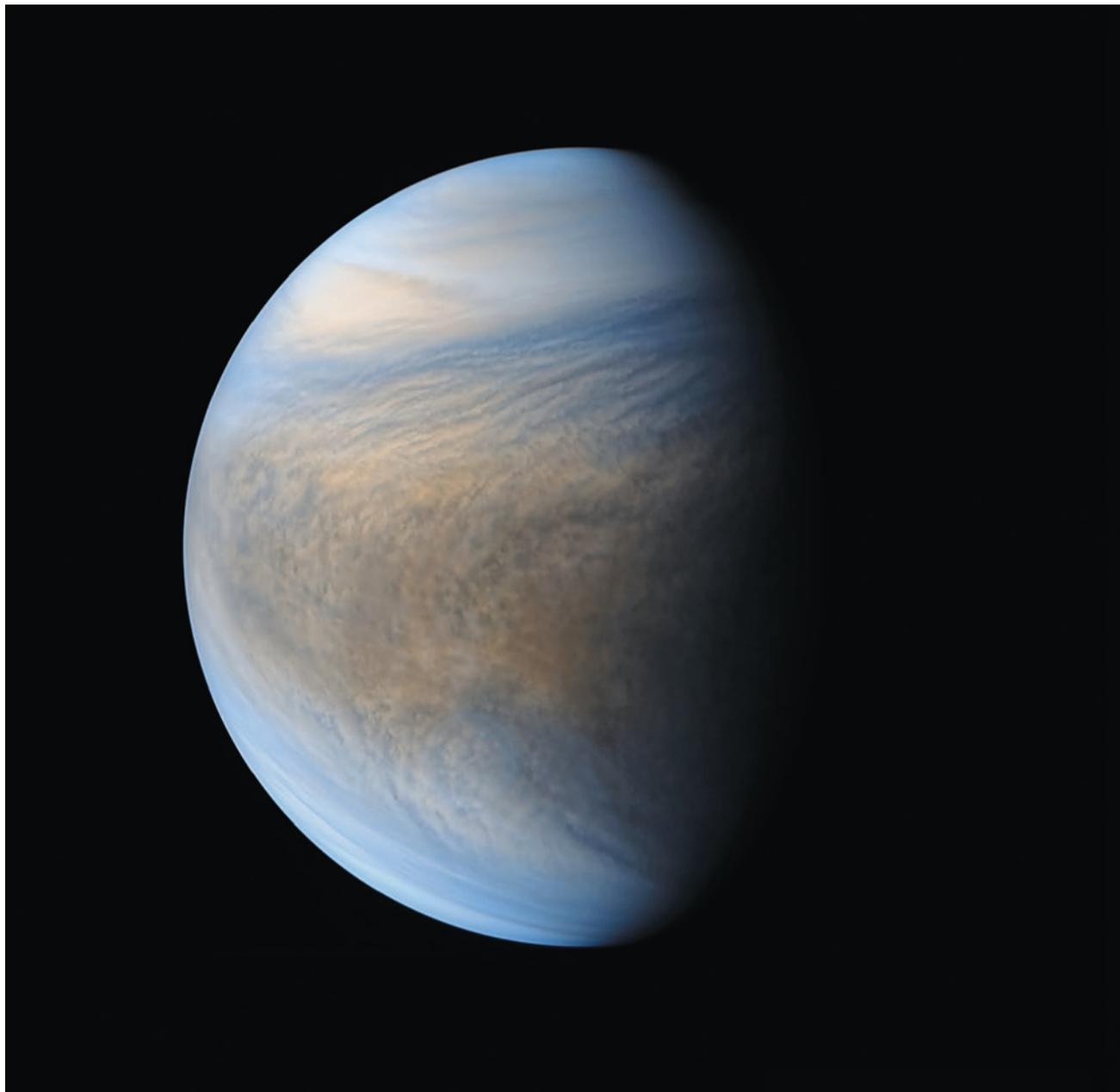
Однако вскоре после этого ученые на скорую руку сварганили проект постройки по приемлемой цене (\$680 млн) космического аппарата, собранного из остатков оборудования и чудесным образом спасшего экспедицию. В 1989 г. орбитальный аппарат «Магеллан» был запущен с целью исследования Венеры и к концу 1990 г. вышел на орбиту вокруг нее. В течение следующих пяти лет орбитальный зонд передал на Землю радарные изображения почти всей планеты, данные о ее гравитационном поле и топографическую карту второй от Солнца планеты. Эта экспедиция оказалась последней в долгой череде советских и американских экспедиций к соседней с нами планете,

но когда в 1994 г. «Магеллан» упал на поверхность Венеры, вместе с ним умерла и поддержка со стороны *NASA* аппаратов для исследования Венеры. С тех пор ученые представили более 25 предложений по возобновлению экспедиций на Венеру, и, хотя некоторые из них получили высокую оценку со стороны комиссии по рассмотрению проектов, ни один не был одобрен. Данные, собранные «Магелланом» несколько десятилетий назад, остаются базисом науки о Венере до сего дня.

Но планетологи никогда не сдаются, и, несмотря ни на что, в раскрытии секретов этой планеты мы все же добились определенного прогресса. После «Магеллана» Европейское космическое агентство

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Венера и Земля образовались примерно одинаковыми, но в какой-то момент планеты пошли разными путями. Земле удалось сохранить свои океаны и атмосферу.
- Между тем поверхность Венеры стала негостеприимна для жизни. Однако на планете — нашей соседке все еще активны вулканические процессы и есть намеки на зарождающуюся тектонику плит.
- Выяснение того, почему Венера эволюционировала именно так, а не иначе, могло бы пролить свет на возможность существования жизни на многих подобных ей экзопланетах. Необходимы новые экспедиции на Венеру.



Атмосфера Венеры, какой она предстает на этом композитном изображении, полученном японским зондом «Акацуки»; отчетливо видны плотные облака серной кислоты

и Японское агентство аэрокосмических исследований отправили успешные экспедиции к Венере, которые привели к прорыву в понимании состава и свойств ее атмосферы. Тем временем ученые в спешном порядке переписывали учебники о планете-соседке, проводя новый анализ данных с «Магеллана». Сейчас мы полагаем, что вулканы на Венере довольно многочисленны, и мы даже обнаружили намеки на начало тектонической активности, которая, как считают ученые, критически важна для обитаемости планеты. Новые теоретические модели также дают основания полагать,

что Венера, возможно, имела на поверхности воду в жидком состоянии до довольно позднего времени в своей истории, — а это означает, что условия, благоприятные для жизни, вероятно, были там значительно дольше, чем мы когда-то считали.

Все это совпадает с другим ошеломляющим открытием в астрономии: обнаружением тысяч экзопланет у других звезд, многие из которых примерно такого же размера и находятся на таком же расстоянии от своих светил, что и Венера. Все, что мы узнаем о соседней с нами планете, вероятно, сможет рассказать нам об этих далеких недосыгаемых

мирах. В частности, если мы сможем понять, могла ли Венера иметь условия, благоприятные для существования на ней жизни, и если имела, то когда, мы больше узнаем о вероятности обнаружить живые существа на множестве похожих на Венеру небесных тел в Млечном Пути.

Аналог экзопланет

Большинство экзопланет, обнаруженных на сегодня, были открыты методом прохождений, при котором астрономы наблюдают звезды в поисках слабого уменьшения их яркости, которое возникает, когда летящие по орбите планеты проходят на фоне диска звезды. С помощью этого метода мы можем измерить размер далекой планеты, но один лишь размер мало что говорит нам. Ведь если бы внеземные наблюдатели смотрели на нашу Солнечную систему, используя метод прохождений, то Венера и Земля выглядели бы почти одинаково. Однако Венера непригодна для жизни, тогда как на Земле жизнь существует непрерывно в течение вот уже 4 млрд лет.

У нас никогда не было более веской причины отправить новую большую экспедицию на часто игнорируемую вторую от Солнца планету

Мы можем и дальше проводить различия между планетами одинакового размера, измеряя их расстояния от своих звезд. «Зона жизни» — это область вокруг звезды, где каменные планеты могут иметь жидкую воду на своей поверхности. Земля, очевидно, расположена в такой зоне. Венера, как мы полагаем, когда-то была в этой зоне — но вообще-то недолго. Однако границы зоны жизни со временем сдвигаются наружу, по мере того как светимость Солнца с возрастом увеличивается. Венера сегодня вне этой зоны и занимает область, которую мы называем «зоной Венеры», где условия на поверхности настолько горячи, что, вероятно, вышедший из-под контроля парниковый эффект на планете разогрел атмосферу до такой степени, что ее океаны выкипели.

Венера и Земля формировались в одинаковых условиях — включая те, что подарили Земле ее океаны. Столкновения с кометами, вероятно, принесли лед на поверхность обеих планет. Солнечный ветер (заряженные частицы, извергаемые Солнцем), скорее всего, сформировал тонкий слой ионов водорода на поверхностях и той и другой. И когда Венера и Земля были протопланетами, строящимися из первичного пылевого диска, который вращался

вокруг Солнца, обе они накапливали водород и другие летучие вещества, химикаты, которые могут легко испаряться. Моделирование ранней Венеры показало, что поверхность планеты, возможно, была покрыта жидкой водой раньше, чем поверхность Земли, и что вода могла быть там еще примерно 1 млрд лет назад.

Тем не менее факт остается фактом: Венера сегодня угрожающе негостеприимна. Что же случилось? Может быть, Венера представляет собой конечное состояние всех обитаемых планет? Или же она просто один из многих вариантов эволюции планет такого размера? Это — некоторые из основных вопросов, для ответа на которые мы хотим вернуться на Венеру.

Скрытая поверхность

Наши знания о Венере отчасти ограничены колоссальной трудностью наблюдения сквозь плотную, ядовитую атмосферу планеты. Высоко в небе облака серной кислоты укрывают планету, словно саван. У поверхности давление атмосферы сравнимо с давлением воды на глубине около 1 км в океанах Земли. Атмосфера настолько плотная, что ее основной компонент, двуокись углерода, ведет себя как сверхкритическая жидкость, свойства которой — нечто среднее между газом и жидкостью.

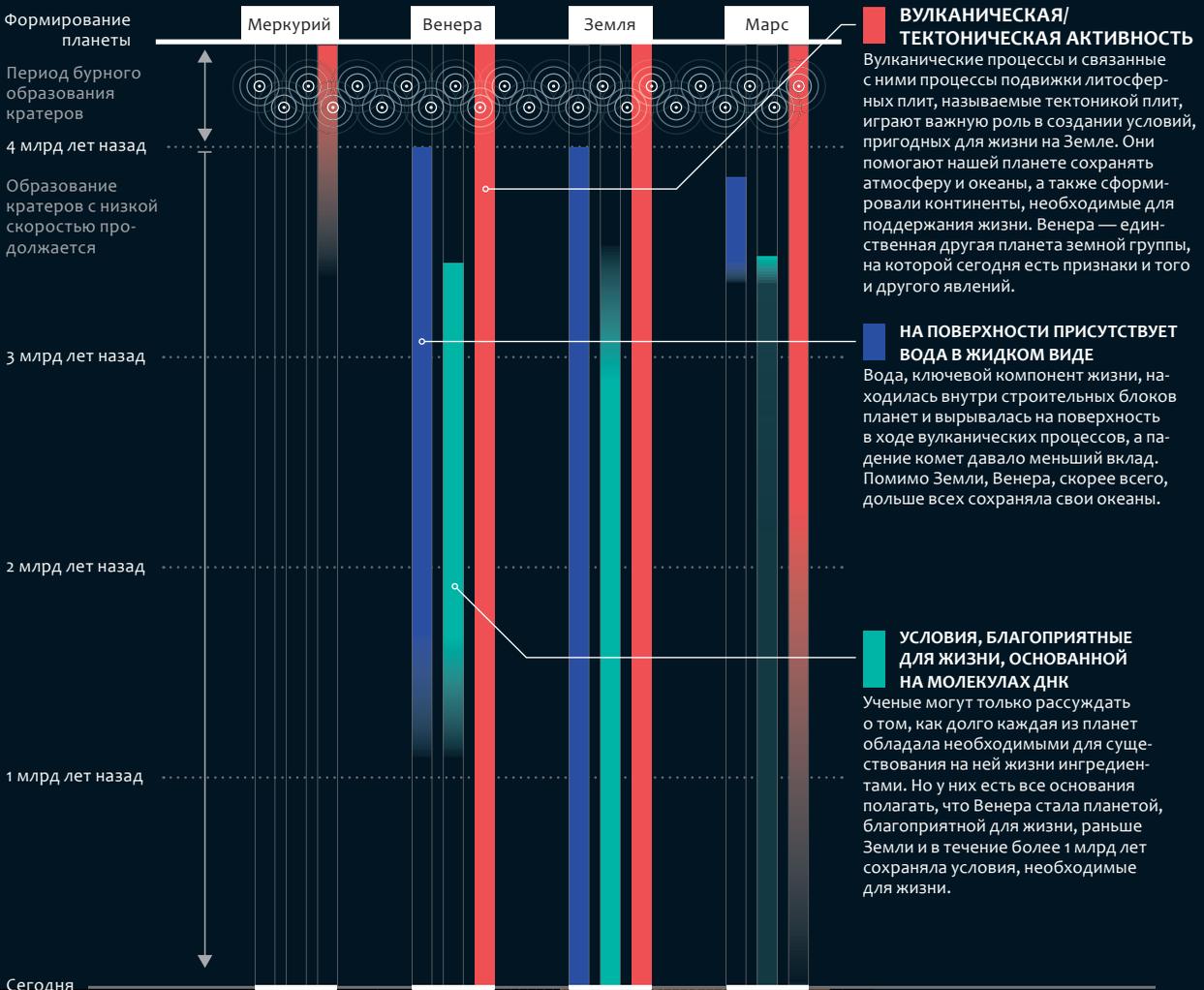
Ученые полагают, что эта атмосфера когда-то была подобной земной. Однако в отличие от нашей планеты у Венеры сейчас нет магнитного поля, чтобы отталкивать солнечный ветер. Мы полагаем, что на протяжении миллиардов лет солнечный ветер выдул воду с поверхности планеты, разлагая ее молекулы на ионы водорода и кислорода и унося их в космос. В отсутствие на поверхности планеты воды, которая растворяла бы окись углерода и другие газы, непрерывно вырывающиеся наружу из ее тверди, эти химические вещества аккумуляровались в атмосфере. Из-за парникового эффекта в атмосфере такого состава температура поверхности более чем на 400° С выше, чем на Земле, — достаточно жарко, чтобы скалы мерцали в темноте.

Единственный набор данных с поверхности Венеры был получен четырьмя советскими спускаемыми аппаратами, которые совершили посадку в 1970–1980-х гг. Эти зонды выдержали в рабочем состоянии всего несколько десятков минут на сухой поверхности планеты, но за это короткое время они собрали и послали на Землю грубые измерения тамошнего химического состава. Помимо этих данных, наши знания о минералогии поверхности базируются исключительно на противоречивых интерпретациях измерений с помощью радара, проведенных «Магелланом», и наших ограниченных представлениях о возможных химических реакциях между скалистой породой планеты и атмосферными газами в условиях, существующих на Венере.

Сравнение планет

Что делает планету пригодной для жизни? Это один из главных вопросов в астрономии. Земля и Венера поначалу были очень похожи, но одна сегодня — оплот жизни, а другая — негостеприимная пустыня. Изучая развитие вулканических процессов, тектоники литосферных плит и другие условия

на Венере, ученые надеются понять, почему планета эволюционировала именно таким образом и может ли она рассказать нам о перспективах существования жизни на многих похожих на Венеру экзопланетах в Млечном Пути.



ЗОНА ЖИЗНИ

Это зона — область вокруг звезды, где планеты могут поддерживать воду в жидком состоянии и, следовательно, потенциальную жизнь. Поскольку с течением времени Солнце стало светить ярче, границы зоны жизни отделились от него.

Зона жизни

- 1 млрд лет назад
- Сегодня

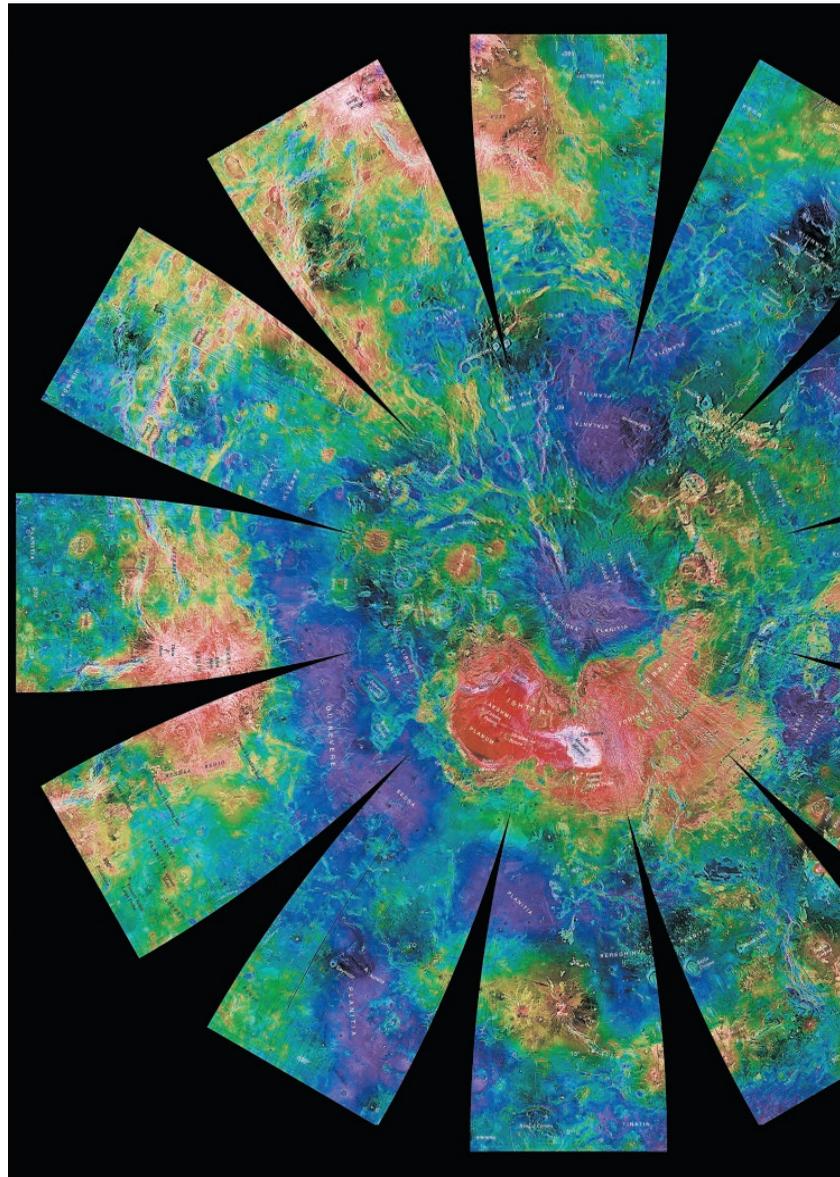
Карты, охватывающие всю поверхность Венеры, полученные на основе данных, переданных космическими зондами «Магеллан», «Венера-15» и «Венера-16», показывают разнообразие черты ее рельефа, включая округлый Венец Артемиды (отмечен квадратом), который, по всей видимости, указывает на тектонику плит

Однако недавно ученые обнаружили, что можно составить минералогическую карту минералов Венеры с орбиты, ведя наблюдения через несколько «окон» электромагнитного спектра там, где видимый свет не поглощается двуокисью углерода в атмосфере. По счастливому стечению обстоятельств эти окна совпадают с регионами, критически важными для идентификации типичных планетных минералов — оливина и пироксена, вселяя надежду, что в конце концов мы сможем определить основные компоненты венерианских пород. Европейский космический зонд «Венера-экспресс», обращающийся по орбите вокруг Венеры с 2006 по 2014 г., воспользовался одним из таких окон, чтобы составить первую карту теплового излучения от поверхности планеты для большей части ее южного полушария. Эта карта включает спектральные характеристики — пики и провалы в видимом и тепловом излучении, — с помощью которых можно идентифицировать состав минералов на поверхности.

К тому же эта карта выявила много горячих пятен — областей, излучающих так много тепла, что наиболее вероятное объяснение тому — недавняя вулканическая активность. Это многообещающее открытие, поскольку оно показывает, что в отличие от Луны, которая уже долгое время молчит, и Марса, на котором современный вулканизм в лучшем случае имеет изолированный характер, Венера все еще активна, — и это открытие подразумевает возможность того, что планета подходит для жизни.

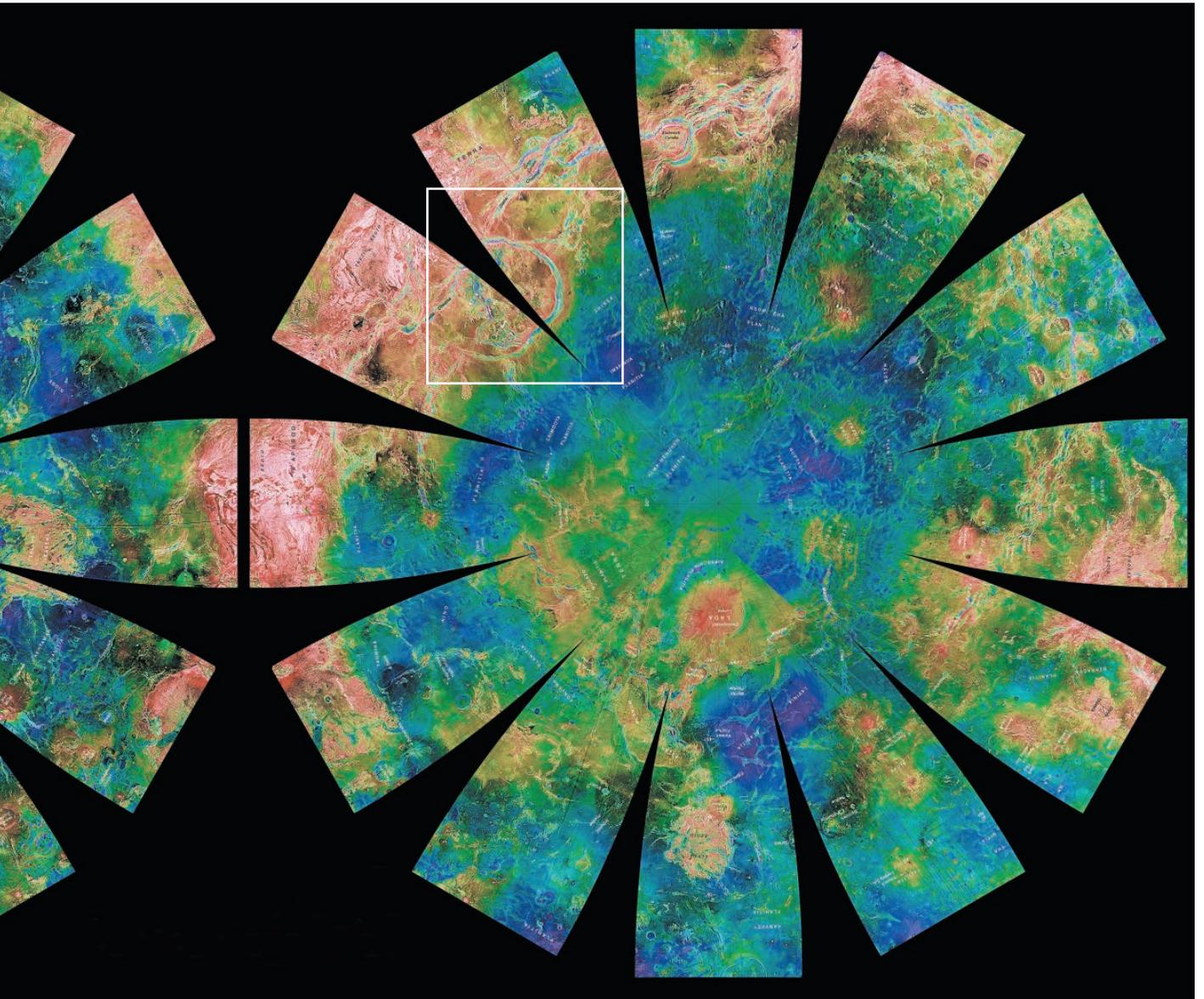
Тектоника плит

На Земле вулканические процессы обычно связывают с тектоникой литосферных плит — подвижка и скольжение больших кусков земной коры определяют основные геологические характеристики нашей планеты. С тектоникой плит связаны также долговременные климатические циклы, протекающие с периодичностью примерно в 100 млн лет, которые дали возможность возникнуть жизни на Земле. Тектонические процессы сформировали новую кору на земных срединно-океанических хребтах и дали возможность слоям этой коры погрузиться в мантию — два процесса, которые



позволили нашей планете отдать свое внутреннее тепло и остыть до температуры, при которой смогла возникнуть жизнь. Тектонические процессы также высвобождают летучие химические элементы, такие как вода, двуокись углерода и двуокись серы, из земных глубин в атмосферу и циклически загоняют эти летучие элементы назад в мантию, когда литосферные плиты проскальзывают одна под другую.

Если бы не было вулканических процессов, на поверхности планеты было бы мало воды, а значит, и места для возникновения жизни. Цикличность летучих элементов помогает поддерживать атмосферу Земли, что было критически важно для зарождения жизни. Аналогичным образом континенты, которые обеспечивают плавучую стабильную платформу над уровнем моря, чтобы морские организмы путем эволюции могли выйти



на сушу, — тоже продукт тектоники плит. По этой и многим другим причинам понимание того, есть ли на Венере тектоника плит — и почему есть или почему нет, — ключевой вопрос.

Имеющееся ограниченное количество данных позволяет полагать, что тектоника плит на Земле началась еще 4 млрд лет назад, оставив об этом мало свидетельств. По правде говоря, мы мало знаем о том, как протекала трансформация планеты от покрытого базальтом небесного тела, возможно, с океанами, к сложной системе движущихся плит со сложным рельефом. Одна из основных гипотез состоит в том, что сгустки вещества из глубин Земли, называемые твердыми восходящими потоками в мантии, или плюмами, вырываются на поверхность, вызывая субдукцию — погружение блоков одной литосферной плиты под другую. Горячие плюмы ослабляют литосферу

(которая включает в себя земную кору и верхнюю мантию) и давят вверх, вызывая появление в земной коре крупных впадин — рифтов. Давление со стороны вершины плюма может вызывать яростные вулканические процессы, что наблюдается как на Земле, так и на Венере. Нагрузка на растрескавшуюся литосферу может заставить этот слой погрузиться вниз и способствовать субдукции, посредством которой один слой литосферы проскальзывает под другой. Если такой процесс происходит достаточно часто, эти плиты сцепляются и начинается тектоника плит.

Возможно, именно это и происходит в настоящее время на Венере. Литосфера на Венере сейчас теплая и тонкая — очень похожа на ту, что была на Земле в те времена, когда тектонические процессы в ней только зарождались. И некоторые данные указывают на интригующую схожесть между

характером рельефа на Венере и земными зонами субдукции. Один из примеров — Венец Артемиды, кольцеобразное формирование вблизи экватора Венеры, которое размерами и формой похоже на Алеутский желоб, расположенный под океаном вдоль побережья штата Аляска. Ученые выдвинули теорию, что такие особенности рельефа Венеры — не что иное, как пятна, в которых плюмы, идущие от мантии, выходят на поверхность и раздвигают кору планеты.

Более того, недавние лабораторные эксперименты и моделирование на компьютерах дают основания полагать, что эти плюмы вызывают субдукцию в той области, где они прорываются сквозь верхний слой венерианской коры. В частности, эти эксперименты объясняют, почему субдукция, по-видимому, имеет место в районе только части кольца: когда хрупкая литосфера разрывается в клочья в центре, она разламывается на сегменты, точно так же как бумага рвется на клинья разной ширины, когда ее протыкают карандашом. Когда литосфера погружается вниз, она продолжает разрушаться, формируя сегменты. Если бы эти сегменты начали соединяться, мы наблюдали бы на Венере начало процессов тектоники литосферных плит.

Имеющиеся в нашем распоряжении изображения этих особенностей рельефа имеют слишком низкое разрешение, чтобы мы наверняка поняли, что мы видим. Но, судя по всему, тектоника плит на Венере находится на ранних стадиях развития. Наблюдения, выполненные «Магелланом», не представили свидетельств существования связанных между собой плит — скорее мы видим изолированные пятна, в которых субдукция только начинается, в каждом случае вокруг одной из этих круглых областей, в которых, по-видимому, и поднимаются плюмы. Возникают два вопроса: почему тектонические процессы не начались раньше и по какому пути пойдет их развитие сейчас? По мере того как со временем Венера остывает все сильнее, геологические разломы, которые сейчас обнажаются, возможно, сохранятся, давая возможность планете пройти через те же самые переходные процессы в направлении тектоники плит, которые испытала Земля. Если мы сможем увидеть начало развития тектонической активности на Венере, то этот процесс и сопровождающая его стабилизация атмосферы — возможно, обычное дело на экзопланетах, которые находятся на пути к формированию условий, пригодных для жизни.

Чтобы лучше видеть

У нас никогда не было более веской причины отправить новую большую экспедицию на часто игнорируемую вторую от Солнца планету. Имея снимки всей поверхности и ее спектральные характеристики, мы сможем дать ответ на интригующие

вопросы относительно ее вулканической активности и возможной тектоники плит на Венере. Действительно ли этот процесс имеет место сейчас? Как эти поверхностные явления связаны с тем, что происходит внутри нее? Как существующие на Венере условия, такие как температура, влияют на активность тектонических процессов? И могут ли оказаться определенные наблюдаемые нами особенности рельефа, такие как складки пород, которые ученые называют «мозаика» или «тессеры», отголосками прошлой, влажной эпохи?

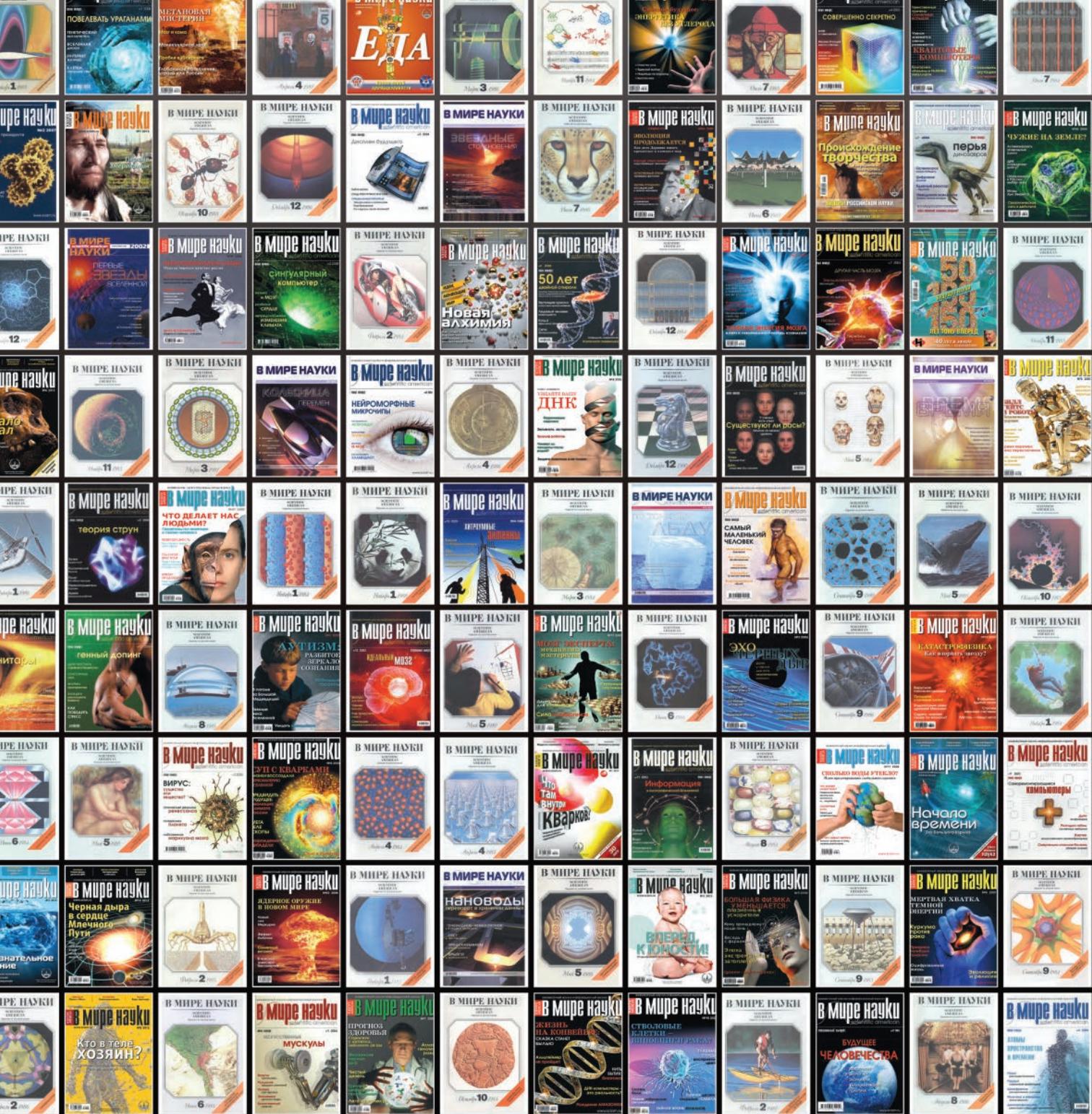
В 2019 г. NASA запросит предложения по следующей группе своих космических зондов самого малого класса — программе экспедиций *Discovery*. Еще одна из нас (Сьюзен Смеркар) и Дайар возглавляют одну из предложенных экспедиций, названную *VERITAS* (*Venus Emissivity, Radio Science, InSAR, Topography, and Spectroscopy*, «Излучательная способность, исследование в радиодиапазоне, РЛС с синтезированной апертурой, топография и спектроскопия Венеры»), которая составит намного более подробную, чем когда-либо ранее, карту поверхности. На зонде будет несколько приборов, включая фотокамеру и спектрометр, чтобы на порядок улучшить топографическое разрешение и получить первую в своем роде композиционную карту всей поверхности планеты. Другие предложения по экспедициям на Венеру также находятся в работе, и мы должны получить конечный результат в 2021 г.

Спустя почти 30 лет после того, как «Магеллан» прибыл к Венере, поколение ученых, которые запустили «Магеллан», стареет и уходит на пенсию. Экспедиция к Венере сегодня позволила бы ученым передать факел новому поколению, которое сможет приблизить нас к пониманию того, почему эволюция этой планеты, сестры нашей собственной, столь разительно отличается от эволюции Земли. Возможно, мы даже выясним, какие условия необходимы для возникновения жизни. ■

Перевод: А.П. Кузнецов

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Was Venus the First Habitable World of Our Solar System? M.J. Way et al. in *Geophysical Research Letters*, Vol. 43, No. 16, pages 8376–8383; August 28, 2016.
- Experimental and Observational Evidence for Plume-Induced Subduction on Venus. A. Davaille in *Nature Geoscience*, Vol. 10, pages 349–355; May 2017.



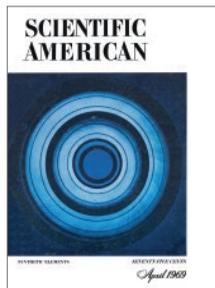
Хотите знать о науке больше?

Полный архив выпусков журнала
«В мире науки» — на сайте издания
по адресу: www.sciam.ru

В мире науки
SCIENTIFIC AMERICAN

Теперь можно купить
и отдельные статьи





АПРЕЛЬ 1969

Трансурановые элементы.

«До 1963 г. новые трансурановые элементы открывали довольно часто. Каждый шаг по увеличению числа протонов в ядре требовал все более сложных оборудования и методов, а получаемые новые ядра были все менее стабильными, что

создавало трудности при их наблюдении и идентификации. Тем не менее тяжелые искусственные элементы стали предметом еще более живого интереса благодаря успехам в развитии теории ядерной стабильности, показавшей возможность существования искусственных элементов, о которых физики и не мечтали. Одновременно огромный прогресс достигнут в получении нестабильных элементов, расположенных за элементом 98 (калифорнийем. — *Примеч. пер.*), в достаточно больших количествах, в росте знаний об их свойствах и в поисках полезного применения для них». — Гленн Сиборг (Glenn T. Seaborg) и Джастин Блум (Justin L. Bloom).

Примечание: Сиборг получил Нобелевскую премию 1951 г. по химии за работу в этой области.

Каменотесы за работой.

Считается, что единственные люди, которые изготавливают сегодня орудия, откалывая куски от каменной глыбы, — члены нескольких примитивных племен, которые все еще следуют традиции предков, а также небольшое число умельцев, делающих курки, необходимые для замков уцелевших кремневых ружей. Во время недавних археологических раскопок в Турции Жак Бордаз (Jacques Bordaz) из Монреальского университета обнаружил, что это мнение ошибочно: каменотесы в турецкой деревне Какмак ежегодно изготавливают 500 т кремневых лезвий, чего достаточно, чтобы обеспечить новыми режущими кромками все вкладыши молотильных досок в сельскохозяйственных районах страны. Турецкие производители пшеницы отделили зерна от колосьев, протаскивая салазки через разложенные на току снопы. На каждой молотильной доске закреплены 600–800 лезвий длиной около 50 мм. Каменотес может сделать из добываемых поблизости кремневых глыб более 220 кг лезвий в день.



Грезы о будущем: пассажиры отдыхают в кормовом салоне воздушного судна, пересекающего Атлантический океан, 1919 г.



АПРЕЛЬ 1919

Воздушные путешествия.

Замена гелием взрывоопасного водорода — вклад Америки в военную авиацию — устраняет одно из самых больших предубеждений против летательных аппаратов легче воздуха. Теперь, когда используется гелий, который не воспламеняется,

уже не надо беспокоиться о пожаре во время полета или стоянки. Можно располагать где угодно двигатели, а также размещать кухню и отопительную установку, поскольку дирижабль — больше не огромное хранилище опасной взрывчатки, готовой вспыхнуть от малейшей искры. Честно говоря, аэропланы сегодня коммерчески невыгодны и далеко отстают в этом отношении от дирижаблей. Аэроплан должен составить конкуренцию скоростному поезду, тогда как дирижаблю (на илл.) суждено стать перевозчиком пассажиров и грузов на дальние расстояния наряду с межконтинентальными пароходами.



АПРЕЛЬ 1969

Мясо на льду.

Новое изобретение — устройство для приготовления льда и охлаждения — было испытано на борту судна «Уильям Табер», стоящего у причала в Нью-Йорке, в присутствии нескольких приглашенных ученых и инженеров.

Судно оснащено этой аппаратурой для длительного хранения свежей говядины и других скоропортящихся продуктов и отправится в Техас на следующей неделе. В механизме, по-видимому, используются насосы для сжижения углекислого газа, затем превращения его снова в газ — и так до бесконечности.

Высокая мода в игрушках.

Главная французская игрушка — это кукла, но не та кукла-ребенок, которую нянчат девочки, а модель девушки, облаченной в наряды высокой моды, и один из ведущих портных меняет ее костюм каждый месяц. В качестве оправдания слишком раннего приобщения детей к пышным нарядам было объяснено, что эти куклы служат моделями для модниц, живущих далеко от Парижа, и лишь потом попадут в руки их детям. У французских кукол в отличие от наших головы сделаны не из воска, а из фарфора. ■

Senior Vice President and Editor in Chief:	Mariette DiChristina	Contributing editors:	David Biello, W. Wayt Gibbs, Ferris Jabr, Anna Kuchment, Robin Lloyd, George Musser, Christie Nicholson, John Rennie
Executive Editor:	Fred Guterl	Art Contributors:	Edward Bell, Bryan Christie, Lawrence R. Gendron, Nick Higgins
Design Director:	Michael Mraz	Art director:	Jason Mischka
Managing Editor:	Ricki L. Rusting	Senior Graphics Editor:	Jen Christiansen
Digital Content Manager:	Curtis Brainard	President:	Dean Sanderson
News Editor:	Dean Visser	Executive Vice President:	Michael Florek
Opinion Editor:	Michael D. Lemonick	Executive Vice President,	
Senior Editors:	Eliene Augenbraun, Christine Gorman, Steve Mirsky, Clara Moskowitz, Debbie Ponchner, Claudia Wallis, Kate Wong,	Global Advertising and Sponsorship:	Jack Laschever
Associate Editors:	Sunya Bhutta, Lee Billings, Andrea Gawrylewsk, Larry Greenemeier, Dina Fine Maron, Annie Sneed, Amber Williams	Publisher and Vice President:	Jeremy A. Abbate

© 2019 by Scientific American, Inc.

В мире науки

Оформить подписку на журнал «В мире науки» можно:

в почтовых отделениях по каталогам:
«Роспечать», подписной индекс:
 81736 — для физических лиц,
 19559 — для юридических лиц;
«Почта России», подписной индекс:
 16575 — для физических лиц,
 11406 — для юридических лиц;
«Пресса России», подписной индекс: 45724,
www.akc.ru

по РФ и странам СНГ:
 ООО «Урал-Пресс»,
www.ural-press.ru
 СНГ, страны Балтии и далее зарубежье:
 ЗАО «МК-Периодика»,
www.periodicals.ru
 РФ, СНГ, Латвия:
 ООО «Агентство "Книга-Сервис"»,
www.akc.ru

Читайте в следующем номере

Внутренний мир нейтронных звезд

Недра самой плотной формы вещества во Вселенной долгое время хранили тайну, которую ученые начинают постигать только сейчас.

Машина желаний

Нейрокомпьютерный интерфейс нового поколения способен понимать намерения человека.

Распутать геном

Последние данные о механизме образования петель в геномной ДНК свидетельствуют об их участии в регуляции активности генов.

Попытка регенерации

Показана способность отвергнутого ранее лекарственного вещества восстанавливать поврежденные органы.

Кто еще использует орудия

Находки каменных орудий, оставленных нечеловекообразными приматами, проливают свет на происхождение технологических изобретений.



Скорбь кошатки

Почему одни виды животных переживают горе, а другие — нет?

Математика против вируса

Как математический анализ способствовал борьбе с ВИЧ.



Квантовая гравитация в лаборатории

Практические эксперименты, необходимые для создания «теории всего», становятся возможными?



ИНТЕРНЕТ-ПОРТАЛ

Научная Россия

<http://scientificrussia.ru>

