

# В мире науки

SCIENTIFIC  
AMERICAN

Ежемесячный  
научно-информационный  
журнал

[www.sci-ru.org](http://www.sci-ru.org)

11 2021

12+

ПРИОРИТЕТЫ ТИМИРЯЗЕВСКОЙ АКАДЕМИИ // СПАСТИ ПУМ ЛОС-АНДЖЕЛЕСА

## ОБРАТНО К ВЕНЕРЕ

Три новые миссии прольют  
свет на тайны адского  
двойника Земли





94



48

## Темы номера

### ПЛАНЕТОЛОГИЯ

#### Снять проклятие Венеры 4

*Робин Эндрюс*

Три новые космические экспедиции призваны возродить исследования давно обделенной вниманием соседки Земли и, возможно, помогут понять, как и почему она стала зловещим близнецом нашей планеты

### МИРОВАЯ ЭКОНОМИКА

#### Экономика vs коронакризис 16

*Анастасия Рогачева*

Пандемия COVID-19 диктует сегодня условия глобальной экономической и политической реальности. О механизмах, трендах и прогнозах рассуждает член-корреспондент РАН **Сергей Афонцев**

### НЕЙРОНАУКИ

#### Где живет наша память? 24

*Янина Хужина*

Где хранятся наши воспоминания? Чем травматическая память отличается от обычной? Чего не хватает для построения единой теории мозга? На эти и другие вопросы отвечает нейробиолог **Ольга Ивашкина** из НИЦ «Курчатовский институт»

# СОДЕРЖАНИЕ

Ноябрь 2021

### АСТРОФИЗИКА

#### Путешествия во времени — фантастика или реальность? 32

*Наталья Лескова*

Что такое черные дыры? Существуют ли кротовые норы? Можно ли с их помощью путешествовать в параллельные вселенные и во времени? Будут ли обнаружены эти объекты с помощью проекта «Миллиметрон»? Объясняет член-корреспондент РАН **Игорь Новиков**

### СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО

#### Генетика и прогнозы: урожай будущего в лабораториях Тимирязевской академии 40

*Александр Бурмистров*

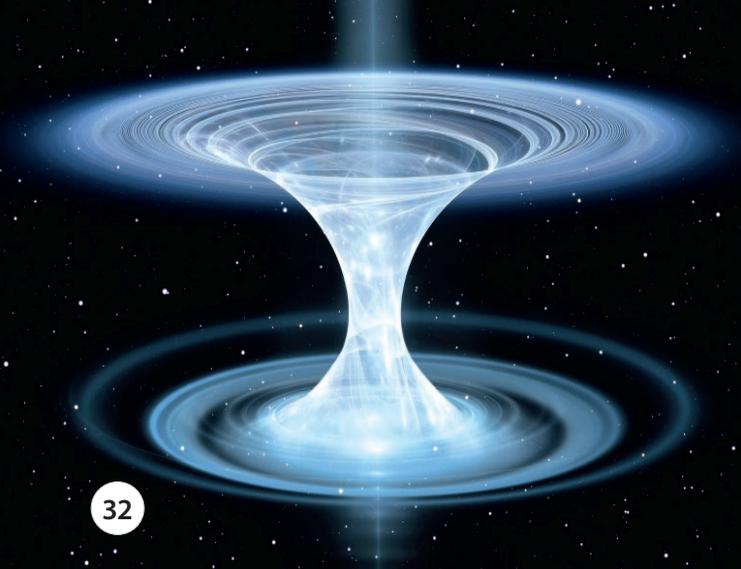
Какие задачи стоят сегодня перед сельскохозяйственными науками? Как селекционные и генетические исследования отвечают на изменения климата? Рассказывает ректор РГАУ — МСХА им. К.А. Тимирязева академик **Владимир Трухачев**



82



24



32



40

**СПЕЦИАЛЬНЫЙ РЕПОРТАЖ**

**Тело против самого себя**

Миллионы людей страдают от атак иммунной системы, которая должна их защищать. В современной науке появились новые версии того, что при этом происходит и как это остановить

**Предательство изнутри**

*Мария Кошикова*

Мир человека с аутоиммунным заболеванием: страшные симптомы, странные анализы, неэффективное лечение

**Аутоиммунные заболевания в числах**

*Мадди Бендер*

В списке уже около 80 болезней, и он продолжает пополняться

**Как стартуют аутоиммунные заболевания**

*Стефани Сазерленд*

Если орган испытывает стресс, это может спровоцировать атаку иммунной системы

**Женщины в группе риска**

*Мелинда Уэннер Мойер*

Примерно 80% людей с аутоиммунными заболеваниями — женщины

**48 Контроль повреждений**

*Марла Бродфут*

Вместо того чтобы затормозить работу всей защитной системы организма, ученые пробуют использовать более узконаправленные методы

**ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА**

**Охота на метан**

*Анна Качмент*

Новые технологии помогут точно определять выбросы метана, но как их воспримут нефтегазовые компании и регулирующие госорганы?

**ОХРАНА ПРИРОДЫ**

**Пумы Лос-Анджелеса**

*Крейг Питтман*

Уровень инбридинга в популяции пум Санта-Моники стал настолько высоким, что у зверей начинают возникать генетические дефекты. Животных может спасти сооружение крупнейшего в мире экодука над автострадой

50

54

58

66

73

82

94

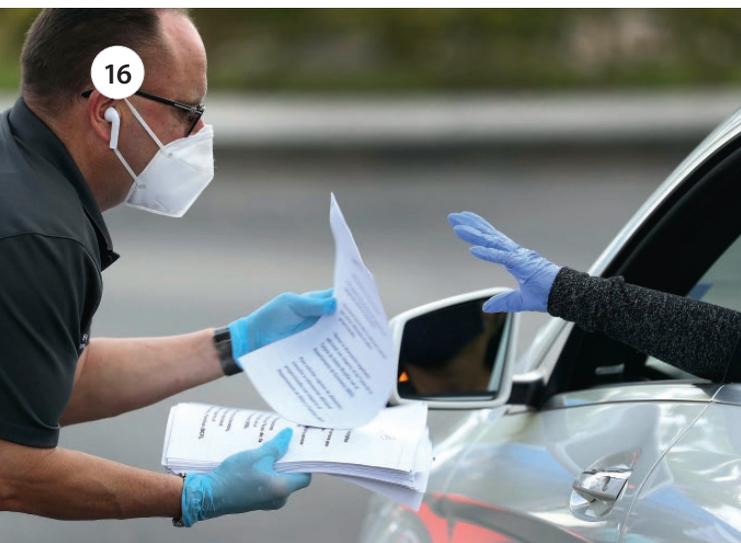
**Разделы**

От редакции

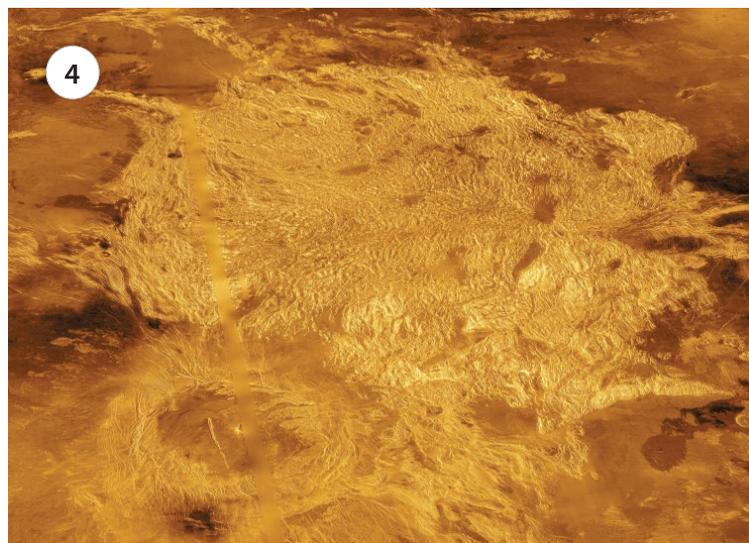
50, 100, 150 лет тому назад

3

104



16



4

# В мире науки

SCIENTIFIC  
AMERICAN

## Наши партнеры:



НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»



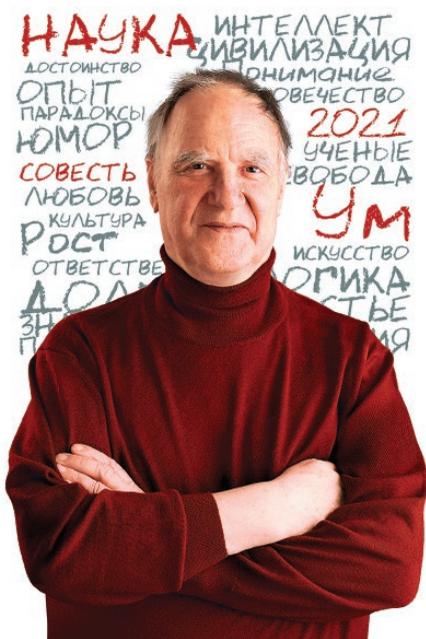
РОСАТОМ



Сибирское отделение РАН



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.А. Садовничий

## Главный научный консультант:

президент РАН акад. А.М. Сергеев

## Ответственный секретарь:

О.Л. Беленицкая

## Шеф-редактор иностранных материалов:

А.Ю. Мостинская

## Выпускающий редактор иностранных материалов:

В.Д. Ардагатская

## Зав. отделом российских материалов:

О.Л. Беленицкая

## Выпускающий редактор:

М.А. Янушкевич

## Обозреватели:

В.С. Губарев, В.Ю. Чумаков

## Администратор редакции:

Э.Х. Мусина

## Научные консультанты:

член-корр. РАН С.А. Афонцев; член-корр. РАН Н.Н. Колачевский;

член-корр. РАН И.Д. Новиков; к.ф.-м.н. В.Г. Сурдин; акад. В.И. Трухачев

## Над номером работали:

М.С. Багоцкая, А.С. Бурмистров, О.И. Ивашкина, А.П. Кузнецов, Н.Л. Лескова,

А.И. Прокопенко, А.И. Рогачева, В.И. Сидорова, Я.Р. Хужина, А.В. Щеглов

## Дизайнер:

Д.А. Гранков

## Верстка:

А.Р. Гукасян

## Корректора:

М.А. Янушкевич

## Фотографы:

Е.М. Либрик, Н.Н. Малахин, Н.А. Мохначев

## Директор НП «Международное партнерство распространения научных знаний»:

А.Ш. Геворгян

## Заместитель директора НП «Международное партнерство распространения научных знаний»:

В.К. Малахина

## Финансовый директор:

Л.И. Гапоненко

## Главный бухгалтер:

Ю.В. Калинкина

## 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:

ПАО «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 № 0911

© 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.



Снимок поверхности Венеры, выполненный со спускаемого аппарата советского зонда «Венера-14», 1982 г.

## Тайны науки и жизни

«Путешествия во времени — фантастика или реальность?»: так озаглавлено интервью с научным руководителем Астрокосмического центра Физического института им. П.Н. Лебедева РАН И.Д. Новиковым. В нем идет речь о самом интересном и таинственном: черных дырах, кротовых норах, параллельных вселенных и т.п. Некоторые из этих объектов могут быть обнаружены с помощью отечественного астрофизического проекта «Миллиметр». Это государственная программа, посвященная работе с мощнейшими аппаратными и космическими возможностями. Как пример: с помощью таких инструментов можно читать книгу, находящуюся на поверхности Марса.

Оказывается, ученые спорят, какая из планет самая красивая. Те, которым нравится Венера, десятилетиями чувствовали пренебрежительное к ней отношение, их любимая планета постоянно пребывала в тени изъезженного марсоходами Марса. Но теперь американские исследователи направляют к этой планете три масштабные экспедиции. Из статьи «Снять проклятие Венеры» можно узнать, почему специалисты по нашей соседке так рады этому событию.

Кроме тайн космических есть тайны земные, и самая невероятная из них — человеческий мозг, в частности такая его структура,

как память. Как она работает? Каков ее лимит? Где хранятся наши воспоминания? Чем травматическая память отличается от обычной? Можно ли стереть неприятные воспоминания? Эти исследования ведутся в лаборатории нейронаук Курчатовского комплекса НБИКС-природоподобных технологий. Читайте об этом в материале «Где живет наша память?».

Среди наиболее тяжело поддающихся лечению особое место занимают аутоиммунные заболевания. Они возникают в результате того, что иммунная система ошибочно атакует собственный организм. Причины этого часто неизвестны. Аутоиммунные заболевания, такие как волчанка, диабет, тиреозит Хашимото, псориаз, ревматоидный артрит и многие другие, встречаются довольно часто, и многие из них становятся все более распространенными. В специальном репортаже, посвященном аутоиммунным заболеваниям, рассматриваются некоторые из самых бурно развивающихся и наиболее важных исследований по этой проблематике, проводимых сегодня. Ученые все больше понимают о том, как возникают эти расстройства, и выявляют новые перспективные подходы к их лечению. ■

Редакция журнала «В мире науки / Scientific American»

ПЛАНЕТОЛОГИЯ

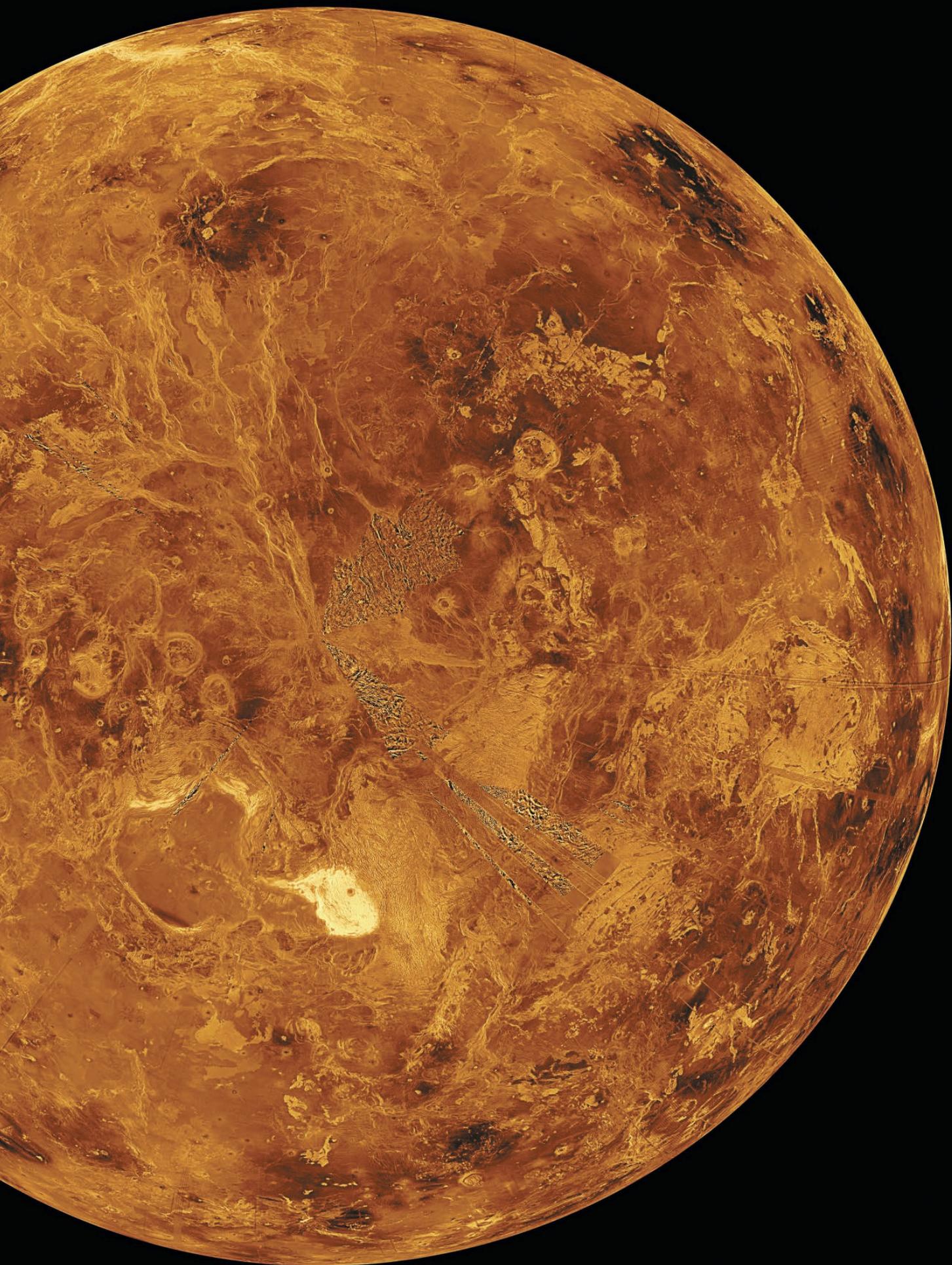
# СНЯТЬ ПРОКЛЯТИЕ ВЕНЕРЫ

Три новые космические экспедиции призваны возродить исследования давно обделенной вниманием соседки Земли и, возможно, помогут понять, как и почему она стала зловещим близнецом нашей планеты

*Робин Эндрюс*

**Общий вид** северного полушария Венеры, построенный на основе радиолокационных данных орбитального зонда *NASA Magellan*, который заглядывал под покров клубящихся облаков планеты с 1990 по 1994 г.





## ОБ АВТОРЕ

**Робин Эндриус** (Robin George Andrews) — вулканолог и научный журналист, проживающий в Лондоне. Его новая книга «Супервулканы: что они рассказывают о Земле и других планетах» (*Super Volcanoes: What They Reveal about Earth and the Worlds Beyond*) выйдет в ноябре 2021 г.



# К

ак и многие другие дети, Сью Смрекар (Sue Smrekar) мечтала о том, чтобы однажды отправиться в космическое путешествие. Но стала она не астронавтом, а планетологом-геофизиком Лаборатории реактивного движения NASA, где занималась роботами — исследователями других миров. В некотором смысле судьба Сью как исследователя планет, по-видимому, была предопределена еще до рождения: ее отец родился в сельской общине в штате Пенсильвания под названием Винус.

Именно поэтому, наверное, самой первой космической задачей, над которой работала Смрекар, был орбитальный зонд «Магеллан Венеры» (*Venus Magellan*). Запущенный в 1989 г., *Magellan* был оснащен радиолокационной системой, которая позволила заглянуть сквозь густые облака планеты и впервые нанести на карту рельеф всей ее поверхности. Смрекар вспоминает, как следила за появлением первых радиолокационных изображений, открывающих странную планету, покрытую небольшим количеством кратеров, огромным числом вулканов и холмистыми равнинами застывшей лавы. Данные, полученные «Магелланом», вновь привлекли внимание к одному из самых

животрепещущих вопросов в планетологии, до сих пор остающихся без ответа: что привело Венеру — вторую планету от Солнца и близкого по размеру и составу двойника Земли — в такое крайне неподходящее для жизни апокалиптическое состояние? Почему история этих двух похожих друг на друга планет-соседей столь различна?

Исследования зонда *Magellan* завершились в 1994 г., когда NASA в последний раз отправило к Венере специальную экспедицию. Как раз в то время, когда Смрекар и ее старшие коллеги взялись за разгадку недавно выявленных секретов планеты, общественное воображение было захвачено сенсационными заявлениями о существовании



жизни на Марсе. Сегодня, четверть века спустя, значительная часть мирового сообщества планетологов все еще поглощена поисками марсианской жизни, до сих пор не давшими результата. Все это время Венера — кислотная, чрезвычайно жаркая, засушливая и, по всей видимости, безжизненная пустыня — пребывала в забвении.

Переломный момент наступил в июне, когда NASA объявило о своем последнем выборе новых межпланетных экспедиций в рамках исследовательской программы *Discovery* (*серии финансируемых NASA космических экспедиций по исследованию Солнечной системы.* — Примеч. пер.). На рассмотрение американского космического агентства были представлены четыре экспедиции: одна — посещение спутника Нептуна, другая — встреча со спутником Юпитера и еще две, получившие название *DAVINCI+* и *VERITAS*, каждая из которых независимо друг от друга имела целью возвращение к Венере.

«Мы все очень надеемся, что "проклятие Венеры" будет снято», — сказала накануне объявления результатов Смеркаер, главный научный сотрудник проекта *VERITAS*. Она и ее коллеги уповали на то, что NASA, возможно, даст зеленый свет одной из экспедиций к Венере. К огромному удивлению Смеркаер, космическое агентство выбрало для полета оба исследовательских аппарата — и *VERITAS*, и *DAVINCI+*. Цель двух взаимодополняющих экспедиций — исследование возможной обитаемости планеты в прошлом. Впервые за три десятилетия NASA решило вернуться на Венеру — и не единожды, а дважды.

Хорошие известия не переставали поступать. Всего через неделю после долгожданного решения NASA Европейское космическое агентство объявило, что к вечеринке присоединится орбитальный

аппарат «Предвидение» (*EnVision*), который будет проводить научные исследования отдельных районов планеты. Венерианский ренессанс начался.

### Спиной к дьяволу

Еще в начале года не было абсолютной уверенности, что возвращение к Венере состоится. История, казалось, давала понять, что время, когда Венера была в центре внимания, уже прошло. В 1960-х и 1970-х гг. планета стала одним из фронтов холодной войны в космосе, когда и США, и Советский Союз отправили к ней по несколько экспедиций. Но с каждой очередной попыткой становилось все яснее, что планета чудовищно плохо подходит для будущих исследований.

Плотная, душлимая атмосфера Венеры на 95% состоит из углекислого газа. Слои ее облаков насыщены серной кислотой, которой достаточно, чтобы в мгновение ока продырявить кожу, кости и металл. Окажись вы на поверхности, едкий кислотный дождь вам бы не грозил, но только потому, что дождь там невозможен: поверхность планеты разогрета до температуры более 460° C, а это достаточно жарко, чтобы поджарить любого астронавта или робота. Если бы вы чудесным образом оказались термостойкими, вам пришлось бы побороться с атмосферным давлением на поверхности Венеры, которое там примерно в 90 раз больше, чем на Земле, что вызывает ощущения, подобные пребыванию под водой на глубине примерно 900 м или более. Независимо от того, в каком районе планеты вы окажетесь, вы умрете быстрой, но мучительной смертью.

После окончания экспедиции «Магеллан» Венера оставалась довольно одинокой. Европейский зонд «Венерианский экспресс» (*Venus Express*) пребывал на ее орбите с 2006 по 2014 г. Японский



Снимки поверхности, такие как эта панорама 1982 г. со спускаемого аппарата советского зонда «Венера-14», открыли взору только унылые пейзажи вулканических пород под убийственно агрессивным небом

орбитальный зонд «Акацуки», который успешно вышел на орбиту в 2015 г., остается там по сей день, продолжая изучать атмосферу Венеры и охотиться за ее трудноуловимыми молниями. Если бы все зависело от Пола Бирна (Paul Byrne), ученого-планетолога из Университета штата Северная Каролина и бесстрашного фаната Венеры, то сегодня вокруг планеты летали бы и спускались на ее поверхность множество космических аппаратов. Но увы: Венера — это планета, до которой в течение примерно 30 лет никому не было дела, отмечает Бирн.

Переломный момент наступил в 1996 г., когда небольшая группа авторитетных ученых опубликовали статью, в которой они объявили об обнаружении микроскопических окаменелостей в марсианском метеорите *ALH 84001*. Президент Билл Клинтон выступил на Южной лужайке Белого дома с речью об этом открытии, объявив всему миру, что «американская космическая программа использует всю свою интеллектуальную мощь и технологическое мастерство для поиска новых доказательств существования жизни на Марсе».

Собственно говоря, это открытие не принесло ожидаемых результатов: дальнейшие исследования, о которых сообщалось с гораздо меньшей помпой, дали основание предположить, что «микророкаменелости» с равным успехом могли быть и полностью абиотическими минеральными образованиями. Но мечта найти жизнь оказалась слишком завораживающей, чтобы ее можно было просто так отбросить. Одна экспедиция за другой отправлялись на Красную планету, и каждая новая развивала успехи предшествующих и усиливала привлекательность Марса как первой остановки на пути исследования планет. «Не хочу сказать, что Марс имеет незыблемую власть над широкой публикой, — говорит Бирн, — но отчасти это так». Он постоянно шутит, что хотел бы взорвать Марс, как «Звезда Смерти» Альдераан («Звезда Смерти» — боевая космическая станция из киноэпопеи Джорджа Лукаса «Звездные войны», способная уничтожать целые планеты. С ее помощью была разрушена планета Альдераан. — Примеч. пер.), и тогда все были бы вынуждены пересмотреть свое отношение к Венере. Однако в каждой шутке есть доля правды.

Но даже если бы Марс был безвозвратно стерт с лица небес, проблема никуда бы не делась, потому что Венера активно уничтожает дроидов. Орбитальные зонды выживают достаточно хорошо, но для изучения поверхности требуется совершенный радар, способный проникнуть сквозь плотные покрывающие планету облака. И наоборот: обладающий более тонкой и прозрачной атмосферой и холодной сухой поверхностью, лишь время от времени допекаемый пыльными бурями глобального масштаба «Марс — идеальное место для

исследования поверхности планеты», — объясняет Бирн. Но разве Марс более ценен для науки, чем Венера? «Мне и в голову никогда не приходило ничего подобного».

Один из аргументов против Марса — его размер. Обладая всего лишь одной шестой объема Земли и одной десятой ее массы, он совсем не похож на Землю, по крайней мере в сравнении с Венерой, которая по этим показателям — практически двойник нашей планеты. Есть, конечно, проблема с окружающей ее средой, которая убивает космические аппараты. Разрабатывается теплостойкая электроника, способная противостоять венерианскому аду, для проведения исследований непосредственно на поверхности планеты, но пока не существует ничего, что могло бы дать такой экспедиции возможность продержаться там дольше двух часов. При всем этом, уверен Бирн, большое сходство Венеры с нашей планетой делает ее лучшим объектом для изучения процессов, которые создают — и разрушают — планеты земного типа. «Изучение Венеры будет идти нелегко, — говорит Бирн. — Но это не причина, чтобы вообще этого не делать».

### Искатель истины, художник и провидец

Программа межпланетных экспедиций NASA класса *Discovery* известна своей относительно невысокой стоимостью (около \$600 млн за проект), при этом от нее действительно захватывает дух. Обычные группы ученых и инженеров в течение нескольких лет совместно трудятся над разработкой подробнейших предложений, которые затем оцениваются старшими должностными лицами агентства. Конкурсный процесс отбора безжалостен: на каждого победителя приходится десятки потерпевших неудачу, в его ходе определяется, какие области Солнечной системы будут исследованы в рамках предстоящих космических программ США. И *VERITAS*, и *DAVINCI+* получили желанное место в графике запусков *Discovery* не посредством сентиментальных воззваний. Каждый из предложенных проектов представляет собой техническую вершину изобретательности и проработан в мельчайших деталях, чтобы получить ответы на самые животрепещущие вопросы ученых-планетологов о нашей гостеприимной соседке.

*VERITAS* (лат. «истина», аббревиатура от *Venus Emissivity, Radio Science, InSAR, Topography, and Spectroscopy mission* — «Венера: излучательная способность, радиометрия, интерферометрический радар с синтезированной апертурой, топография и спектроскопия») во многих отношениях будет продолжением программы *Magellan*. Этот орбитальный зонд с самой современной радиолокационной системой предназначен для того, чтобы построить беспрецедентно подробную карту планеты. Старые карты «Магеллана» он заменит великолепными трехмерными топографическими

картами, где будут показаны мельчайшие детали — от отдельных вулканов и их ландшафта из застывшей лавы до систем разломов, как шрамы покрывающих поверхность планеты.

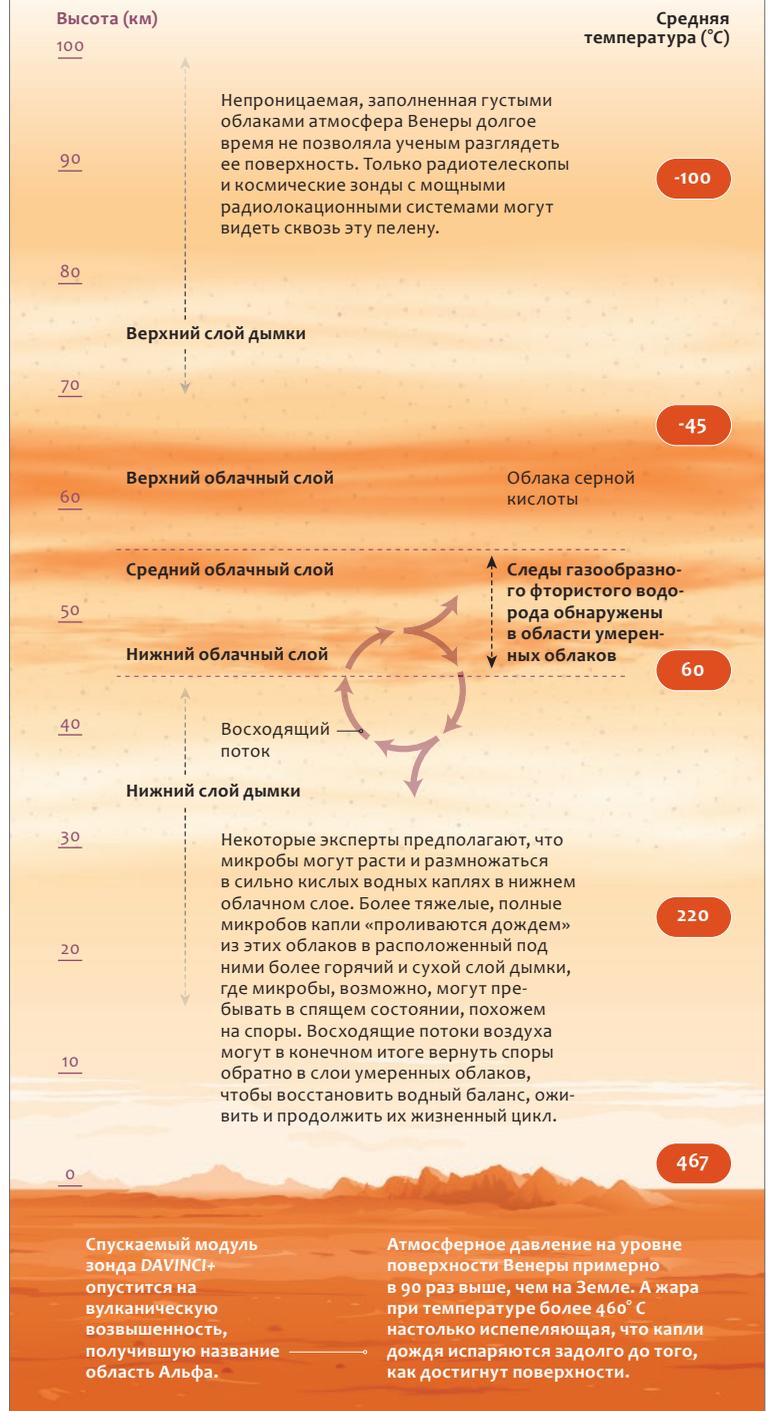
VERITAS будет вести наблюдение и в инфракрасном диапазоне, распознавая определенные минералы на поверхности по характерной картине их теплового излучения. Но задача орбитального зонда — исследовать не только поверхность планеты. Еще один его прибор будет вглядываться во внутренность Венеры, регистрируя пространственное изменение силы ее гравитационного поля, чтобы получить наглядную картину слоистой структуры планеты. Эта экспедиция, по словам Смрекар, даст ученым возможность наконец получить верное представление о Венере, подобно богатому набору подробнейших данных, которым они уже давно располагают в отношении Луны и Марса.

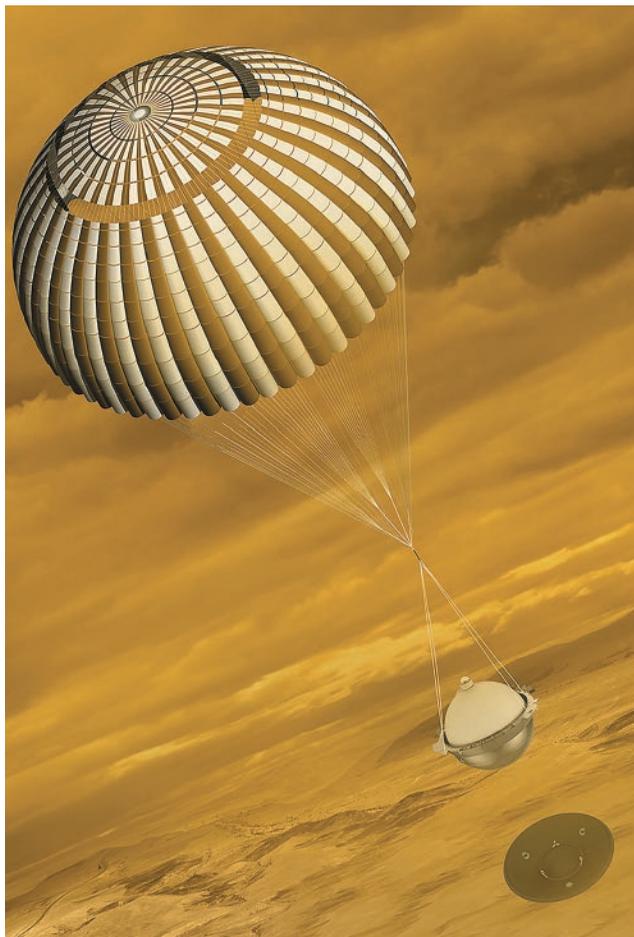
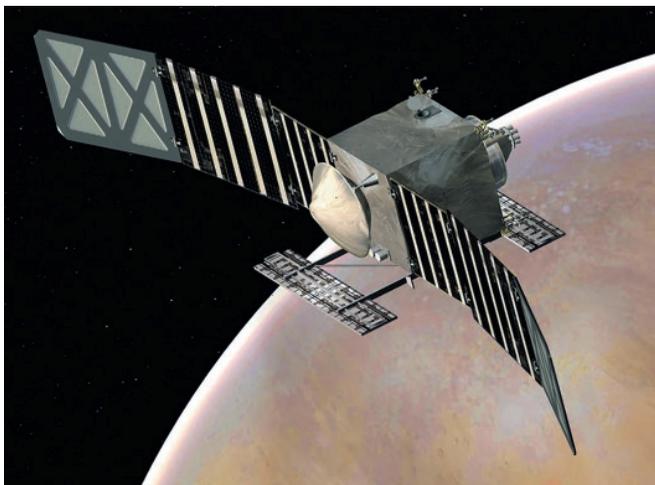
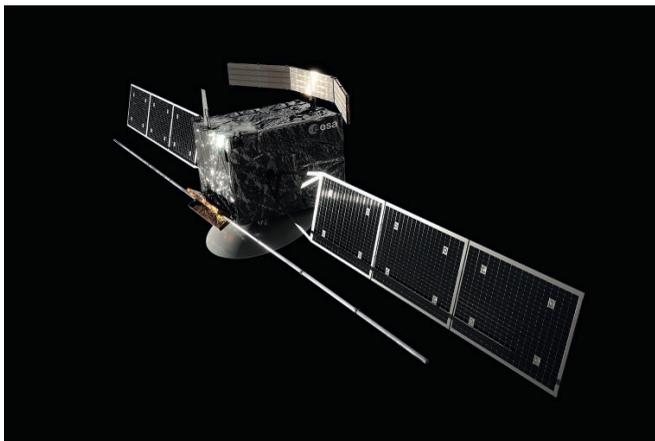
DAVINCI+ (акроним от *Deep Atmosphere Venus Investigation of Noble Gases, Chemistry, and Imaging Plus* — «Исследование благородных газов, химического состава и получение изображений глубоко в атмосфере Венеры») — межпланетная экспедиция, названная в честь мастера всех наук и искусств эпохи Возрождения. Руководит проектом Джим Гарвин (Jim Garvin), главный научный сотрудник Центра космических полетов им. Годдарда NASA, который, как и Смрекар, обожает Венеру и скромно избегает излишнего внимания к себе: однажды, когда его попросили поведать о каком-нибудь забавном случае, случившемся с ним, Гарвин ответил, что он, «вероятно, слишком скучен для рассказов».

Чего нельзя сказать о разработанной его командой концепции межпланетной экспедиции — амбициозной дерзкой попытке впервые после полета *Pioneer Venus* в 1978 г. забросить американский зонд в чрево Венеры. Во время своего заведомо смертельного путешествия зонд будет падать в атмосферу, жадно заглатывая и анализируя входящие в ее состав химические вещества. По мере приближения к поверхности и прохождения облачного слоя он получит с помощью своих камер фотографии в самом высоком на сегодня разрешении гористой и геологически сложной области Альфа, в то время как инфракрасные датчики будут анализировать минеральный

## Атмосфера Венеры

Непригодные для обитания условия на Венере — результат экстремального изменения климата из-за воздействия удерживающих тепло парниковых газов, вероятно, высвободившихся во время колоссальных извержений вулканов миллиарды лет назад. Но в отличие от остальной планеты в атмосфере Венеры есть область с удивительно мягкими, возможно, даже подходящими для жизни условиями. После нескольких десятков экспедиций к Венере у ученых все еще остается множество открытых вопросов, касающихся условий жизни на ней в прошлом и сегодня. И единственный способ получить ответы — снова к ней вернуться.





**Задача трех межпланетных экспедиций** — изучение в 2030-х гг. Венеры с целью вернуть наконец ее загадочный мир в центр внимания планетологии. Космический аппарат NASA VERITAS (внизу слева) позволит создать высочайшего качества радиолокационные и инфракрасные карты Венеры, одновременно изучая внутреннюю структуру планеты; еще один зонд космического агентства, DAVINCI+, будет изучать планету в ультрафиолетовой и инфракрасной областях спектра и одновременно доставит спускаемый атмосферный модуль (справа). Космический аппарат Европейского космического агентства EnVision (вверху слева) будет внимательно разглядывать Венеру с помощью радаров, инфракрасных и ультрафиолетовых приборов, обладая возможностью быстро находить и исследовать интересные участки на поверхности планеты.

состав поверхности. Вскоре после приземления, но не раньше, чем он передаст на Землю данные, собранные во время своего замедленного парашютом спуска, зонд прекратит функционирование.

Спускаемый модуль аппарата DAVINCI+, возможно, станет главным действующим лицом экспедиции, но у него есть и орбитальный блок, на котором не будет сложного бортового радиолокатора, однако его камеры будут исследовать атмосферу и поверхность в ультрафиолетовом и инфракрасном диапазонах излучения, дополняя данные, собранные зондом VERITAS. Основная цель экспедиции — раз и навсегда выяснить, всегда ли климат Венеры был настолько ужасным. «DAVINCI+ был создан, чтобы получить ответ на этот вопрос», — рассказывает Гарвин.

Третий член кавалькады межпланетных зондов к Венере — экспедиция ЕКА EnVision — будет использовать свои радарные системы для

составления карты поверхности, в то время как его ультрафиолетовые и инфракрасные спектрометры будут анализировать состав горных пород и атмосферы планеты. С его помощью также будет проведен радиофизический эксперимент по обнаружению мельчайших изменений гравитационного поля планеты, который позволит построить картину внутреннего строения Венеры. Как и в случае зонда VERITAS, ряд измерений EnVision будет иметь глобальный характер. Но самая сильная его сторона — способность быстро нацеливаться на конкретный район планеты в соответствии с изменяющимися запросами ученых.

«Венера всегда меня завораживала», — говорит Ричард Гэйл (Richard Ghail), геолог-планетолог из Лондонского университета Ройал Холлоуэй, ведущий научный сотрудник проекта EnVision. Как и американские коллеги, он тоже хотел бы

выяснить, как «планеты размером с Землю ведут себя в других условиях». Но в таком случае какое место для исследования может быть лучше, чем наша преданная проклятию соседка?

### Много смертей Венеры

Самый весомый из имеющихся в нашем распоряжении ключ к разгадке богатой катастрофами истории Венеры — повышенное содержание тяжелой воды в ее атмосфере. Это открытие сделано зондом *Pioneer Venus 2*, запущенным в 1978 г. в рамках программы *NASA Pioneer*. Тяжелая вода — это более редкий вариант молекулы  $H_2O$ , в которой атом обычного водорода заменен дейтерием, то есть атомом водорода, обладающим дополнительным нейтроном. Поскольку она тяжелее обычной воды, ей труднее «выкипеть» в космическое пространство. Предполагают, что избыток тяжелой воды на Венере обусловлен испарением в космос нормальной воды океана, который украшал планету несколько геологических эпох назад. Чтобы понять, что на самом деле произошло с Венерой, нам нужно выяснить, что случилось со всей этой водой. По словам Гарвина, Венеру следует рассматривать не как крошечный ад, а как «некогда покрытую океанами планету, утратившую свои океаны». Как она их потеряла?

Отсутствие данных означает, что определенного ответа на этот вопрос, как и на многие другие о Венере, нет. Это не помешало ученым представить себе, какими могли бы быть эти ответы и каким образом такие межпланетные экспедиции, как *VERITAS* и *DAVINCI+*, могут подтвердить их. Один из таких мечтателей — Майкл Уэй (Michael Way), научный сотрудник Института космических исследований им. Годдарда *NASA*. В последние годы он и его коллеги с помощью детального компьютерного моделирования изучили возможные варианты прошлого Венеры.

Согласно моделям Уэя, медленное, но неуклонное повышение светимости новорожденного Солнца, возможно, обрекло Венеру на трудную судьбу еще в младенчестве. Оно так сильно поджарило молодую планету, что любая вода могла существовать только в виде пара. Этот водяной пар, активный парниковый газ, воздействуя сообща с углекислым газом, другим парниковым газом, который, пузырясь, вырывался из покрывавшего тогда всю планету океана магмы, вероятно, быстро поднял температуру. Если Солнце было тем самым злодеем в истории климата Венеры, то планета была «мертва уже с первого дня», — поясняет Уэй.

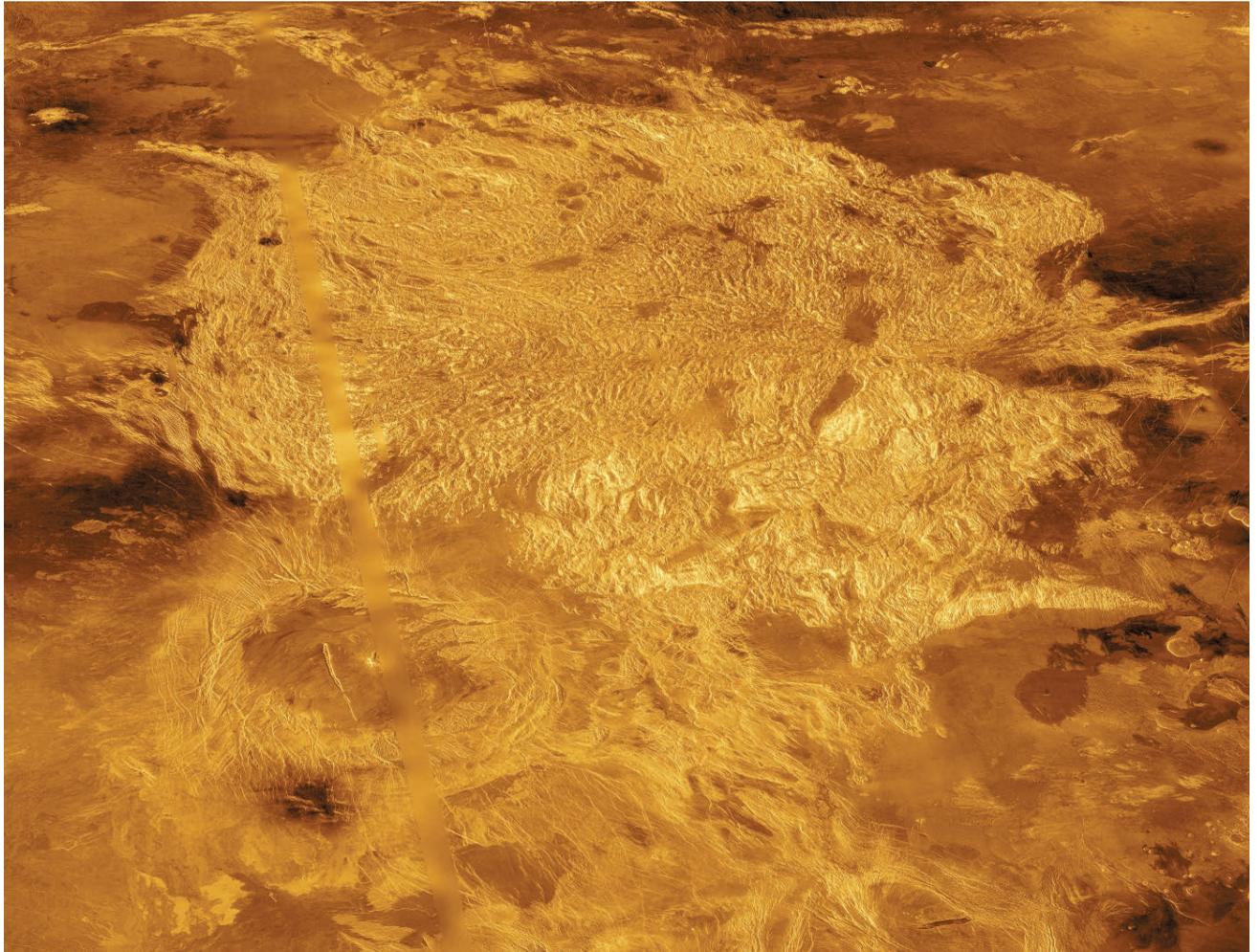
Если же причиной было не раннее увеличение светимости молодого Солнца, то винить, по видимому, надо нечто другое. Уэй подозревает, что это вулканы. Как и звезды, они влияют на все, что происходит на поверхности планеты, — от эволюции ее атмосферы до судьбы океанов.

Несколько раз в истории Земли извержения лавы размером с целый континент выбрасывали в небо огромное количество парниковых газов на протяжении сотен тысяч или даже миллионов лет, что способствовало массовому вымиранию или было его причиной. На Земле эти чудовищные извержения происходили (до сих пор) изолированно, каждое из них оставило после себя разрушительную отметину в геологической истории нашей планеты. Но если несколько подобных извержений случились на Венере одновременно, они могли выбросить столько углекислого газа, что океаны начали испаряться, наполнив атмосферу удерживающим тепло водяным паром и запустив неизбежную петлю [положительной] обратной связи, что и выжгло планету.

Так что, еще один «висяк»? *DAVINCI+* сможет помочь определить, когда Венера потеряла воду, благодаря своей способности «нюхать» присутствие благородных газов в ее атмосфере, включая среди прочего ксенон, аргон и гелий. У каждого газа есть несколько его разновидностей — одни тяжелее, другие легче, и ученые знают, откуда взялась каждая из них. Например, гелий-3 просачивается из недр планеты, а гелий-4, более тяжелый изотоп, рождается в результате радиоактивного распада в коре. Подобно этой паре, в атмосфере планеты присутствуют несколько разновидностей других благородных газов. Что еще более важно, благородные газы не вступают в химические реакции с другими важными с точки зрения геофизики соединениями, в том числе с углекислым газом и водой. Это означает, что они — нечто вроде проштампованных почтовых открыток, на которых указано не только место их происхождения на планете, но и то, когда и каким образом они были доставлены в небо Венеры.

Измерения таких газов, возможно, покажут, что Венера с самого начала была абсолютно безводной. Если так, это будет означать, что юное Солнце было виновником выгорания планеты. Однако если в молодые годы Солнце разгоралось не столь быстро, то венерианский океан магмы, источающей углекислый газ, должен был бы замерзнуть, давая возможность жидкой воде конденсироваться и образовывать на поверхности водоемы. Возможно, Венера была планетой с тропическим климатом, с реками, озерами, морями и океанами. Марта Гилмор (*Martha Gilmore*), планетолог-геолог из Уэслианского университета, участвующая в работе обеих научных групп, и *DAVINCI+*, и *VERITAS*, переполнена воодушевлением от этой идеи. «Согласно тому, что мы знаем о планетах, нет никаких причин, по которым Венера была непригодной для жизни в начале своего существования», — уверена она.

Сегодня общее мнение склоняется к тому, что океаны Венеры были уничтожены гигантскими извержениями. Это могло произойти на раннем



**Область Альфа**, полоса поверхности Венеры шириной 1,5 тыс. км, характеризуется странно деформированными горами и вулканическими равнинами. Это предполагаемое место посадки спускаемого модуля зонда DAVINCI+.

этапе ее существования, но, возможно, DAVINCI+ покажет, что Венера была покрытой водой планетой еще в далекие времена своей юности. «Я думаю, главный вопрос о Венере заключается в следующем: существовали ли океаны на ее поверхности в течение миллиардов лет?» — говорит Джозеф О’Рурк (Joseph O’Rourke), ученый-планетолог из Университета штата Аризона. Не исключено, что на протяжении значительной части своей жизни Венера была еще одной бледно-голубой точкой, обращающейся вокруг Солнца, — потерянным раем.

Если Венера действительно была покрыта водой на протяжении миллиардов лет, то у нее должна была быть и тектоника плит. Этот процесс образования гор, прорезания водосборных бассейнов и роста вулканов служит также и планетарным термостатом. Атмосферный углекислый газ растворяется в океанах, где он попадает в ловушку тектонических плит, которые погружаются в горячую мантию, поддерживающую на плаву кору. В конце

концов этот парниковый газ снова будет высвобожден, медленно поднимаясь к поверхности, а затем утекая в небо в чреде вулканических извержений, подпитываемых глубоко залегающей магмой. Во многом долгосрочная климатическая стабильность планет земного типа обусловлена этим геофизическим циклом углерода. Радарные системы зондов EnVision и VERITAS могут отслеживать на Венере древние или активные разломы — признаки того, что этот цикл, определяющий жизнеспособность планеты, имел когда-то место.

Обе межпланетные экспедиции будут также исследовать тессеры, причудливые континентальные плато, усеивающие поверхность Венеры. (Тессеры — от др.-греч. «черепица» — характерные детали рельефа Венеры, сильно пересеченные возвышенные участки, сверху напоминающие паркет или черепицу. Обнаружены советскими зондами «Венера-15» и «Венера-16». — Примеч. пер.) Большая часть поверхности планеты — это застывшие потоки лавы (которая, должно быть, извергалась

намного позже вулканических процессов чудовищного масштаба, изменивших климат, в результате которых, вероятно, и выкипела вся вода). Предполагают, что возвышающиеся над этими потоками лавы тессеры — самая старая порода на Венере. «Возможно, им 0,5 млрд лет, возможно, 4 млрд — мы не знаем», — говорит Гилмор.

Ученые не только не знают, сколько лет тессерам, они не знают и что это такое. Если тессеры — действительно континентальные породы, вроде тех, что есть на Земле, для их формирования требуется много воды. Это было бы железным доказательством того, что когда-то Венера была покрыта океанами. «Это взорвет людям мозг», — говорит О'Рурк. Если у них слоистая структура, как недавно предположили Бирн и его коллеги, вероятно, это осадочные породы, сохраняющие свидетельства существования древних рек и озер. Возможно также, что это похожие на блины слои лавы, остатки древнего глобального вулканизма, затмившего небо.

По словам О'Рурка, зонд *DAVINCI+* сможет получить подробный вид с очень близкого расстояния только одной тессеры. «Мы даже не знаем, одинаковы ли все тессеры, поэтому выбрать одну из них — что-то вроде рулетки, — объясняет он. — Но *DAVINCI+* сможет получить высочайшего качества фотографии элементов рельефа масштаба человека, которые невозможно сделать с орбиты». С другой стороны, *VERITAS* предоставит карту каждой тессеры, хотя и менее детальную. Между тем зонд *EnVision* выберет несколько тессер для тщательного изучения с орбиты.

С помощью создаваемой на основе данных зонда *VERITAS* динамической карты Венеры, которая сможет распознавать изменения, отображая один элемент поверхности несколько раз, также можно будет показать, что планета и сегодня все еще продолжает оставаться вулканически активной. Это давнее убеждение подкреплено множеством косвенных доказательств, но ученым еще предстоит получить неопровержимые свидетельства реального извержения. «Было бы очень круто обнаружить действующий вулкан», — говорит Смрекар. Не исключено также, что зонд *EnVision* поможет завершить эти поиски, уловив запахи газообразного шлейфа, извергаемого активным вулканом, или обнаружив тепло, просачивающееся наружу из любой заполненной магмой горы.

Получить подтверждение того, что такого рода ключевой планетарный процесс все еще продолжается, — нечто больше, чем просто поставить галочку. Как и все бурные, преобразующие ландшафт тектонические процессы, вулканы подпитываются тем, что происходит глубоко внутри планет. Если удастся непосредственно зарегистрировать извержение вулкана, это откроет окно в темное геологическое сердце Венеры, что позволит ученым сравнить активность его ритма с земным.

И в то время как зонд *DAVINCI+* будет выяснять, сколько воды Венера потеряла, зонд *EnVision* установит, как много воды она еще удерживает. «Осталась ли еще вода внутри планеты?» — спрашивает Гэйл. Изучая количество молекул  $H_2O$  в составе газовых шлейфов, выбрасываемых ее вулканами, ученые, возможно, узнают, действительно ли внутри Венеры так же сухо, как снаружи.

### Время страхов и надежды

Так же как в европейском зонде *EnVision*, в зондах *VERITAS* и *DAVINCI+* отсутствуют наспех реализованные предложения. Эскизы проектов обоих космических аппаратов начали прорисовываться более десяти лет назад. (Варианты обоих проектов стали финалистами последнего конкурса программы *Discovery* в 2017 г., но уступили миссиям *Psyche* и *Lucy*, двум экспедициям по исследованию астероидов.) Каждое предложение выстроено более чем на 50 годах научного осмысления. Это был долгий и напряженный путь для всех.

По мере приближения даты объявления результатов последних решений о запусках в рамках программы *Discovery* уровень напряжения зашкаливал. Первые несколько месяцев 2021 г. были особенно тяжелым испытанием для групп обеих экспедиций, которые работали круглосуточно, чтобы произвести должное впечатление на судей, которые будут определять их будущее. «Чтобынастоящему описать работу, проделанную за последний год, потребуются целый роман», — рассказывает Сью Смрекар. В концептуальной проработке, представленной ее научной группой судьям в ноябре прошлого года, «страниц не меньше, чем в романе "Война и мир"».

Продолжающаяся пандемия также сказалась на психологической нагрузке. «Обе группы ведут интенсивную работу совместно. Команда становится маленькой семьей, особенно в условиях пандемии *COVID-19*, — говорит Смрекар. — Я безмерно благодарна и испытываю невероятный трепет перед людьми, которым в прошлом году пришлось дома ухаживать за маленькими детьми или заботиться о пожилых людях».

Проектам *VERITAS* и *DAVINCI+* противостояли две бесспорно выдающиеся концепции межпланетных экспедиций. Первая — *IVO (Io Volcano Observer)*, «Аппарат для наблюдения вулканов Ио» — зонд, который должен был бы посетить одноименный спутник Юпитера, самый вулканически активный из известных науке объект и лучшее место, чтобы понять, как гравитационные приливы могут поддерживать геологическую активность планеты намного дольше, чем по нашим наивным оценкам эпохи ее прекращения. Второй конкурирующей концепцией был проект экспедиции «Трезубец» (*Trident*), которая должна была бы направиться к спутнику Нептуна Тритону, реликту

самой отдаленной области Солнечной системы, загадочным образом сохраняющему молодость благодаря какой-то едва заметной форме ледяного вулканизма.

Если судить исключительно по их достоинствам, у каждого из этого квартета были отличные шансы на победу. Но для того чтобы одно или несколько предложений выиграло это соревнование, другие должны проиграть. И при взвешивании шансов нельзя игнорировать тот факт, что 14 сентября 2020 г. возник непредсказуемый фактор, который, возможно, и склонил чашу весов в пользу Венеры: одна из групп ученых объявила, что внутри облаков Венеры с помощью двух телескопов они обнаружили фтористый водород, причем на такой высоте, где температура и давление, по всей видимости, позволяют существовать каплям жидкой воды.

Фтористый водород может образовываться в результате вулканических процессов и при вспышках молний, но он может вырабатываться и микробами, а это указывает на возможность того, что это открытие — косвенное доказательство инопланетной жизни. В мгновение ока интерес к фтористому водороду и Венере — со стороны общественности, средств массовой информации и научного сообщества — вспыхнул с небывалой силой.

Через несколько месяцев это открытие было поставлено под сомнение, поскольку проведенные анализы либо подтверждали, либо опровергали его. Присутствует ли в конечном счете там фтористый водород и производится ли он микробами — это еще не все, что учитывалось в конкурсе. Данная полемика подчеркнула еще один важный факт: внутри облаков Венеры существует обширная область, не слишком горячая и не слишком кислая для того, чтобы нельзя было исключить принципиальную возможность процветания там эндемичных микробов, приспособившихся к обитанию в этих условиях.

На Земле ученые, кажется, не перестают находить микробов — процветающих, выживающих или пребывающих в спячке — в местах, которые сразу же убили бы растения и животных. Поверхность Марса представляет собой подверженную воздействию радиации холодную пустыню, враждебную жизни, но микробы могут найти себе пристанище в его, возможно, более теплых и влажных подземных горизонтах. Как и Марс, Венера помогает переосмыслить значение слов «пригодный для жизни». «Горячая, как ад, планета не обязательно негостеприимна во всех отношениях», — утверждает Клара Суза-Силва (Clara Sousa-Silva), астрохимик Гарвард-Смитсоновского центра астрофизики в Кеймбридже, штат Массачусетс, и член научной группы, первой открывший фтористый водород в облаках Венеры.

Хотя было высказано предположение, что зонд DAVINCI+ мог бы обнаружить фтористый водород

во время своего падения, ни он, ни VERITAS, ни EnVision не предназначены для изучения этого внезапно ставшего модным химического соединения. Однако все три могут помочь определить границы других идущих на планете процессов, в ходе которых может образовываться фтористый водород, — от вулканической деятельности до атмосферной «алхимии». В любом случае важнее всего, по-видимому, то, что фтористый водород дал исследованию Венеры рекламный импульс, подобно тому как подозрительный на вид метеорит дал аналогичный импульс исследованию Марса в 1996 г. «Я думаю, [фтористый водород] — это для нас вишенка на торте, — говорит Гилмор, — потому что Венера неотразима независимо от того, есть ли на ней жизнь или нет».

Смрекар и Гарвин знают это лучше, чем кто-либо иной. Оба они ветераны Венеры, которые работали в этой области еще до эпохи программы *Magellan*. Оба хотели бы получить ответы на свои давние вопросы, чтобы сорвать низко висящий фрукт, досадно не сорванный на протяжении десятилетий. В то время как ученые, занимающиеся изучением Марса, часто посещали центры управления полетами, взрываясь аплодисментами, когда еще один робот присоединялся к своим коллегам на Красной планете, сторонники исследования Венеры работали и ждали, терзая себя мыслью, что уж на этот раз NASA, возможно, выберет одну из экспедиций, нацеленную на возвращение к Венере. «Я нахожусь в нервном ожидании вот уже 41 год», — сказал Гарвин незадолго до выбора очередных проектов программы *Discovery*.

«Сказать, что мы переживали, — ничего не сказать, — признается Смрекар, говоря о своей команде. — Те из нас, кто очень близко связан с этой экспедицией, вложили свои сердца, свои выходные, свою изобретательность в то, чтобы это свершилось».

Проигрыш для любой из групп стал бы огромным потрясением. Если бы не была выбрана ни одна из экспедиций, многие сочли бы это решение абсурдным, а может быть даже оскорбительным. Конструкции космических зондов были лучшими из возможных. Нельзя было игнорировать и общественную поддержку проектов. А теперь на их стороне был и фтористый водород.

Но даже если бы оба проекта, и VERITAS, и DAVINCI+, были отклонены, все же несколько причин для оптимизма оставалось. Помимо обнадёживающих перспектив европейского проекта *EnVision*, другие космические агентства, в том числе российское и индийское, серьезно размышляли о возвращении на Венеру и, возможно, приняли бы эстафету в случае отказа NASA.

Более молодые ученые, занимающиеся исследованием Венеры, такие как О'Рурк, тоже были полны решимости поддерживать огонь, даже когда маститые ветераны венерианской команды США

ушли на пенсию. «Когда американский космический корабль в последний раз вышел на орбиту вокруг Венеры, мне было десять дней, — рассказывает О’Рурк. — Несмотря на отсутствие четких перспектив для новой экспедиции, я просто ввязался в ее проработку, как и многие другие люди моего возраста, потому что, безусловно, это невероятно интересно». Он подозревает, что страсть к науке о Венере осталась бы непоколебимой, каким бы ни был результат последнего конкурса NASA в рамках программы *Discovery*.

За несколько дней до судьбоносного решения NASA в словах энтузиастов исследования Венеры можно было заметить отзвуки страха. Но благодаря планетам, обращающимся вокруг далеких звезд, прослушивалась и нотка надежды.

Охотники за экзопланетами далеко за пределами нашей Солнечной системы разглядели множество планет размером с Землю и Венеру. Однако современные телескопы не позволяют даже приблизительно определить, такие же они гостеприимные, как наша планета, или сущий ад, вроде Венеры. В наши дни изучение Венеры с близкого расстояния остается, вероятно, единственной возможностью с достаточной степенью надежности оценить, какой тип планет более распространен в космосе: похожие на Землю или же на Венеру. Охотники за экзопланетами начинают признавать этот факт, справедливо полагая, что, возможно, им следует лучше изучить Солнечную систему, замечает Суза-Силва, «как минимум потому, что это очень хорошая лаборатория для исследования экзопланет».

Раскрытие тайн Венеры, безусловно, пойдет на пользу не только узкому кругу исследователей «утренней звезды», но и всему сообществу ученых-планетологов. «Только Венера сможет объяснить нам, почему наша с вами планета уникальна в Солнечной системе, и позволит оценить вероятность обнаружения Земли 2.0 у другой звезды», — полагает Смрекар. В ожидании объявления результатов конкурса группы *VERITAS* и *DAVINCI+* надеялись, что это широко разделяемое убеждение наряду с многолетним трудом большого коллектива продвинет наконец хотя бы один из проектов к финишу — и что земной разведчик снова посетит завораживающий мир, который занимал все их чаяния.

### Флот прибывает

Некоторое время после объявления NASA о том, что Венера вышла победительницей в последнем конкурсе проектов для участия в программе *Discovery*, сторонники *VERITAS* и *DAVINCI+* купались в лучах общественного внимания. «Я прыгал от радости дольше, чем за несколько прошлых лет», — вспоминает Гилмор. «Мы отбываем на Венеру!» — чуть не захлебывается от избытка чувств Гарвин. «Я не знаю, что еще мы могли бы

улучшить, чтобы сделать экспедицию образцовой на текущий момент, — говорит Смрекар. — Мне кажется, что нам это удалось. И еще мне кажется, что в NASA это не прошло незамеченным».

*Magellan* был самой первой межпланетной экспедицией, над которой работала Смрекар. Теперь же, говорит она, *VERITAS* станет ее последней — и главным достижением в ее жизни. «Это будет кульминационным пунктом моей карьеры, — говорит она. — С нетерпением жду, чтобы увидеть, что нового мы узнаем».

Эти две научные группы не просто сняли проклятие Венеры; они разбили его вдребезги. А уже на следующей неделе после этого проект *EnVision* был принят европейскими державами к исполнению. В 2030-х гг. Венера получит собственный флот научных разведчиков.

Для побежденных неизбежное разочарование окрасилось оптимистическими тонами. Сторонники экспедиции к Ио надеются, что победят в следующем конкурсе программы *Discovery* — или, возможно, даже на более высоком уровне: в конкурсе на проведение более дорогих и технически сложных космических экспедиций в рамках программы NASA «Новые горизонты» (*New Frontiers*). Те же, кто желает вернуться к часто остающимся вне зоны внимания планетам Уран и Нептун, каждая из которых в последний раз видела космический аппарат в конце 1980-х гг., присматриваются к будущей флагманской экспедиции, одному из проектов-гигантов стоимостью более \$1 млрд, составляющих вершину флота космических роботов NASA с точки зрения их размера, стоимости и возможностей.

С другой стороны, участники программ исследования Венеры уже привыкли к своему новому статусу триумфаторов-победителей. Благодаря их неустанным усилиям следующее десятилетие будет теперь отдано второй планете. Наконец-то, говорит Гэйл, «пришло осознание того, что на Венере нам нужно делать то же самое, что мы проделали на Марсе».

Как и коллеги по программам *DAVINCI+* и *EnVision*, Сью Смрекар и ее сотрудники, участвующие в программе *VERITAS*, одновременно взволнованы, измотаны и недоверчивы. В ночь накануне оглашения результатов конкурса NASA Смрекар сфотографировала Венеру — сияющую высоко в темном небе точку. После победы, в свете нового дня, это алмазное пятнышко вдруг предстало в совсем другом свете. Венера стала уже не недоступным островом, а пунктом назначения для следующего гигантского скачка в межпланетных исследованиях NASA. ■

Перевод: А.П. Кузнецов

### ИЗ НАШИХ АРХИВОВ

■ Is There Life on Venus? These Missions Could Find It. Leonard David; ScientificAmerican.com, September 23, 2020.



# ЭКОНОМИКА



# КОРОНАКРИЗИС

Пандемия *COVID-19* диктует сегодня условия глобальной экономической и политической реальности. В ситуации, когда необходимо объединять усилия в борьбе с общим врагом, государства становятся все более разобщенными и выбирают политику протекционизма. Почему так происходит? Объясняет заместитель директора по научной работе Национального исследовательского института мировой экономики и международных отношений им. Е.М. Примакова РАН член-корреспондент РАН Сергей Александрович Афонцев.



Член-корреспондент РАН С.А. Афонцев

**— Сергей Александрович, с приходом пандемии мы все столкнулись с так называемым коронакризисом. С точки зрения глобальной экономики на каких сферах он отразился больше всего?**

— К сожалению, коронакризис продолжает влиять на нашу жизнь и, по всей вероятности, будет влиять еще долго. Ни эпидемиологи, ни тем более экономисты не могут предсказать, какие еще сюрпризы преподнесет нам этот кризис и как будет меняться динамика распространения коронавируса по странам мира. Все научно аргументированные выводы сейчас основаны на наших оценках тех факторов, которые влияют на глубину кризиса, и на краткосрочных прогнозах.

О чем можно говорить с уверенностью? О том, что существуют базовые факторы, определяющие силу удара коронакризиса по национальным экономикам, и второстепенные факторы, которые могут смягчить или усилить этот удар. Так вот, определяющими факторами тяжести экономического кризиса стали масштаб и продолжительность ограничительных мер, которые правительства разных стран вводили в качестве карантинного (и квазикарантинного) реагирования на распространение коронавируса.

Если вы хотите знать, какую страну кризис затронул наиболее болезненно, вам достаточно спросить, какая страна вводила наиболее жесткие карантинные меры. Будем честны: до нынешних пор ни потери рабочего времени, вызванные собственно ростом заболеваемости, ни масштабы смертности от коронавируса значимого влияния на экономическую активность и ее масштабы не оказывали. Главную роль сыграли потери рабочего времени в связи с ограничительными мерами, а также масштабы свертывания тех отраслей экономики, которые попали под эти меры.

В первую очередь, это сфера услуг, в том числе отрасли, связанные с рекреацией, массовыми

мероприятиями и транспортом, особенно пассажирским. Масштабы влияния кризиса на эти сферы колоссальны и пока полностью не вполне понятны. Яркий пример — авиационный транспорт. Отрасль получила страшный удар из-за коронакризиса. Только в 2020 г. ведущие авиакомпании мира понесли \$119 млрд убытков — это в два с лишним раза больше суммарного объема их прибыли за два предшествующих года. При этом многие ограничения продолжают действовать. Насколько продолжительными они будут, смогут ли авиакомпании выжить даже при условии государственной поддержки, на текущий момент сказать невозможно.

Если мы говорим об отраслях материального производства, то здесь ситуация более благоприятная, особенно в тех сферах, где быстрее всего возобновились потоки международной торговли, а влияние коронавирусных ограничений имело минимальный эффект отложенного действия. Напротив, в отраслях, где остановка в производственном процессе влечет за собой длительный перерыв в выпуске готовой продукции, экономические последствия были более разрушительными. Пример — изготовление микросхем. Если их производство остановлено, то после начала его возобновления новые поставки нельзя получить ни через неделю, ни через месяц. Поэтому дефицит микросхем — наиболее наглядный пример негативных эффектов коронакризиса в промышленности. По оценкам, из-за этого дефицита только мировая автомобильная промышленность в 2021 г. не сможет произвести порядка 1,4 млн автомашин.

**— Какие факторы можно считать второстепенными?**

— Прежде всего, антикризисную политику. Те страны, которые имели возможность направлять большие ресурсы на борьбу с кризисом и подавление негативных тенденций в экономике, сумели в большей мере компенсировать спад валового внутреннего продукта. Но эти меры позволяли лишь смягчить кризис. Можно сколько угодно говорить, что в США масштабы антикризисной поддержки были колоссальными (почти 40% ВВП в 2020 г.), намного превосходя показатели стран с развивающимися рынками, но факт остается фактом: снижение ВВП Соединенных Штатов (-3,4% в 2020 г.) оказалось сильнее, чем, например, в РФ (-3,0%). Это произошло не потому, что в России антикризисная политика была эффективнее, чем в США. Спад в России был менее глубоким, поскольку коронавирусные ограничения были быстро сняты. Напомню, что уже в середине лета, отчасти из-за подготовки к референдуму, отчасти из-за реакции на позицию экономических субъектов, ограничительные меры резко пошли на убыль.

Соответственно, появились предпосылки для того, чтобы с третьего квартала 2020 г. экономическая динамика развернулась в сторону исправления.

В тех же странах, где соответствующие ограничения сохранялись, в первую очередь в странах Европейского союза (где меры были одними из самых жестких), спад продолжался, и его глубина в 2020 г. оказалась беспрецедентной для мирного времени (-6,3% в странах еврозоны), несмотря на все принимаемые меры.

Рассмотрим для примера Индию, где политика локдауна вызвала в прошлом году глобальный резонанс. Магазины принудительно закрывали, транспортное сообщение между регионами ограничивали. Поэтому нет ничего удивительного в том, что ВВП Индии в прошлом году сократился на 7,3%. При этом соседние государства — Пакистан и Бангладеш — показали положительные темпы роста. Почему? Там коронавирус меньше распространялся? Или на борьбу с кризисом они направили больше денег? Ничего подобного. Все упирается именно в масштабы антикризисных ограничений.

**— Как пандемия повлияла на экономику России?**

— Экономисты привыкли искать баланс между конкурирующими целями. Я не могу утверждать, что был найден оптимальный баланс между поддержанием экономики и предотвращением распространения вируса и спасением жизней людей. Этот вопрос имеет не только экономический, но и моральный характер. Но если мы спросим, почему в России спад ВВП оказался меньше на фоне многих других государств, то, как я уже сказал, в первую очередь это было связано с ограничительными мерами. Конечно, имели место и другие факторы, например восстановление мировых цен на углеводородные ресурсы и некоторые другие традиционные товары российского экспорта, но эти факторы были вспомогательными.

**— Как вышли из ситуации страны, которые до последнего не вводили жестких ограничительных мер? Например, Швеция?**

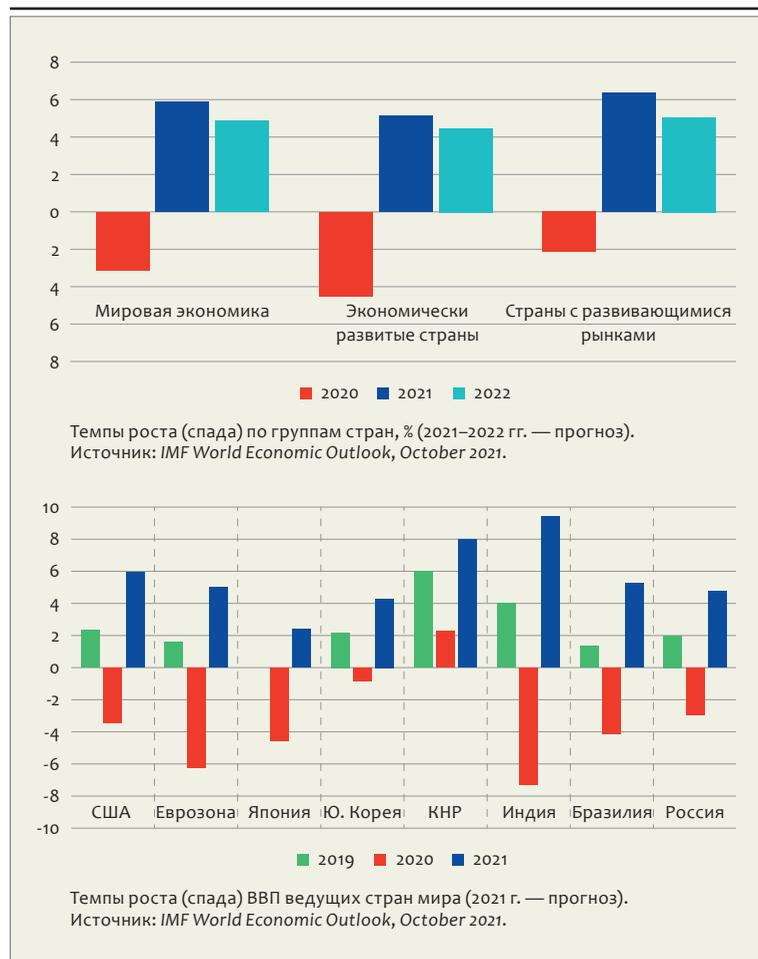
— Еще раз подчеркну, что из этой ситуации никто пока не вышел. Пандемия продолжается, ограничения сохраняются, более того, вводятся новые в связи с появлением совершенно новых рисков. Как выглядят относительно друг друга страны, которые в прошлом году вводили более жесткие или более мягкие ограничения, я уже упомянул.

Швеция на этом фоне выглядит неплохо: в 2020 г. ее ВВП упал всего на 2,8%. Другой показательный пример — Южная Корея, которая, как и Швеция, отказалась от жестких ограничительных мер. Основной акцент там был сделан на выявление и изоляцию заболевших, а также на профилактические меры. При этом в стране высок и уровень доверия населения к соответствующим решениям. Поэтому вакцинация населения оказалась более эффективной (чего, например, не скажешь о России).

В результате экономика Южной Кореи выглядела существенно лучше, чем у соседних стран, в частности Японии. Кстати, в экономико-географическом смысле эти страны очень похожи. Но если мы взглянем на цифры, то заметим, что в 2020 г. экономика Японии упала на 4,6%, а экономика Южной Кореи — всего на 0,9%. Но, конечно, нельзя забывать, что многие из тех подходов, которые использовались в 2020 г., были мерами краткосрочного реагирования и в случае продолжения пандемии неизбежно будут скорректированы.

**— Какие существуют прогнозы для нашей страны на долгосрочный и краткосрочный периоды?**

— С высокой степенью вероятности темпы роста ВВП превысят 4,5% по текущему году. Но, к сожалению, эпидемическая



динамика сейчас такова, что точные прогнозы дать невозможно. В целом для России краткосрочные перспективы хорошие, потому что мы не вводили жестких ограничений, не останавливали производств в ключевых отраслях экономики, ценовая динамика экспорта благоприятна, а цены на газ бьют рекорды. С другой стороны, для динамичного роста у нас достаточно мало внутренних ресурсов, а это значит, что никакого значимого прироста инвестиций частного сектора ожидать невозможно, тем более в условиях кризиса.

Не менее удручающая картина с доходами населения. В последние годы они снижались, а в 2021 г. хотя и восстанавливаются, но очень медленно. По итогам первого полугодия они увеличились всего на 1,7%, в то время как ВВП вырос на 4,8%. Этот фактор не только ограничивает внутренний спрос и мешает внутреннему рынку развиваться, но еще и оказывает давление на социальную ситуацию, подрывает социально-психологический климат в обществе.

Если говорить о среднесрочном и долгосрочном анализе, то стоит вернуться к тому, о чем я упоминал ранее. Сокращение рабочего времени за счет фактора смертности до нынешних пор оказывало маргинальное влияние на экономическую динамику. К сожалению, то, что мы наблюдаем сейчас, вызывает серьезные опасения. Ежедневные цифры смертности бьют рекорды, а общее количество умерших из-за коронавируса только по официальным оценкам превысило четверть миллиона. Это очень большая проблема с точки зрения демографических основ экономического роста. Если ситуация будет так развиваться и далее, мы можем прийти к тому, что придется пересматривать прогноз динамики потенциального темпа роста экономики на период до 2030 г. с учетом изменения численности рабочей силы.

— **Можно ли подготовиться заранее, принять какие-то меры?**



*Мобильный пункт тестирования в Южной Корее. Медработник в безопасности: длинный рукав его перчатки сделан в защитное стекло. Источник: AFP Photo.*

— К сожалению, использовать самый главный инструмент, с помощью которого можно было подготовиться заранее, уже проблематично. Я говорю о массовой вакцинации. Мы упустили время перед встречами с новыми волнами коронавируса. Прекрасно, что мы сделали вакцину первыми в мире, но мы в очередной раз провалили внедрение того, в чем имели приоритет.

У нас было все для начала развертывания массовой вакцинации еще в прошлом году, когда не было новых мутаций вируса, когда можно было достичь высокого уровня иммунизации населения в крупных городах и регионах.

Для меня как экономиста абсолютно очевидна ошибочность расстановки акцентов в обсуждении вопросов вакцинирования. Экономисты привыкли работать с мотивацией людей. Она заключается в том, чтобы предложить человеку то, что ему нужно, выгодно, что повысит его благосостояние, снизит риск ущерба и т.д. Когда появилась вакцина, что только не обсуждали: и вопросы «коллективного иммунитета», и «пороговые уровни» вакцинации, и социальную ответственность перед близкими и «наиболее уязвимыми категориями населения»...

С точки зрения экономиста все это пустые разговоры. Есть самый главный аргумент: вакцина — это средство индивидуального спасения. Каждый человек должен рассмотреть варианты: есть вероятность заболеть коронавирусом и умереть, а есть вероятность получить осложнение от вакцины. Сравниваем, насколько вакцина снижает вероятность заболеть и умереть, с одной стороны, и с другой — насколько серьезны и часты осложнения, которыми сегодня так модно пугать. Только так человек может сделать выбор. И по теории вероятности этот выбор — однозначно в пользу вакцинации. Если бы были предприняты должные разъяснительные усилия в этом направлении, все могло сложиться иначе.

— **Если рассуждать в масштабе всей планеты: пандемия охватила весь мир, но вместо того чтобы объединяться, государства принимают решения индивидуально. А вакцины и сертификаты о вакцинации не признаются. Как это оценивают экономисты?**

— Это связано с тем, о чем я говорил ранее. Взять те же антикоронавирусные меры: почему они такие разные? Почему в одной стране жесткие ограничения, а в другой вообще никаких? Почему даже в рамках Европейского союза одна страна, как Швеция, использует мягкую модель, а другая страна вводит более жесткие меры? Зададимся простым вопросом: кто принимает решения об антивирусных мерах?

— **Руководители государств.**

— Правильно, их принимают политики. Тогда достаточно проанализировать, какие мотивы

у политиков в конкретных государствах, чем они руководствуются, занимая свои должности, и какое влияние на политические решения оказывают представители гражданского общества, лоббисты, рядовые избиратели, СМИ, эксперты, блогеры-инфлюенсеры и т.д.

Вновь вспомним Швецию. Это страна с традиционно высоким уровнем общественного доверия к власти и к институтам общества. Поэтому ничего удивительного в том, что призывы к «благо-разумному поведению в условиях эпидемии» дали там эффект даже без жестких ограничений. Можно представить себе похожую ситуацию, например, на юге Италии? Как минимум весьма проблематично. Это значит, что и политические решения будут другими. Более того, даже если решения будут одинаковыми, реакция на них и следствия этих решений будут различными.

То есть в каждой конкретной стране проблемы, связанные с распространением коронавируса, и принимаемые меры реагирования были абсолютно разными. В условиях коронакризиса консенсуса нет, а значит, нет и международных механизмов реагирования на угрозы.

**— Как ученые объясняют зависимость современной мировой политики от экономических отношений? На взгляд обывателя, она усилилась.**

— Начну с того, что политика по определению влияет на экономику, и наоборот. Почему? Потому что существуют субъекты политического процесса. В демократических обществах есть политики, которые избираются, чиновники, которых назначают, и избиратели, которые отдают свои голоса за политиков. Кроме того, есть огромное количество субъектов, продвигающих свои интересы в политической сфере, — общественные активисты, лоббисты, лидеры общественного мнения, представители международных организаций, которые предлагают странам возможности сотрудничества на мировой арене. У каждого из этих субъектов есть свои интересы. Кто-то борется за права животных, кто-то нацелен на реализацию экологических инициатив, а у кого-то чисто экономические интересы.

Рассмотрим проблему снижения загрязнения атмосферы. От чего зависит ее решение? Необходимо принимать определенные стандарты, строить чистые сооружения, внедрять «чистые» технологии. Кто может принимать такие стандарты? Как правило, это делают политики и чиновники. А кто будет строить и внедрять? Экономические субъекты. Те экономические субъекты, которым это невыгодно, будут лоббировать против новых стандартов. А те, кто разрабатывает «чистые» технологии, будут эти стандарты продвигать. Так было и будет всегда.

Регулярно делаются попытки обсуждать вопрос о том, что какая-то из сфер оказывает на другую

большее влияние, но все усилия сформулировать широкие обобщения так или иначе оказываются совершенно искусственными. Просто необходимо принять как данность, что политика и экономика оказывают друг на друга взаимное влияние и искать здесь какие-то тренды за пределами анализа конкретных вопросов и ситуаций бессмысленно.

Другое дело, когда мы говорим об изменениях в характеристиках этого взаимодействия. Оно может быть кооперативным, когда открываются рынки, развиваются торговля и межгосударственное сотрудничество, строятся трубопроводы, летают самолеты и т.д. Но взаимодействие также может быть некооперативным. Тогда вводятся пошлины, запреты на осуществление инвестиций, самолеты перестают летать, саботируется строительство трубопроводов и т.д. В этом смысле действительно прослеживается некоторый «колебательный» процесс. В какие-то периоды взаимоотношения между государствами имеют более кооперативный характер, в другие — более конфликтный.

Сейчас четко прослеживается тренд на рост конфликтности. Об этом свидетельствуют и динамика американо-китайских отношений, и рост применения ограничительных мер в глобальной торговле (с 2018 г. объем международной торговли, охваченный мерами по регулированию и сдерживанию импорта, увеличился с 4,7% до беспрецедентных 9%), и использование санкционных мер воздействия на политику суверенных государств, и особенности формирования межстрановых блоков. Все это естественным образом сказывается на мировой экономике. И мы видим четкие следствия политических решений.

Например, недавно сформировался военно-политический блок Австралии, США и Великобритании. Каково было одно из первых следствий этого шага? Правительство Австралии приняло решение об отказе от закупки французских подводных лодок и о переориентации на более близких партнеров по блоку. Значит ли это, что кто-то специально подписывал данное соглашение именно для того, чтобы разорвать военное сотрудничество с Францией? Конечно нет. Создание военно-политического блока — не экономическая мера, но при этом экономические следствия налицо.

Это наглядная иллюстрация того, что такое рост конфликтности. И надо понимать, что этот тренд в ближайшее время не закончится.

**— А какими могут быть последствия у такого роста конфликтности?**

— Самыми разными. Согласно имеющимся прогнозам, одним из следствий технологического противостояния между США и Китаем станет откладывание внедрения технологий 5G для мобильной связи на глобальных рынках минимум на пять лет. Еще три года назад речь шла о том, чтобы *Huawei*



развертывал эти сети уже в ближайшие годы. Сейчас об этом нет и речи. Это означает, что человечество потеряло порядка пяти лет пользования передовой мобильной связью, потому что США поссорились с Китаем.

Другой наглядный пример роста конфликтности связан с ситуацией вокруг российских трубопроводов. Сколько было потеряно денег на тех трубопроводах, которые мы так и не смогли достроить? Сколько ущерба принес уход зарубежных компаний из проекта «Северный поток — 2»? Я даже не говорю о том, что трубопроводы, которые уже функционируют, используются нами только на 50%, поскольку это предусмотрено европейскими регуляторными нормами. То есть те же объемы поставок могли бы осуществляться по уже существующим трубопроводам и не надо было бы ничего строить.

Что принципиально важно, рост конфликтности всегда с неизбежностью отражается на рабочих местах, которые не создаются или теряются. Конечно, легко сказать: «Какая разница, на сколько вырастет ВВП — на 2% или на 3%. Это все только цифры на бумаге!». Нет, это не цифры, это рабочие места. Это деньги, которые люди зарабатывают и приносят в семью.

Здесь мы сталкиваемся с другой проблемой: наше экономическое мышление часто отрезано от конкретного человека. В России принято обсуждать главным образом крупные проекты «национального масштаба». Вследствие этого у населения возникает ощущение, что экономические события (от введения санкций до очередной «стройки века») происходят на каком-то высоком уровне и их не затрагивают. Но все это связано с рабочими местами, которые либо появятся, либо нет.

**— Перейдем к крупным проектам. На повестке дня ведущих государств мира энергопереход. Что это значит в контексте мировой экономики?**

— Тема крайне противоречивая. Но лично для меня проблематика энергоперехода в современных условиях представляет скорее политический проект, чем экономически устойчивый тренд. Когда у нас наблюдаются технологические сдвиги в экономике, мы всегда четко видим экономические предпосылки для соответствующих сдвигов. Иногда можно услышать такую фразу: каменный век кончился не потому, что кончились камни. И это верно.

Но верно и то, что каменный век окончился не потому, что одни люди запретили другим людям использовать камни или же использование камней было обложено налогом. В этом и есть ключевая разница между теми технологическими транзитами, которые мы наблюдали в истории, и нынешним энергетическим переходом.

Наиболее понятная параллель — распространение цифровых технологий. Человечество за последние 20 лет забросило огромное количество технологических решений и бизнес-моделей в пользу технологий и бизнес-моделей, основанных на «цифре». Кто-то запретил использовать старые модели? Нет, просто оказалось, что новые гораздо лучше. Целые отрасли сделали гигантский шаг вперед, особенно в сфере услуг. И сейчас рыночный ландшафт в соответствующих отраслях разительно изменился.

А теперь посмотрим, с чем мы имеем дело в случае энергоперехода. Да, есть огромное количество технологий, использующихся для повышения эффективности использования энергоресурсов. Но при этом есть целые сегменты рынка, которые существуют только потому, что они опираются либо на прямые субсидии, либо на ограничительные меры в отношении конкурирующих технологий.

Например, принято хвалить «гибриды» и электромобили за экологичность и привлекательные цены. Но привлекательная цена напрямую связана с поддержкой компании за счет регуляторных мер. Представители автомобильного рынка Европы в восторге от выгодных условий. Но нельзя забывать, что за эти условия платят налогоплательщики. Субсидии — это не деньги государства (у государства вообще нет никаких «своих» денег), это

деньги налогоплательщиков, которые государство перераспределяет в пользу производителей и покупателей «гибридов» и электромобилей. Хорошо это или плохо, решается на уровне конкретных стран. Если, например, в Германии есть политическая и общественная поддержка перераспределения в пользу соответствующих производств, значит так тому и быть. Но есть и другие страны, в которых такой поддержки нет. И никто не вправе навязывать этим странам то, что не нужно их гражданам.

#### — Зачем России этот переход?

— Я бы переформулировал вопрос: кому в России он нужен? Разумеется, тем, кто хочет предлагать на рынке новые энергетические технологии (свои или импортированные), тем, кто опасается, что без внедрения соответствующих технологий не сможет поддерживать высокий уровень международной конкурентоспособности своей продукции. Но если говорить о ключевом направлении энергоперехода — снижении использования углеводородного энергетического сырья, — то, подходу реалистично, подавляющему числу российских экономических субъектов он не нужен. Добыча и использование углеводородного сырья традиционно составляют основу сравнительных преимуществ российской экономики в мировом хозяйстве. Это не лозунг и не пример «устаревшего мышления» — это абсолютно научный вывод, давно и хорошо известный из теории международной торговли. Зачем же пилить сук, на котором сидишь?

Обратите внимание: на протяжении последних лет произошел резкий сдвиг дискуссии, абсолютно политизированный, с обеспечения экологических приоритетов в целом на декарбонизацию экономики. О «глобальном изменении климата», в котором якобы виновато использование углеводородного сырья, говорят и пишут все, кому не лень. Не будучи специалистом-климатологом, воздержусь



Городской служащий в Хайалиа, штат Флорида, раздает формы документов на пособие по безработице. Источник: Joe Raedle / Getty Images / Scientific American.

от выражения собственной позиции по данному вопросу, хотя, не скрою, она крайне критическая. Важно другое — как бы ни относиться к доктрине «глобального потепления», у Российской Федерации экологических приоритетов очень много. И, полагаю, декарбонизация в их список не входит.

У нас не решены задача сокращения объема промышленных выбросов, задача обеспечения очистки сточных вод, в том числе жилищно-коммунального хозяйства. Нужно решать задачу рекультивации земель, загрязненных в ходе промышленной деятельности. Есть вопросы, связанные с повышением качества обеспечения населения питьевой водой. Необходимы последовательное развитие системы особо охраняемых природных территорий, сохранение биологического разнообразия. Для этих проблем нет единого легкого решения. Нужен комплексный подход, который будет оказывать значительное влияние и на городское хозяйство, и на промышленность, и на рекреационный потенциал страны, который создаст новые рынки. Все это никоим образом не связано с декарбонизацией.

#### — Как убедить людей, что в современном мире необходимо интересоваться экономическими отношениями и повышать собственную экономическую грамотность?

— Могу предложить два решения. Рецепт на краткосрочный период связан, конечно, с распространением знаний. Можно сколько угодно говорить о том, в какой век мы живем, но масштабы невежества, причем невежества самого дикого свойства, даже в экономически развитых странах, зашкаливают. За последний год дискуссии вокруг прививок и карантинных мер наглядно показали масштаб некорректности оценок, ориентации на непроверенные данные, психологических импульсов, которые очевидным образом противоречат объективной картине мира. Поэтому первый рецепт: распространять качественную информацию.

Другой рецепт — долгосрочный. Необходимо развивать в людях любознательность и способность к трезвой оценке ситуации. Любознательность — это базис. Важно не столько то, что человек уже знает, сколько то, чего он не знает, и то, что он готов познавать дальше. Стремление к обновлению знания, как мне кажется, даже важнее, чем просто механическое приращение знания.

И, конечно, в современном мире важно развивать способность анализировать и сопоставлять разные точки зрения. Особенно, когда в СМИ и соцсетях в очередной раз рассказывают о вещах мистического и пропагандистского свойства так, как если бы они существовали на самом деле. С моей точки зрения, нужно показывать людям, что думать — это круто, что в жизни это точно пригодится. ■

Беседовала Анастасия Рогачева



# ГДЕ ЖИВЕТ НАША ПАМЯТЬ?

Память — эфемерная структура, с трудом поддающаяся измерению. Лимит человеческой памяти неизвестен, а изучение ее механизмов занимает важнейшее место среди вопросов познания мозга. Чем травматическая память отличается от обычной и где хранятся наши воспоминания? Чего не хватает для построения единой теории мозга? На эти и многие другие вопросы отвечает начальник лаборатории нейронаук Курчатовского комплекса НБИКС-природоподобных технологий нейробиолог **Ольга Игоревна Ивашкина**.



*О.И. Ивашкина — выпускница биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. Фото: А.С. Луфт, «В мире науки».*

**— Локализована ли память где-то конкретно в мозге? Верно ли, что гиппокамп, пускай он и отвечает за перевод памяти из кратковременной в долговременную, все же не служит средоточием памяти в глобальном смысле?**

— Верно. С одной стороны, мы не можем отрицать анатомическую структуру, а с другой — нельзя сказать, что какая-то функция, в том числе память, ограничена лишь одной анатомической структурой, а значит, истина находится где-то посередине.

Известно, что память и ее отдельные эпизоды распределены в сетях нейронов, а эти нейроны, в свою очередь, распределены по всему мозгу. Какие нейроны и из каких структур будут входить в сеть конкретного памятного эпизода, зависит от того, какой это эпизод. Например, если я вспоминаю мелодию какой-то песни, то, конечно, буду задействовать слуховые нейроны, центры речи и т.д. Если же я вспоминаю то, чего боюсь, то в такую сеть будут входить нейроны структуры, которая называется «миндалины» и связана с эмоциями, страхами и т.д.

Гиппокамп действительно очень важен для памяти, и если по какой-то причине он будет разрушен или будет нарушена его функция, тогда и возможности запоминания будут существенно снижены.

**— Сразу вспоминается знаменитый пациент Г.М. (Генри Густав Молисон), который разучился что-либо запоминать после того, как у него были удалены части гиппокампа.**

— Да, именно так. Хотя теперь мы знаем, что во время операции у Г.М. пострадал не только гиппокамп, но и несколько областей коры головного мозга, а также миндалины.

И все же гиппокамп — это лишь некоторые формы памяти; он, например, никак не влияет на моторную память. Умение ездить на велосипеде или играть в футбол — это моторная память, которая зависит от совершенно других структур.

**— От каких?**

— В основном это моторные области коры и мозжечок. Кроме моторной существуют и другие формы памяти, которые никак не зависят от гиппокампа. Например, есть такая форма обучения — вкусовая аверсия. Представим, что мы попробовали что-то новое, какой-нибудь экзотический фрукт, и отравились им. Нам стало плохо, поэтому мы сразу связываем этот вкус с плохим состоянием и в будущем постараемся по возможности этого избежать.

То же самое можно развить у мышей, причем такая память тоже вырабатывается без участия гиппокампа, хотя какие-то его клетки все равно могут входить в эту общую сеть. Дело только в количестве этих клеток и в наполнении этой сети.

**— Получается, память повсюду? Она как бы вплетена в структуру мозга?**

— Да. Память распределена по мозгу, она представляет собой нейронную сеть. Это самое важное, что нам нужно понимать. Эти нейронные сети действительно распределенные. Чтобы увидеть всю память, нам нужно иметь возможность наблюдать мозг целиком.

**— А это возможно — увидеть, как вы говорите, всю память?**

— На данный момент мы не можем созерцать все многообразие сетей нейронов, кодирующих все возможные воспоминания, но можем следить за некоторыми из них.

**— Еще одна интересная тема, связанная с памятью, — это запах. Механизм его воздействия можно сравнить с машиной времени: запах возвращает нас в самые давние воспоминания, о которых мы даже не подозревали, что храним их. Ведь не зря же запахи используют в криминалистике. Известный следователь Н.Н. Китаев, например, специально изучал эту тему и задействовал разные запахи во время допросов.**

— Для каких-то конкретных воспоминаний нам всегда важен контекст. Это как раз то, что используют криминалисты или психологи. Если нужно что-то вспомнить, то сделать это проще, когда мы погружены в контекст конкретного воспоминания. Для воссоздания контекста могут привлекаться запахи, связанные с событием, которое, например,

происходило в комнате или на открытом воздухе, где ощущалось дуновение ветра или даже слышались какие-то звуки. Так, если что-то произошло в комнате, где шумит кондиционер, этот звук тоже может выступать своеобразным «якорем». Кстати, подобные методики мы используем в своих экспериментах на мышах.

Всегда есть память обо всей обстановке, о контексте, и внутри нее могут быть еще какие-то специфические воспоминания. Запах — это эволюционно древнее чувство. Активируя определенные нейроны, «вытащить» воспоминания из сети, которая их кодирует, довольно просто. Гораздо сложнее восстановить какие-то конкретные зрительные сцены.

**— И все же ни звук, ни картинка, на мой взгляд, не идут ни в какое сравнение с запахом...**

— В целом да. Причем у нас это может быть не так ярко выражено, если сравнивать с животными. Мы же относимся к микросматикам — существам со слабой степенью развития обонятельной системы. Мы не так хорошо различаем запахи, как собаки или грызуны. А для других животных это вообще очень мощный стимул, и они в своей жизни на него в основном и ориентируются. И если зрительные стимулы постоянно сменяются, то запахи — более постоянные и конкретные. Получается, что за них просто легче зацепиться.

Кроме того, важный момент — наличие прямых связей у нейронов обонятельных луковиц, которые кодируют разные запахи, с клетками гиппокампа и миндалины. Запах может впечататься очень

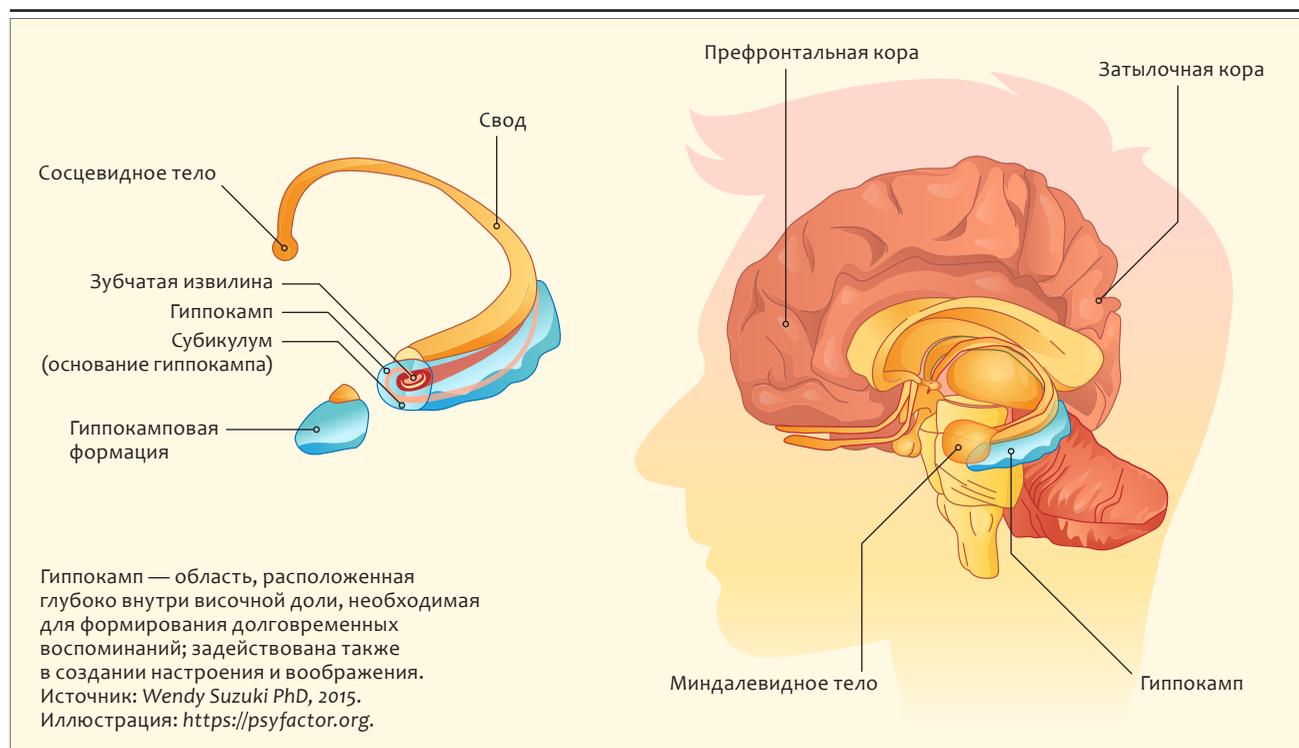
сильно: если активируются определенные нейроны, то и вся сеть конкретного воспоминания может за них зацепиться. Поскольку память — это сеть и нейроны связаны друг с другом, то когда активируются какие-то клетки, связанные с запахом, за ними по цепочке могут быть задействованы клетки, которые связаны уже с другими аспектами. И тогда мы что-то вспоминаем ярко.

**— Может ли быть так, что мозг на самом деле помнит абсолютно все, просто мы не имеем доступа к каким-то воспоминаниям?**

— Мы знаем, что есть процесс активного забывания: например, многое из того, что мы видим за день, ночью стирается из памяти. Нам не нужно запоминать черты лиц всех людей, которые с нами ехали в метро и на которых мы обратили внимание, или какие-то обрывки фраз. Есть очень много вещей, которые мы могли бы запоминать, но мы их не запоминаем.

**— То есть кратковременная память. А долговременные воспоминания остаются навсегда?**

— С одной стороны, действительно, есть теория, в соответствии с которой многое остается, но мы просто теряем к этому доступ. С другой стороны, известно, что мы все равно можем что-то забывать, а главное — что память постоянно меняется. Наше воспоминание о чем-то отнюдь не статично, причем ни в нашем проявлении, как мы это вспоминаем, ни в нейрональной субстрате. Это объясняется тем, что нейроны, входящие в эту сеть, не одни и те же: если мы сегодня что-то выучим и запомним, а затем посмотрим на слепок этих



нейронов, то это будет один слепок, а когда мы то же самое вспомним завтра или через три дня, сеть будет уже чуть-чуть другая, другие клетки.

В памяти, согласно принятой сегодня концепции, постоянно происходит некоторое «дообновление». Этим, кстати, объясняется то, что мы помним что-то про детство, но обычно это не совсем то, что с нами реально происходило: воспоминания часто обрастают несуществующими деталями.

**— Рост новых клеток головного мозга у человека никогда не прекращается?**

— Да, есть такое понятие, как «взрослый нейрогенез». В принципе, нейрогенез у нас активно идет при внутриутробном развитии, интенсивен он также и в детском возрасте, когда достигает своего максимума, а затем постепенно затухает, но полностью никогда не заканчивается. Во взрослом возрасте прирост новых нейронов происходит в гиппокампе, в структуре под названием «зубчатая фасция», и в местах, которые называются «околожелудочковая зона», — в желудочках мозга, по которым течет спинномозговая жидкость. Недавно в научном мире даже были дебаты на эту тему. Одна группа ученых показала, что у человека во взрослом возрасте нейрогенез сходит на ноль, другие же ученые заявили, что это не так, и указали на методические ошибки своих оппонентов. Вышла целая серия статей, посвященных этой теме. Но мы пока считаем, что у человека даже во взрослом возрасте появляются новые нейроны.

Есть второй дискуссионный вопрос: стволовые клетки, из которых появляются новые нейроны. Истощаются ли со временем их пул? Одна теория гласит, что они могут постоянно самоподдерживаться и запас со временем не иссякает. В соответствии с другой версией, напротив, стволовые клетки истощаются и могут совсем закончиться. Этого мы пока не знаем. Что же касается упомянутого нейрогенеза, то да, обновление нейронов происходит и они могут встраиваться в сети головного мозга. В гиппокампе они интегрируются в том числе в нейронные сети, кодирующие разные воспоминания.

**— Выдающийся английский натуралист Альфред Рассел Уоллес говорил об избыточности возможностей человеческого мозга: зачем нам мозг, способный создавать музыкальные шедевры или строить математические теории? А что сегодня известно об уникальности или неуникальности нашего мозга?**

— В целом можно сказать, что, поскольку мы отличаемся от приматов, в нас действительно есть что-то особенное. И, несмотря на то что на уровне ДНК сходство между нами и шимпанзе превышает 98%,

у людей есть определенные гены, которых нет у приматов. И это в том числе опосредует то, что мы другие.

На самом деле мы пока до конца не знаем, что именно делает нас отличными от других животных. Мы видим, что базовые принципы очень похожи. Если взять червяка *C. elegans*, который может обучаться, и человека и посмотреть на синаптические процессы (те, которые происходят при обучении), то мы увидим отличия в местах контакта между нейронами. Однако базовые принципы все равно одинаковы. Если смотреть дальше — на животных, которые эволюционно к нам ближе, — эти принципы и механизмы будут все более схожи. Но есть определенные области, которые устроены по-другому. Судя по всему, существует еще какая-то принципиальная надстройка, дающая нам такую развитую психику и такие когнитивные функции. Но пока мы не можем это объяснить.

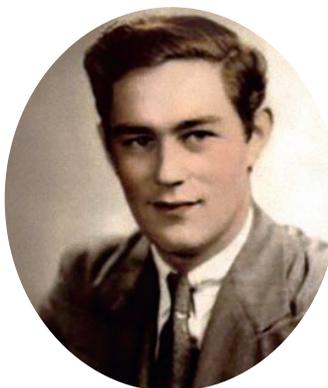
**— Если сравнить мозг человека и мозг шимпанзе, то какие принципиальные отличия можно обнаружить?**

— Важным отличием будет, например, то, что у нас есть области, связанные с языком. У шимпанзе таких областей нет — и нет способностей к такому же развитому языку, как у нас. В целом, не вдаваясь в подробности, скажу, что в их мозге все распределено несколько по-другому.

Что касается людей, то наш мозг в отличие от мозга шимпанзе устроен более плотно, в нем больше нейронов на единицу площади. Все эти вещи, о которых мы говорим, — чисто количественные, на фундаментальные вопросы ответа они не дают.

Долгое время считалось, что важен размер мозга. Затем стали говорить, что имеет значение соотношение размеров мозга и тела. Но есть примеры, которые показывают, что мы и здесь не на первом месте. Видимо, в устройстве сетей нейронов имеют значение некие более сложные феномены, и их мы пока объяснить не можем.

**— А увидеть их, используя оборудование для сканирования мозга, возможно?**



Генри Густав Молисон — самый знаменитый неврологический пациент в истории науки. В 1953 г., для того чтобы облегчить тяжелейшее течение эпилепсии, Молисону была сделана экспериментальная операция по удалению гиппокампа из обоих полушарий мозга. В результате у пациента пропала возможность запоминать что-либо, то есть навсегда исчезла долговременная память.

— Если мы посмотрим на мозг в магнитно-резонансном томографе (МРТ), то увидим активацию определенных структур. МРТ может лишь показать какие-то явления, но не объяснить их. Нельзя объяснить сложные психические функции тем, что мы видим, что какие-то структуры активируются, а какие-то нет. Это всего лишь некоторая корреляция, но, чтобы докопаться до сути вещей, нам нужны новые идеи о том, как устроены эти нейронные сети.

**— Поговорим о вашей работе. В лаборатории нейронаук Курчатовского комплекса НБИКС-природоподобных технологий, которой вы руководите, проводятся беспрецедентные эксперименты по изучению того, можно ли стереть память. Расскажите об этом подробнее.**

— Да, работая с лабораторными мышами, мы исследуем возможность избавиться от определенных воспоминаний. Это интересует нас, в частности, в контексте травматической памяти, которая формируется при сильных стрессовых воздействиях. Есть такое заболевание — посттравматическое стрессовое расстройство (ПТСР). Оно развивается у людей, которые попали в какие-то тяжелые ситуации: теракты, военные действия, авиакатастрофы и т.д. Мы можем моделировать это состояние на животных и далее пытаться стереть у них эту травматическую память, потому что от травмирующих воспоминаний для организма нет никакой пользы.

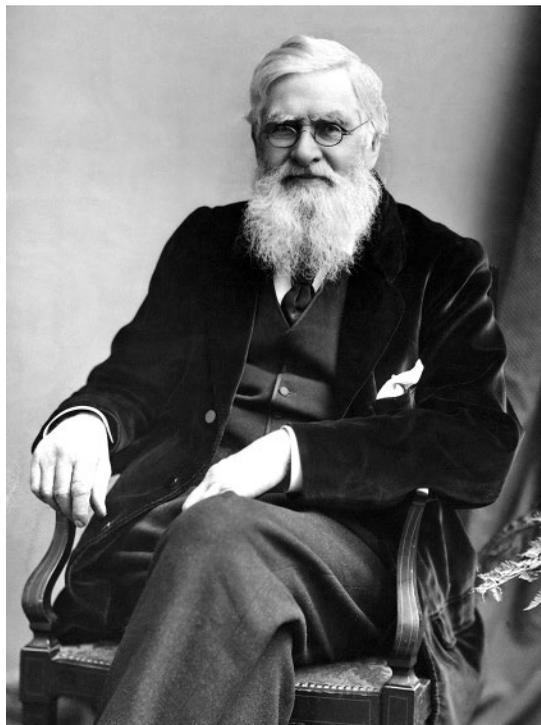
**— Такая методика могла бы стать отличным дополнением к психотерапии. А вам уже удавалось уничтожить определенные воспоминания у животных?**

— Сейчас мы можем это делать на мышах. Если мы предложим животному вспомнить травмирующую ситуацию и в определенный момент введем вещества, нарушающие синаптическую пластичность, то получим желаемый эффект. Но людям такая процедура, конечно, пока еще недоступна, потому что используемые вещества имеют ряд побочных токсических эффектов. Предстоит еще много работы, прежде чем подобное лечение от травмирующих воспоминаний можно будет внедрять в клиническую практику.

Стирать определенные воспоминания у мышей нам удается с помощью процедуры реактивации памяти: когда мы что-то вспоминаем, память приходит в лабильное состояние и в этот момент ее можно заблокировать. В том числе в этот момент можно заблокировать и стереть травматическую память.

Стирание памяти как таковое — известный факт. Нам же было важно показать, что мы можем прицельно уничтожить именно травматическую память.

Еще один способ удалить травматическую память — непосредственно в момент воспоминания

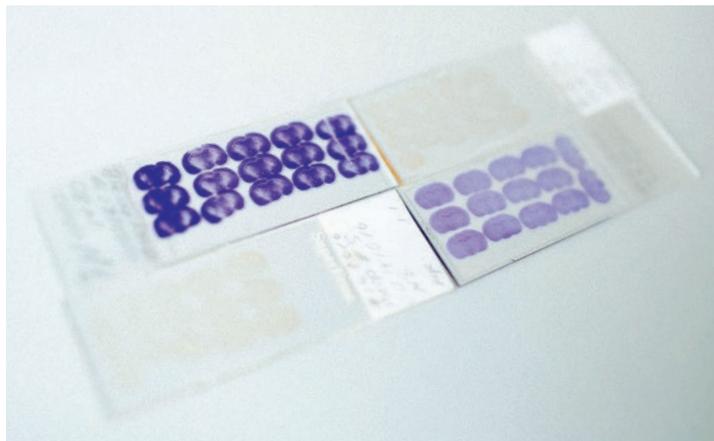


**В биологии** идею о том, что эволюция закончилась у нас в голове, называют парадоксом Уоллеса. Альфред Рассел Уоллес — выдающийся английский натуралист, современник Дарвина, наряду с ним считающийся первооткрывателем эволюции путем естественного отбора. Источник: Frans de Waal PhD, 2016. Фото: London Stereoscopic and Photographic Company (active 1855–1922), first published in *Borderland Magazine*, April 1896.

попробовать затормозить работу той сети нейронов, которая участвовала в воспоминании. Это можно сделать с помощью методов оптогенетики. Мы берем сеть, которая участвует в воспоминании, и маркируем ее специальными белками, представляющими собой светочувствительные каналы. Если на эти нейроны попадет свет определенной волны, например синий или красный, в зависимости от каналов, то эти каналы откроются и нейроны затормозятся.

**— Вы изучаете страх у мышей. Расскажите об этих исследованиях.**

— Эта тема — одна из важнейших в нашей научной программе. Мы исследуем, как формируется аверсивная память у мышей — когда они запоминают то, что вызывает у них страх. Для этого мы используем классическую модель обучения, так называемое условно-рефлекторное замирание. Это значит, что мы помещаем животных в какую-то новую для них камеру, они ее обследуют и у них формируется память о контексте, об обстановке: что это за камера, как там пахнет, какие там звуки и т.д. Затем мы можем подавать какие-то дискретные сенсорные стимулы, обычно звуковые. В определенный момент времени подается



*Исследования по стиранию* травматической памяти, проводящиеся в лаборатории нейронаук Курчатовского комплекса НБИКС-природоподобных технологий, в будущем смогут дополнить психотерапию и психиатрию новыми методами лечения ПТСР. Фото: А.С. Луфт, «В мире науки».

электрический ток, животные пугаются и начинают считать эту камеру и эти сенсорные стимулы опасными. Дальше можно разными способами заглядывать в мозг животного и смотреть, что там происходит.

Одна из интереснейших вещей — наши попытки понять, как именно мы запоминаем контексты. Перед нами стоял вопрос: запоминаем ли мы все целиком комплексом сразу или есть нейроны отдельных элементов этого комплекса, которые затем соединяются? Для того чтобы это узнать, мы обучали животных бояться определенного сочетания сигналов: например, свет и звук вместе. Это сочетание мы связывали с электрическим током и дальше искали нейроны отдельных компонентов или всего комплекса сразу. Оказалось, что есть и те и другие. Получается, что мозг запоминает травмирующий контекст двумя способами сразу, что позволяет нам, с одной стороны, запоминать всю обстановку целиком, а с другой — запоминать отдельные элементы, и с этим связаны совсем другие нейроны. Это некая двойная система кодирования травмирующих ситуаций: отдельные клетки кодируют всю ситуацию целиком, и отдельные клетки кодируют единичные элементы этой ситуации.

**— Классическая реакция на угрозу известна как «бей или беги». Как наш мозг решает, каким образом лучше поступить: бить, бежать или, может, замереть?**

— Организм всегда руководствуется тем, что адаптивно в данный момент. Возьмем для примера условных мышей в камере, которые получают разряды тока. Из трех вариантов самым адаптивным будет затаиться, потому что атаковать, по сути, некого (ток приходит откуда-то снизу, без конкретной локализации) и бежать тоже некуда. Мыши уже поняли, что это замкнутая камера, поэтому

они выбирают затаиваться. Точно так же как и животные в естественной среде решают, сбежать от хищника или попытаться затаиться и спрятаться. С одной стороны, выбор определяется тем, что будет более адаптивно, с другой — у людей, да и у животных тоже, есть индивидуальные стереотипные паттерны поведения, которые вырабатываются в течение жизни. Например, кого-то учили всегда давать сдачи, а другому говорили: «Лучше отойди и не ввязывайся в конфликт». Это просто наглядные примеры. И это определяет характерный паттерн. Соответственно, паттерн накладывается на то, что в данный момент представляется более адаптивным. Так что те или иные стратегии поведения проявляются в разных ситуациях.

**— Все ваши исследования очень интересны. А вы можете выделить какое-то одно наиболее перспективное направление?**

— Наиболее интересно для меня и моих коллег — понять принципы, клеточные механизмы обучения памяти. Как я уже говорила, память — это не что-то статичное, мы рассматриваем ее в динамике. Нам важно понять, что происходит с памятьным следом со временем. Например, при старении. Да, мы знаем, что память с возрастом ухудшается, но как это проявляется на конкретных нейронах? Чем травматическая память отличается от обычной? Ведь, в принципе, пугаться чего-то — вполне нормальное адаптивное явление, и мы таким образом понимаем, какой конкретно угрозы следует избегать в будущем.

**— В чем же тогда принципиальное отличие травматической памяти?**

— В том, что травматическая память уже не адаптивная, она не специфическая. Мы не боимся чего-то конкретного, а растим в себе генерализованный страх — когда какие-то не связанные с изначальной стрессовой ситуацией вещи начинают вызывать весь комплекс болезненных воспоминаний. Характерный пример: громкий звук стартового автомобиля способен напугать бывших военных, которые слышали выстрелы на поле боя. Страх могут вызывать другие громкие звуки или даже какие-то тени. У каждого свой страх. Но чем именно сильная травматическая память и адаптивная аверсивная память отличаются на уровне нейронов, мы пока до конца не знаем.

Нам удалось показать, что изменения в мозге, вызванные стрессом, могут иметь пролонгированный характер. Например, произошла травматическая ситуация, она закончилась, дальше мыши сидят в своих домашних клетках и, казалось бы, с ними уже ничего плохого не происходит; но если через неделю после травмирующей ситуации взять эту мышь из домашней клетки (а для

мышь неделя — это уже довольно много) и посмотреть на ее мозг, оказывается, что мозг находится в состоянии повышенной активности.

**— То есть она всю неделю пребывала в таком состоянии?**

— Да. Всю неделю мыши сидели как будто спокойные в своих домиках, в своих родных клетках, но это только с виду. Если мы возьмем мышь без травмы в анамнезе до этого, просто обычную мышь, и посмотрим на ее мозг, он будет находиться в спокойном состоянии. Да, там будут какие-то отдельные активные нейроны, отдельные структуры, но в целом, если мы посмотрим на белковые слепки активности мозга, они будут, как мы говорим, пустыми: там не будет большого количества активированных клеток, которые находятся в состоянии пластичности. А если мы возьмем мышь, у которой семь дней назад была травма, то увидим, что во многих структурах мозга очень много нейронов, которые находятся в состоянии повышенной пластичности. И если мы посмотрим на связанность структур друг с другом, окажется, что и она изменилась. Это значит, что в течение долгого времени после травмы мозг находится не в нормальном состоянии, не в покое. Кстати, похожие вещи видно в исследованиях и у людей с травмами, если смотреть на активность их мозга под МРТ. Получается, мозг находится в повышенном, активированном состоянии по сравнению с обычным. Дальше мы уже посмотрим на более детальные механизмы, на то, как структуры и клетки синхронизируются друг с другом после травмы. Мы пытаемся понять, действительно ли наши процедуры по стиранию памяти приводят к тому, что мозг возвращается в нормальное состояние.

**— А такая повышенная активность мозга — разве плохо?**

— Да, получается, что не очень хорошо, потому что дальше у животных развиваются симптомы травмы. Например, если мы говорим про мышей, то они начинают бояться ситуаций, в которых с ними никогда ничего плохого не происходило. То есть мы сажали их в одну камеру, где они сталкивались с травмирующей ситуацией, а затем перемещали в совершенно другие условия, в другую камеру, и видели, что они и ее стали бояться. Это не адаптивная память, потому что она распространяется на разные эпизоды, не связанные с изначальной травмой.

**— И сколько может длиться такая тревожность у мышей?**

— Мы знаем, что такое состояние может продолжаться несколько месяцев. А может ли это сохраняться на всю жизнь (мышь живет два-три года), мы пока не проверяли. Но планируем.

**— Правда ли, что события, которые были подкреплены сильными эмоциями, лучше запоминаются? С чем это связано?**

— Да, в целом это так. Особенно если речь идет о негативных эмоциях: они запоминаются еще лучше. Это связано с тем, что эмоции — всегда отражение того, что нечто, происходящее в окружающей среде, для нас важно. Если в какой-то момент мы сидим безучастные, то нам, скорее всего, неважно, что происходит. Если же мы испытываем по определенному поводу некоторые ощущения, это значит, что мы вовлекаемся в такие ситуации, процессы и, конечно, запоминаем их лучше, потому что в будущем нам это может зачем-то понадобиться. Раз мы в них вовлекались, если нас что-то испугало, возможно, это стоит запомнить, потому что мы можем снова с этим столкнуться. И нам важно иметь об этом представление.

Радостные события тоже запоминаются хорошо. Если мы где-то испытали удовлетворение или счастье, в будущем можем попробовать испытать подобное ощущение еще раз, попав в аналогичную ситуацию.

**— Что, на ваш взгляд, мешает построить единую теорию мозга?**

— Во-первых, нам нужно еще больше эмпирических данных о мозге. Все говорят, что сейчас выходит очень много статей по нейробиологии. С одной стороны, это так, а с другой — думаю, мы еще не достигли критической массы. Это впереди. Вторая принципиальная вещь, которая нам необходима, — метаанализ всех этих данных. Вот здесь мы, ученые, на мой взгляд, отстаем. И третьи: нужны люди, которые будут не ставить эксперименты, а больше анализировать эту проблему.

Кроме того, важнейший момент — возможность сотрудничества специалистов из разных областей знания, иногда, казалось бы, довольно далеких от нейронауки.

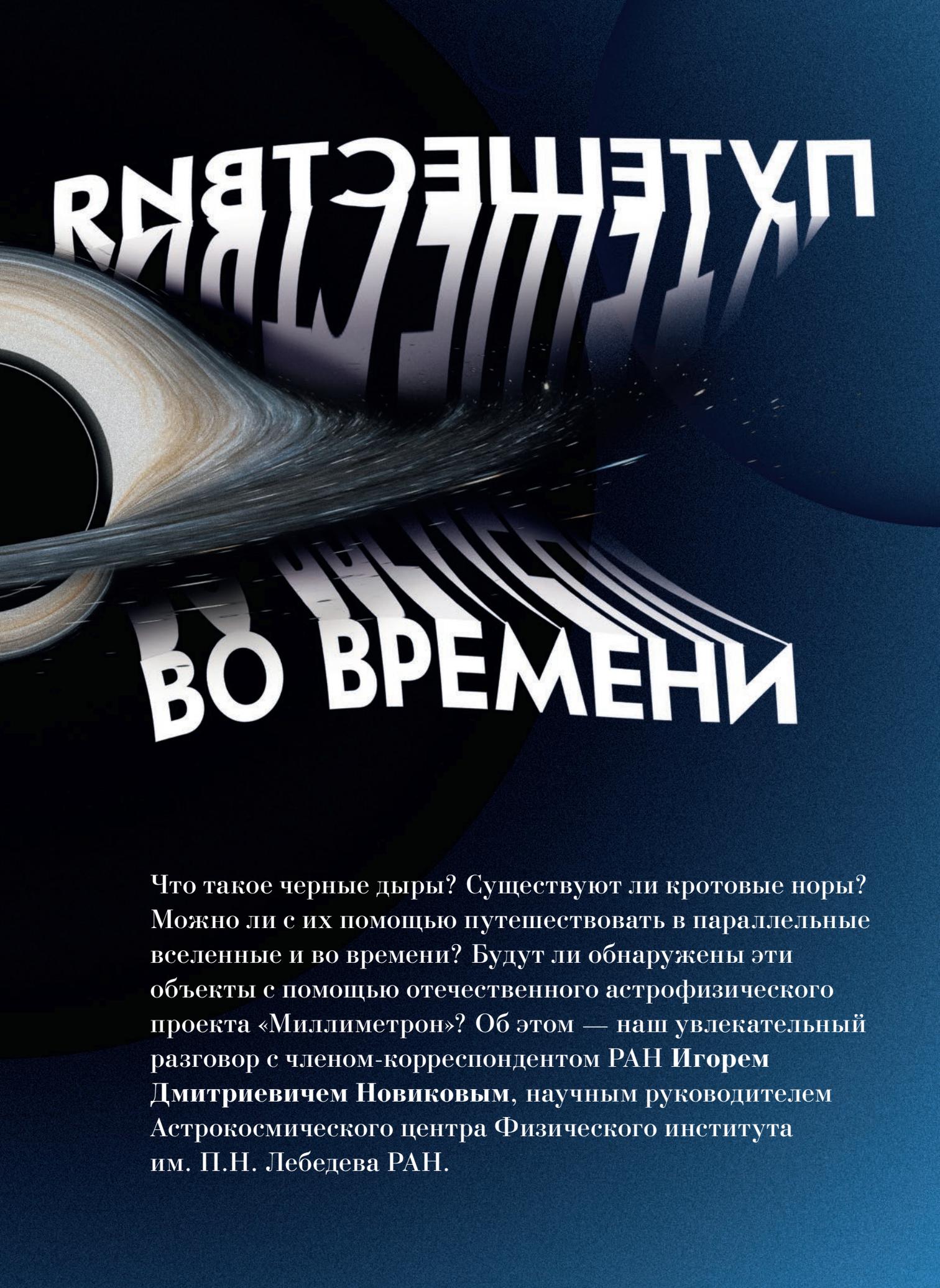
Такая конвергенция разных наук как раз реализуется в Курчатовском комплексе НБИКС-природоподобных технологий, как было задумано при его создании М.В. Ковальчуком. Это дает уникальную возможность тесно сотрудничать со специалистами разных подразделений нашего комплекса, которые занимаются совершенно другими проблемами, что позволяет продвинуться и в наших исследованиях тоже. Благодаря такому взаимодополняющему сотрудничеству в нашем институте мы можем использовать в работе самые разнообразные методы и технологии: генетически кодируемые сенсоры, вирусные конструкторы, оптические технологии для визуализации активности мозга, машинное обучение и искусственные нейронные сети для анализа получаемых данных, а также методы молекулярной биологии и генетических технологий. Я уверена, что нейронаука без подобной возможности проводить исследования вместе сучеными разных областей не двигалась бы вперед настолько активно. ■

*Беседовала Янина Хужина*

АСТРОФИЗИКА

ПУТЕШЕСТВИЯ  
ВО ВРЕМЕНИ

ФАНТАСТИКА  
ИЛИ  
РЕАЛЬНОСТЬ?



# ПУТЕШЕСТВИЯ ВО ВРЕМЕНИ

Что такое черные дыры? Существуют ли кротовые норы? Можно ли с их помощью путешествовать в параллельные вселенные и во времени? Будут ли обнаружены эти объекты с помощью отечественного астрофизического проекта «Миллиметрон»? Об этом — наш увлекательный разговор с членом-корреспондентом РАН Игорем Дмитриевичем Новиковым, научным руководителем Астрокосмического центра Физического института им. П.Н. Лебедева РАН.



Член-корреспондент РАН И.Д. Новиков

**— Игорь Дмитриевич, хотелось бы вспомнить вашу биографию в науке, когда вы были молодым ученым и начинали свой путь в астрофизике, работая под руководством Я.Б. Зельдовича и И.С. Шкловского. Что это были за люди, какие они оставили у вас воспоминания?**

— Это были мои учителя. Жизнь каждого человека начинается с учителя — сначала в школе, в семье. Но когда мы говорим об учителях в науке, мы имеем в виду нечто большее. Я глубоко уверен, что ни один настоящий профессионал в науке не может обойтись без настоящего учителя в начале своей научной карьеры. Дело в том, что физика, астрономия — это сложные дисциплины. Им можно научиться по книгам, учебникам, лекциям, и вы будете разбираться в основах этих наук. Но вы не будете в этой науке созидать. Этому выучиться самому нельзя, этому может научить только мастер. Поэтому для того, чтобы стать профессионалом, необходимо иметь учителя, настоящего мастера.

Для меня таким мастером был Я.Б. Зельдович. Я в своей жизни встречал много ученых, но Яков Борисович — самый великий физик, с которым мне довелось общаться и работать. Он не просто любил науку, он любил ее самозабвенно. Яков Борисович понимал в физике все. Он знал о решении физических проблем до того, как они решались реально. Он чувствовал это, ощущал, и вот этому он мог научить, и он этому научил меня.

**— Он развил у вас интуицию в науке?**

— Не только интуицию. Я бы обозначил это, может быть, не совсем научным

термином — ощущение науки. Наука имеет такое свойство: вы либо ее чувствуете, ощущаете, либо просто знаете что-то. Этого недостаточно для творчества. Думаю, и в других областях человеческой жизни по-настоящему творить может научить только настоящий мастер.

Яков Борисович мог, например, позвонить мне в четыре утра и сказать: «Игорь Дмитриевич, есть идея, приезжайте». Он не думал в этот момент о том, что у меня нет машины, а транспорт еще не работает. Это его не то чтобы не интересовало — он в этот момент думал о другом. Это было всеобъемлющее погружение в науку.

Мы много работали вместе. У нас опубликовано 50 совместных научных работ, несколько книг. Я ему бесконечно благодарен за это.

Совсем другим наставником был И.С. Шкловский. Иосиф Самуилович был астрономом, а Яков Борисович — физиком, это две разные науки.

**— Казалось бы, астрономия — часть физики...**

— Астрономия — это больше чем физика. Лучше сказать, астрофизика — это большая физика, а астрономия еще больше, чем астрофизика. Я встретился с И.С. Шкловским еще в мои студенческие годы, да и познакомился с ним еще раньше, когда был в астрономических кружках Московского планетария. Но по-настоящему мы сошлись, когда я учился в Государственном астрономическом институте им. П.К. Штернберга МГУ. Иосиф Самуилович там преподавал, он заведовал отделом в ГАИШ. Он был настоящим астрономом, чрезвычайно ярким, острым на язык. Я бы сказал, что он крайне агрессивно обращался с научными проблемами. Вот этому он тоже меня научил.

Они совершенно разные — Яков Борисович и Иосиф Самуилович. Иосиф Самуилович был любимцем не только советских астрономов, но и зарубежных, и в первую очередь за чрезвычайно яркое воображение в научном творчестве.

В астрофизике видеть в своей голове то, что происходит, еще важнее, чем в физике. Именно этому меня научил И.С. Шкловский, хотя у нас нет ни одной совместной работы. Кроме того, он был очень чутким человеком, понимал, когда людям плохо и они нуждаются в помощи. Иосиф Самуилович помог мне, когда в работе моей группы встретились трудности. Можно сказать, он спас нашу группу, и за это я ему очень благодарен.

— **И.С. Шкловский считал, что мы одиноки во Вселенной. Вы разделяете его точку зрения или считаете иначе?**

— Сначала И.С. Шкловский считал, что мы далеко не одиноки во Вселенной, а потом он изменил свое мнение на этот счет. В течение своей жизни при последующем изучении он и на другие интересные проблемы изменил точку зрения. Он был отнюдь не консервативен, и это тоже очень важно. Действительно, к концу своей научной карьеры он пришел к выводу, что мы во Вселенной одни. Я глубоко разделяю именно эту позицию Иосифа Самуиловича.

Самый главный аргумент: если бы мы были не одиноки, то наивно думать, что мы самые умные, а другие цивилизации — не очень. Наша деятельность, наши научные возможности приводят к тому, что нас можно видеть, наблюдать практически с самых границ Вселенной. Значит, если бы другие разумные цивилизации существовали, мы бы их наблюдали. Сейчас мы обладаем гигантской мощностью в энергетических возможностях, а будущая цивилизация наверняка сможет использовать на полную мощность, скажем, энергию звезды или черной дыры.

Но мы таких чудес не видим, и это заставило И.С. Шкловского заключить, что, увы, мы здесь одни. Я не специалист по внеземным цивилизациям, но, безусловно, интересовался этими вопросами. Я понимаю, что если обнаружится что-то наподобие нашего разума, сознания, нашего общества, это будет величайшее чудо. Я не понимаю даже, как возникли мы, и не знаю, как могло бы возникнуть что-нибудь другое. Но это, конечно, научный вопрос, который нужно изучать. И сам И.С. Шкловский много этим занимался, и его ученики: в частности, академик Н.С. Кардашев очень долго работал в этом направлении...

— **Но ведь Н.С. Кардашев до последнего дня верил, что мы обязательно встретим внеземной разум?**

— Да, он верил. Он вообще был фантазером в самом хорошем смысле этого слова.

— **Игорь Дмитриевич, я хотела бы коснуться вашей работы в Копенгагенском университете, в Центре теоретической астрофизики, куда вы были приглашены, и сейчас, как я понимаю, остаетесь там научным сотрудником, читаете лекции. Как получилось, что вы туда попали, и какие были цели и задачи вашей работы?**

— До конца 1980-х гг. мне и в голову не могло прийти, что я смогу работать

за рубежом. Все было хорошо, великолепная научная атмосфера, возможности. Но, как вы, наверное, помните, к концу 1980-х гг. все стало разваливаться — наука и сама жизнь. Я понял, что, оставаясь здесь, не могу помочь своим коллегам, с которыми работал, моей семье. Помню, что болел в этот период и не мог достать необходимые продукты. Я получил приглашение в несколько университетов — в Англии, Германии, Италии и Дании. Выбрал Данию.

— **Почему?**

— Главным образом потому, что там была школа знаменитого Нильса Бора, величайшего физика прошлого века. Я стал профессором Копенгагенского университета. А через некоторое время специальным решением датского парламента там был создан Центр теоретической астрофизики и я стал его директором. Я проработал там 16 лет. Считаю, что это было очень успешно. Моя научная группа, которая была создана, включала в том числе и моих российских коллег. За этот период у нас побывали с визитами больше 100 научных сотрудников из России. Мы работали по совместным научным программам с восемью известными российскими институтами и университетами. Кроме меня в центре на долгосрочной основе работали три профессора из России. Мы провели за этот период более 30 научных конференций с участием российских ученых. Но, конечно, в центре работали и иностранцы, тоже с большим успехом. Сейчас я думаю, что это было правильное решение.

— **Но все-таки вы вернулись в Россию.**

— Да, вернулся. Главной причиной тогда, когда я принимал это решение, было то, что



**Иосиф Самуилович Шкловский (1916–1985)** — известный астроном, астрофизик. Занимался разработкой общей теории короны Солнца и теории радиоизлучения Солнца, теорией происхождения космического радиоизлучения.



**Яков Борисович Зельдович (1914–1987)** — физик и физикохимик. Внес крупнейший вклад в развитие теории горения. В работах по космологии основное место занимала проблема образования крупномасштабной структуры Вселенной.

в Дании есть лимит на возраст, когда человек может работать в государственном учреждении. Я считаю, что это крайне неразумно, и всегда так считал. Сейчас все это отменили. Но тогда там было так. Конечно, можно было остаться в Дании, но в России у меня всегда были теснейшие связи с Физическим институтом академии наук. Я с радостью вернулся в Россию, где таких ограничений нет, не было и, надеюсь, никогда не будет. Мне уже немало лет, но я вполне успешно работаю в России, хотя по-прежнему поддерживаю связь с Данией: я почетный профессор Копенгагенского университета, у нас есть совместные научные программы.

**— Какая тема, по вашему мнению, самая важная и актуальная?**

— Мне довелось работать по самому широкому кругу научных программ: по происхождению и развитию Вселенной, по изучению загадочных небесных тел, таких как черные дыры, квазары, по многим другим. Поэтому выбрать самые важные темы, в которых мне доводилось участвовать, трудно.

Например, с астрофизиком и космологом А.Г. Дорошкевичем мы предсказали возможность обнаружения реликтового излучения Вселенной, возникшего в моменты ее рождения, и потом это излучение было открыто с помощью телескопа, который мы указывали. Это интересная и важная работа. С Я.Б. Зельдовичем мы впервые измерили массы квазаров — гигантских тел, расположенных в центре галактик.

И все же самая любимая — моя первая работа по общей теории относительности, которую я выполнил в юности. Она была посвящена загадочным явлениям, которые происходят внутри черных дыр, необыкновенному пространству-времени, которое существует внутри них. Я всегда любил таинственные вещи, поэтому и стал астрономом. Я и сейчас продолжаю работать над этой тематикой.

В настоящее время я научный руководитель Астрономического центра ФИАН. Центр выполняет большие и сложные программы, посвященные исследованию космоса. В недалеком прошлом чрезвычайно успешно осуществилась научная программа «Радиоастрон». Это космический радиотелескоп, работающий на космической орбите, которая простирается от окрестностей Земли до расстояний порядка от Земли до Луны. Интерес главным образом был связан с тем, что благодаря таким гигантским размерам орбиты телескоп

работал как космический интерферометр и мог различать чрезвычайно малые объекты по угловым размерам.

Сейчас мы работаем над программой «Миллиметр». Это государственная программа, которая посвящена работе с гораздо более мощными аппаратными и космическими возможностями. Когда я начинал свою научную работу, радиоастрономия страдала очень малым угловым разрешением инструментов. Сейчас же это нечто качественно иное.

«Миллиметр» может измерять угловые расстояния примерно в 10 млн долей угловой секунды. Это означает, что если бы вы взяли книгу и положили на поверхность Марса, то с помощью такого инструмента могли бы ее читать. Возможности нашей программы чрезвычайно велики.

Я отвечаю за научную программу этого космического эксперимента. Мы очень серьезно работаем с большим коллективом российских и зарубежных ученых над созданием этих инструментов. Программа нацелена на решение самых важных, прорывных проблем современной астрофизики.

**— Какие проблемы вы считаете прорывными в современной астрофизике?**

— Мы выделили три наиболее важные проблемы, которые можно будет решить с помощью «Миллиметра».

Первая задача — изучение особенностей процессов, которые происходили в самом начале расширения нашей Вселенной.

Вторая программная задача — исследование процессов, которые происходят в окрестностях черных дыр, и попытки найти так называемые кротовые норы — еще более необычные объекты. Все это было предсказано в общей теории относительности. Черные дыры открыты, кротовые норы — еще нет. Они могут соединять нашу Вселенную с другими вселенными. Если это будет обнаружено, решится важнейшая проблема не только астрофизики, но и всего нашего научного мировоззрения.

А третья задача — это вопрос о происхождении и эволюции жизни во Вселенной. Мы не столь амбициозны, чтобы пытаться найти разумную жизнь, наш инструмент не предназначен для этого, а вот понять, что происходит при зарождении жизни, как она может развиваться и достигнуть таких вершин, как на Земле, — эта задача нам по силам. Изучение появления зачатков жизни, эволюции воды как главного растворителя — вот что нас особенно занимает.

— Когда же будет запущен «Миллиметрон», который был мечтой Н.С. Кардашева?

— Он был мечтой еще И.С. Шкловского. Потом уже Н.С. Кардашева, а теперь это и моя мечта. Согласно плану «Роскосмоса», это должно случиться в конце 2020-х гг., то есть довольно скоро.

— Вы не зря сказали о кротовых норах. Ведь с их помощью возможно путешествие не только в параллельные вселенные, но и во времени. Одна из самых известных ваших теоретических работ — это принцип самосогласованности Новикова, который как раз обосновывает возможность таких путешествий во времени. Изменились ли у вас взгляды на эту теорию со временем? Что вы сейчас думаете по этому поводу?

— Спасибо за этот вопрос. Принцип, по которому могут быть созданы машины времени, с научной точки зрения был обоснован еще Альбертом Эйнштейном. Он говорил, что с самого начала создания общей теории относительности в 1915–1916 гг. понимал: нечто подобное можно сделать. Но он никак не мог сообразить, что же при этом произойдет.

Казалось бы, если будет создана машина, с помощью которой можно путешествовать в прошлое, то возникнут какие-то парадоксы: ведь прошлое можно будет изменять, а значит, будет нарушаться принцип последовательности развития событий, принцип причинности — основной в науке.

Меня всегда интересовали эти вопросы, интересуют и сейчас. В принципе, нет каких-либо законов, запрещающих существование таких машин. Правда, некоторые знаменитые физики считают, что это невозможно. Но другие этим интересуются и полагают, что это реально. Я понимаю, что сейчас такую установку, к сожалению, создать нельзя, потому что для этого надо затратить невероятное количество энергии. У нас не решены многие принципиальные вопросы, связанные с такой возможностью.

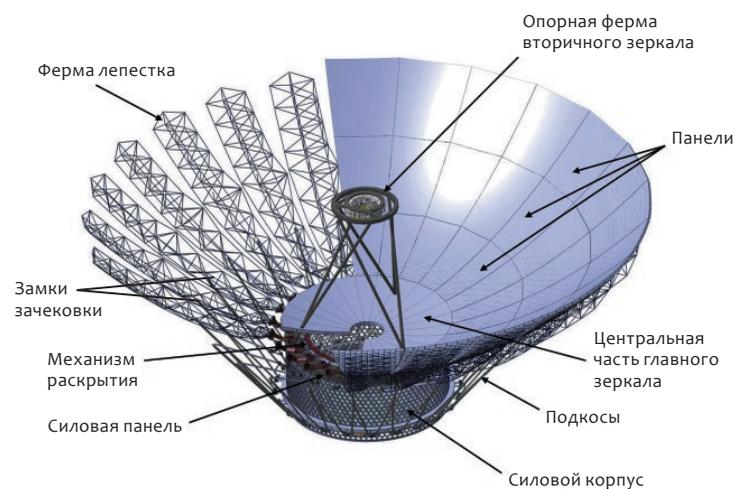
— Но ведь не менее знаменитые физики, например Кип Торн, считают, что это возможно, и даже консультируют такие фильмы, как «Интерстеллар».

— Да, Кип Торн был одним из первых физиков, который отнесся к этому серьезно. Он сделал вопрос важным для исследования с точки зрения современной науки. Мы с ним выполняли работы на эту тему, это очень интересно.

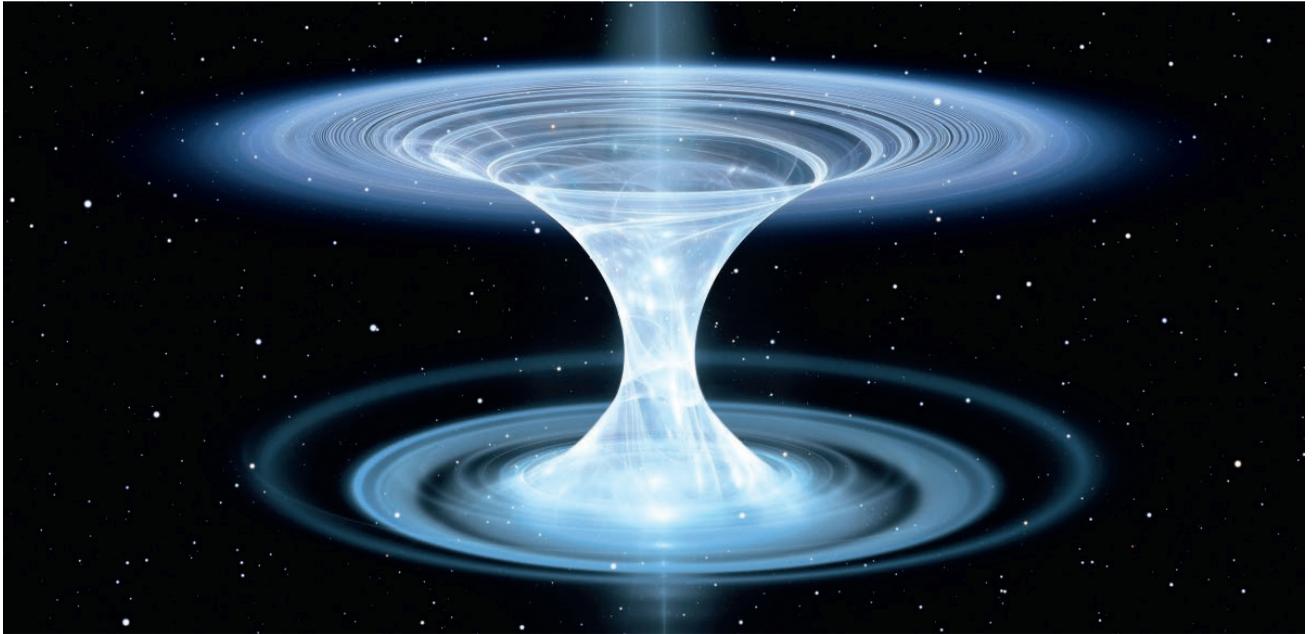
Мы пытаемся ответить на вопрос: что делать с возникающими парадоксами? Если можно отправиться в прошлое, значит можно повлиять на это прошлое, изменить его. Возникает «парадокс убитого дедушки», когда вы убиваете своего будущего деда до своего рождения, или «парадокс чокнутого профессора», когда вы убиваете самого себя. Об этом писал Стивен Хокинг. Тогда вся эволюция Вселенной в принципе может пойти по-другому, наше существование станет иным или оборвется.

— Почти по Шекспиру — «распалась связь времен»...

— Да, этот клубок вопросов представляет собой гигантскую загадку. Мне удалось чисто математически доказать принцип, который называется принципом самосогласования. Я доказал, что законы физики сами по себе не допускают никаких процессов, которые будут нарушать причинность.



Антенна космической обсерватории «Миллиметрон» представляет собой двухзеркальную оптическую систему, построенную по схеме Кассегрена. «Миллиметрон» будет работать вблизи точки либрации L2 системы «Солнце — Земля».



*Кротовые норы могут соединять нашу Вселенную с другими вселенными*

Если возможно путешествие во времени, значит возможны петли во времени, когда возвращается прошлое. Следовательно, будущее влияет на прошлое. Допустим, это будет возможно и будет осуществляться. Но будут происходить процессы, которые на этих петлях самосогласованы, они не ведут ни к каким парадоксам. Все парадоксы запрещены. Сама физика их запретит. Вот это очень необычно, и тем не менее это удалось доказать.

**— А может быть, наши далекие потомки уже изобрели такую машину времени и сейчас путешествуют, наблюдают за нами, слушают наш разговор?**

— Если такое в принципе будет возможно, то, конечно, нашим далеким потомкам удастся изобрести машину времени. Но вряд ли они сейчас слушают нас. Дело в том, что машина времени по самому своему определению — все-таки некое устройство, чрезвычайно сложно организованное. Раз мы путешествуем из будущего в наше настоящее, то есть их прошлое, значит эта машина должна существовать здесь, чтобы они могли слушать и наблюдать нас с вами. Но ее нет. Мы же не видим ее и не слышим. Или вы считаете, что они должны прятаться?

**— Почему бы и нет?**

— Я в такие сказки не верю, это все равно что летающие тарелки, которые нарочно скрываются, чтобы их не обнаружили.

**— То есть машина времени в будущем еще не изобретена, получается так?**

— Нет, может быть, изобретена, но поскольку она изобретена в будущем, путешествовать из будущего в прошлое на ней невозможно не достигая нашего момента, потому что у нас ее сегодня нет. Согласно законам физики, просто так появиться, без всякой машины, невозможно.

**— А каков смысл путешествия во времени, если мы не можем на него повлиять? Ну, например, предотвратить Вторую мировую войну.**

— Если будет изобретена машина времени, путешественник во времени может влиять на прошлое. Но это влияние уже согласовано с тем, что тогда происходило. Парадоксов не будет. Убить своего дедушку в прошлом еще до нашего появления на свет невозможно. Законы физики это запрещают. Тем не менее человек, допустим, появившийся из будущего в прошлом, может встретить самого себя, произвести какие-то действия, но эти действия уже самосогласованы. Это закон физики, кстати, доказанный на основе так называемого принципа минимального действия, самого главного закона всех физических явлений.

**— Как вы думаете, насколько все это фантастично?**

— Я верю, что нечто подобное возможно, потому что не вижу никаких принципиальных запретов. А если нет запретов — все, что не запрещено, разрешено. Так что это никакая не фантастика, а чистая математика.

Один мудрый человек сказал следующее. Допустим, имеется высказывание кого-то из великих ученых или писателей о том, что есть нечто интересное, которое сейчас не существует, но может быть изобретено в будущем. Это почти наверняка правильно, он не ошибается. А вот если такой же великий человек говорит: «Нет, это невозможно», — то он наверняка ошибается. Многие выдающиеся люди заявляли прямо накануне начала полетов аэропланов, что аппараты тяжелее воздуха по законам физики не могут подниматься. Это утверждали разумнейшие физики! А через несколько лет братья Райт осуществили свои первые полеты. Теперь мы уже не только летаем, но еще и движемся в космическом пространстве, достигаем границ нашей планетной системы.

— **Что уж говорить про ракеты, которые предлагал К.Э. Циолковский, а его просто считали сумасшедшим. Если бы изобрели машину времени, вы бы попали во времена своего детства или молодости и встретили себя, что бы вы себе сказали?**

— Я бы сказал, что надо больше доверять людям. Понимаю, что жизнь сложна и люди

бывают разные, но на меня произвели большое впечатление слова знаменитого советского физика Л.Д. Ландау. Он был разумный человек, очень прагматичный, сложный. Но когда с ним произошло несчастье (*автомобильная авария. — Примеч. ред.*), все физики, все его ученики и даже посторонние люди бросились спасать гения советской физики и продлили ему жизнь на несколько лет. И он тогда сказал: знаете, я раньше был гораздо худшего мнения о людях.

Я живу долгой и очень плодотворной научной жизнью. Мне много лет, но я успешно работаю. Недавно получил престижную научную премию имени Джона Арчибалда Уилера. Эта первая премия вместе с медалью присуждена мне, чем я очень горжусь, а также Кипу Торну, лауреату Нобелевской премии, моему хорошему другу, и Роджеру Пенроузу, тоже нобелевскому лауреату. Я счастлив, что имею возможность активно работать, хотя мне 85 лет. И я бы сказал себе молодому: продолжай работать так же активно, но больше доверяй людям, хотя, конечно, в жизни будет встречаться всякое. ■

**Беседовала Наталия Лескова**



**Николай Николаевич Колачевский**, член-корреспондент РАН, директор ФИАН:

— Игорь Дмитриевич Новиков — выдающийся российский ученый, специалист в области релятивистской астрофизики, космологии и теории тяготения, настоящая звезда ФИАН. Он один из создателей современной релятивистской космологии и ведущий в мире специалист по физике и астрофизике

черных дыр, гравитационных волн и гравитационной физике.

И.Д. Новиковым совместно с А.Г. Дорошкевичем была предсказана возможность открытия реликтового излучения Вселенной, а совместно с Я.Б. Зельдовичем впервые определены массы квазаров. И.Д. Новиков указал методы обнаружения черных дыр во Вселенной, совместно с Кипом Торном создал релятивистскую теорию дисковой аккреции газа на черные дыры, заложил основы физической теории черных дыр, их внутреннего строения, а также разработал новые методы в численной теории столкновения черных дыр.

Что же касается идей И.Д. Новикова относительно путешествий во времени, их не надо воспринимать как нечто бытовое, вроде поездки в отпуск на море. Машина времени — это красивая математическая

абстракция, которая не противоречит топологической модели Вселенной, где пространство и время едины, неделимы и существуют одновременно. Подобные идеи можно встретить у таких корифеев физической науки, как Стивен Хокинг, Кип Торн, Роджер Пенроуз, хотя у И.Д. Новикова они оригинальны. Считаю, что умение фантазировать для большого, давно состоявшегося ученого — это огромный плюс, которым обладает Игорь Дмитриевич.

Другой наш выдающийся физик, нобелевский лауреат П.Л. Капица говорил: «Наука — это то, чего не может быть. А то, что возможно, — это технический прогресс». Так вот, технический прогресс невозможен без «того, чего не может быть». Именно благодаря этому то, что сегодня кажется фантастикой, завтра может стать реальностью.

СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО

ГЕНЕТИКА И ПРОГНОЗЫ:

# УРОЖАИ БУДУЩЕГО

В ЛАБОРАТОРИЯХ  
ТИМИРЯЗЕВСКОЙ  
АКАДЕМИИ



Какие задачи стоят сегодня перед сельскохозяйственными науками? Как информационные технологии, селекционные и генетические исследования отвечают на изменения климата и необходимость снизить выбросы парниковых газов в атмосферу? Об этом журналу «В мире науки» рассказывает ректор Российского государственного аграрного университета — МСХА им. К.А. Тимирязева академик **Владимир Иванович Трухачев.**



Академик В.И. Трухачев

**А**

кадемик В.И. Трухачев возглавляет Тимирязевскую академию последние два года. До этого, с 1999 по 2019 г., он был ректором Ставропольского государственного аграрного университета.

В 2021 г. Тимирязевская академия стала участником программы «Приоритет-2030». Для сельскохозяйственного вуза это новые лаборатории и возможность поддерживать молодых специалистов. 11 октября этого года В.И. Трухачев участвовал в совещании с президентом России В.В. Путиным о научно-техническом обеспечении развития агропромышленного комплекса. По итогам совещания Федеральную научно-техническую программу развития сельского хозяйства продлили до 2030 г.

**— Владимир Иванович, какие выводы можно сделать по итогам недавно прошедшего совещания с президентом России о развитии агропромышленного комплекса?**

— Президент отметил, что высокие показатели АПК — это результат системных изменений. Агропромышленный комплекс стал по-настоящему современным, насыщенным передовыми технологиями и новациями. Принято решение продлить сроки действия научно-технической программы до 2030 г. и обеспечить бесперебойное выделение средств на разработку новых технологий, которые должны незамедлительно находить применение в аграрном секторе.

Глобальные вызовы, такие как проблема продовольственной безопасности, загрязнение окружающей среды и снижение

биоразнообразия, изменение климата и истощение природных ресурсов, ставят научное сообщество перед непростой задачей: вооружить аграрную отрасль не только прорывными идеями и технологиями, новыми сортами, гибридами, породами и линиями, но и инструментами рационального управления, обеспечивающими высокую эффективность и приумножение природного капитала планеты.

Российское растениеводство, фермерские хозяйства, агрохолдинги находятся в зависимости от импорта семян по ряду социально и экономически значимых культур. «Тимирязевка» уже сегодня успешно создает современные высокопродуктивные устойчивые к болезням и вредителям F1-гибриды овощных растений и внедряет их в производство.

— **Задачи, которые стоят перед сельским хозяйством, будут решать сегодняшние студенты. Как обстоят дела с абитуриентами в Тимирязевской академии?**

— Для решения актуальных задач нужны высококлассные специалисты, и это следующая задача: выстроить всю цепочку по подготовке кадров нового поколения — от довузовской подготовки до постдоков.

Мы предлагаем развить идею агроклассов с разработкой «пакетных решений» для сельских школ, включая программы дополнительного профессионального образования для сельских учителей, которые можно будет реализовать в любом регионе, в том числе с использованием дистанционных форм и онлайн-курсов.

Мы планируем сделать «Тимирязевку» университетом магистерско-аспирантского типа, то есть сместить акцент с массового выпуска кадров для производителей сельхозтоваров на подготовку уникальных специалистов научно-исследовательского профиля, а также освоение редких профессий нового технологического уклада в магистратуре и аспирантуре. Мы ставим для себя задачу подготовить кадры для региональных вузов по прорывным направлениям аграрной науки.

Тимирязевская академия переживала разные времена. Сегодня я благодарен коллективу за то, что за последние два года нам удалось стабилизировать приемную кампанию. Мы можем дать студентам хорошее образование, подготовить качественных специалистов, но надо помнить, что учеба — это четыре года бакалавриата и максимум два года магистратуры. А затем начинается долгая трудовая жизнь. И нам бы хотелось, чтобы выпускники оставались комфортно работать на сельскохозяйственных предприятиях, куда устроятся после учебы. Я говорил о кадрах с руководителями компаний «Фосагро», «Акрон», «Продимекс», «Русагро», «Уралкалий» и «Уралхим».

За последний год мы на треть снизили количество экзаменов в Тимирязевской академии. Студенты — умные, продвинутые и мотивированные люди, которых надо увлечь. Поэтому мы занимаем их практикой: отправляем на сельскохозяйственные предприятия, о которых я говорил, в сопровождении преподавателей и мастеров.

— **Технологии обработки информации сегодня активно используют во всех сферах науки и производства. Как эти**

**технологии участвуют в агропромышленном комплексе и какие разработки создают в Тимирязевской академии?**

— В Тимирязевской академии под руководством лауреата Нобелевской премии Риккардо Валентини, лучшего эколога Европы 2015 г., разработаны самые продвинутые в мире прототипы датчиков *CropTalker*, реализуемых в соответствии с концепцией интернета вещей (*IoT*). Их последовательные диверсификация и масштабирование в АПК России позволят снизить высокую неопределенность локальных прогнозов управляемой урожайности в каждом хозяйстве: сначала до принятых в Европе 10%, а затем и до 6%.

Первый опыт апробации *CropTalkers* на экспериментальных посевах твердой пшеницы в четырех засушливых регионах России (от Саратова до Омска) с участием трех региональных институтов РАН, а также компаний *Varilla* и «Акрон» подтвердил хорошие перспективы их дальнейшего развития и внедрения в создаваемую систему поддержки принятия решений.

Одним из основных критериев наилучших доступных агротехнологий становится минимально возможный углеродный след получаемой продукции.

Разрабатываемый в Тимирязевской академии уникальный и пока единственный в России инструментально-информационный комплекс прецизионного анализа производственных процессов и потоков парниковых газов на уровне агро- и урбоэкосистем (с частотой измерений 10 Гц) послужит основой для создания на базе нашего



Собранный урожай в учебно-научном производственном центре садоводства и овощеводства

университета федерального центра признаваемой в мире сертификации наилучших доступных низкоуглеродных агро- и биотехнологий, в которых так заинтересованы отечественные производители и экспортеры минеральных удобрений, металлов и углеводов.

**— Сельское хозяйство называют одной из отраслей, которая формирует наибольшее количество парниковых газов. В то же время популярна тема органического земледелия — экологичного сельского хозяйства. Какие проекты сейчас работают в этом направлении?**

— «Тимирязевка» была одним из первых аграрных университетов, включившихся в разработку агротехнологий для органического сельского хозяйства. Дополнительный импульс для развития этого направления

придал Федеральный закон о производстве органической продукции, который вступил в силу в январе 2020 г.

В этом году РГАУ-МСХА первым среди вузов страны провел набор группы из 28 студентов на первый курс Института агробиотехнологии по профилю «Органическое сельское хозяйство». На нашей полевой станции в 2021 г. мы выделили около 1 га земли и заложили опыт по органическому земледелию, собрали первый урожай; качество полученной продукции проанализируем в ближайшее время.

За последние четыре года учеными университета для органического земледелия проведены исследования и разработаны четыре органо-минеральных удобрения, два защитно-стимулирующих комплекса, два биоприлипателя для предпосевной обработки семян, биопестициды. Все препараты запатентованы. Биоприлипатель в марте этого года был отмечен серебряной медалью на Московском международном Салоне изобретений и инновационных технологий «Архимед», а защитно-стимулирующие комплексы на 30-й Международной агропромышленной выставке-ярмарке «Агрорусь» в Санкт-Петербурге получили золотую медаль. Так что университет внёс достойный вклад в развитие новых агротехнологий для органического сельского хозяйства. И мы будем все активнее продолжать такие исследования.

**— Последнее время часто всплывает термин «борщевой набор» — перечень определенных овощей, которые постепенно растут в цене. Какие исследования Тимирязевской академии в области растениеводства направлены на импортозамещение и показывают лучшие результаты?**

— У нас очень неплохо поставлена работа по выращиванию F1-гибридов капусты. Важно, чтобы кочан капусты дольше сохранялся при естественных температурных условиях: сегодня наша капуста доходит до покупателя свежей и через полгода, будто вчера сняли с грядки. Это гордость Тимирязевской академии. Аналогичная ситуация с луком: мы определили заболевания, которым он подвержен. Есть результаты по картофелю. Испытания проходят на опытных делянках.

Аграрии должны отвечать перед государством за повышение цен на продукты «борщевого набора» и принимать активное участие в этой работе. Наша задача — получить качественные продукты с длительным



1. Руководитель учебно-научного производственного центра садоводства и овощеводства Ю.В. Воскобойников в тепличном комплексе.

2. Заведующая кафедрой биотехнологии, генетики и разведения сельскохозяйственных животных профессор РАН М.И. Селионова в лаборатории.



*Урожай в учебно-научном производственном центре садоводства и овощеводства*

сроком хранения. Это должны быть наши семена, чтобы не зависеть от зарубежных поставщиков, которые могут поднять цены.

Я считаю, что у нас хорошие результаты. Тимирязевская академия сделала себе имя в этом направлении. Нашими гибридами засеивается 20% площади России, это немало. И мы совершенствуем сорта. Министерство науки и высшего образования увидело, чего стоят тимирязевские овощеводы, и поддержало нас на последнем конкурсе: мы стали центром мирового уровня по овощным культурам.

**— Какие исследования Тимирязевская академия проводит в области племенного животноводства?**

— Мы любим, ценим и понимаем животноводство, хотя работать в нем очень тяжело, особенно в производственной части.

С одной стороны, последние достижения в области молекулярной генетики, разработка не имеющих аналогов технических инструментов (высокопроизводительное секвенирование), с другой — возможность использования суперкомпьютеров для анализа не просто больших, а супербольших данных о генетической информации открыли совершенно новые перспективы управления наследственностью

и получения животных с заданными параметрами продуктивности и устойчивости к заболеваниям.

У нас уже реализуются проекты Российского научного фонда (РНФ) в областях поиска локусов генома, ассоциированных с признаками продуктивности мелкого рогатого скота, а также метагеномных исследований.

Уникальными лабораториями располагают компании «Мираторг» и «Черкизово». Таких приборов на текущий момент нет ни у нас в вузе, ни в одном научно-исследовательском институте. Поэтому они нас приглашают и мы работаем вместе: наш ум и их техника в сочетании дают очень хороший результат.

Конечно, можно работать и так, но у науки должно быть свое оборудование. Я благодарен президенту, Министерству науки и высшего образования и Министерству сельского хозяйства за то, что мы выиграли два крупных конкурса.

Во-первых, это создание научного центра мирового уровня «Агротехнологии будущего», который позволит нам приобретать оборудование высшего уровня для проведения фундаментальных исследований. Во-вторых, Тимирязевская академия

получила специальную часть гранта «Приоритет-2030» в области «Исследовательское лидерство». Этому гранта удостоены только 18 вузов в стране, из них единственный сельскохозяйственный — «Тимирязевка».

Теперь есть средства и надо организовывать новые лаборатории. Ребятам, которые будут в них работать, мы уже готовим: только за последние полтора года мы пригласили 187 человек в качестве преподавателей. Это ассистенты и аспиранты, которые пишут кандидатские и докторские диссертации и уже работают на оборудовании,

приобретаемом нами в рамках центра мирового уровня «Агротехнологии будущего», и программы «Приоритет-2030».

**— Какие задачи будет решать Тимирязевская академия, получив средства на развитие?**

— Мы представляем две ключевые стратегические инициативы. В их реализации будут принимать участие наши партнеры, их в программе более 50.

У нас есть выпадающие компетенции, мы понимаем, что невозможно осилить решение фундаментальных задач в одиночку, поэтому мы пойдем по пути европейских вузов, которые вступают в коллаборацию с исследовательскими организациями и вузами, успешными предприятиями реального сектора экономики, отраслевыми ассоциациями и кооперативами. И здесь наша амбиция — стать для них ключевым партнером.

Проект «Агробиотех» включает две большие области — генетику и селекцию: без этого невозможен дальнейший рост АПК. Они определяют около 60% продуктивности, и в дальнейшем их роль будет только расти.

Мы будем работать в следующих направлениях. На примере овощей, используя пребридинг и методы предиктивной



1



2

1. *Ландшафтные композиции для обучения студентов на территории Тимирязевской академии.*
2. *Вид на Останкинскую башню из Мичуринского сада.*

селекций, мы планируем получить не менее десяти уникальных признаков, кардинально меняющих стратегию селекции конкурентоспособных сортов. Со стратегическими партнерами — группой компаний «Агропромкомплектация», холдингом «Мираторг» — будут проведены работы по выявлению и использованию метагеномных и метаболомных маркеров: это новый уровень селекционно-генетической работы в животноводстве.

Выполнять селекционно-генетические работы могут только кадры с особыми компетенциями в новой магистратуре-аспирантуре, которая будет создана в РГАУ-МСХА. Для их подготовки будут разработаны новые образовательные программы и курсы дисциплин по геномике растений, геномному редактированию, управлению продуктивностью и здоровьем сельскохозяйственных животных.

Принципиально новыми будут прикладные работы по биофортификации (созданию сортов с повышенной питательной ценностью, несвойственной природным аналогам: например, пшеница, ячмень, обогащенные селеном и кремнием), по получению растений-биореакторов (фактически перемещение в растение целого биотехнологического завода: например, томаты как биореактор синтеза известного антиоксиданта ликопина).

Наши приоритеты в новых агротехнологиях — платформенные технологии, обеспечивающие оптимальную реализацию генетического потенциала: например, технологии «умных» удобрений контролируемого и пролонгированного действия, сбалансированных по химическому составу, с периодом действия от нескольких дней до трех месяцев. Здесь наш партнер — «Фосагро».

Ведутся работы по агротехнологиям: биологизированной защите растений, созданию вертикальных ферм, валоризации сельскохозяйственных отходов, управлению водными ресурсами и др.

Мы критически смотрим на все, что нас окружает, с точки зрения эффективности каждого квадратного метра, будь то теплицы или Мичуринский сад в 20 га. Нам надо возродить традиции, которые существовали 50–60 лет назад, и вернуть доброе имя академии. Для этого у нас есть абсолютно все: мощный коллектив, материальная база, четкая позиция государства относительно нашего вуза. Тимирязевская академия — флагман аграрного образования и должна подтверждать это научными



1. Руководитель лаборатории генетики, селекции и биотехнологий Тимирязевской академии доктор биологических наук С.Г. Монахов.
2. Заведующий отделом плодовых культур Тимирязевской академии В.М. Индолов в Мичуринском саду.

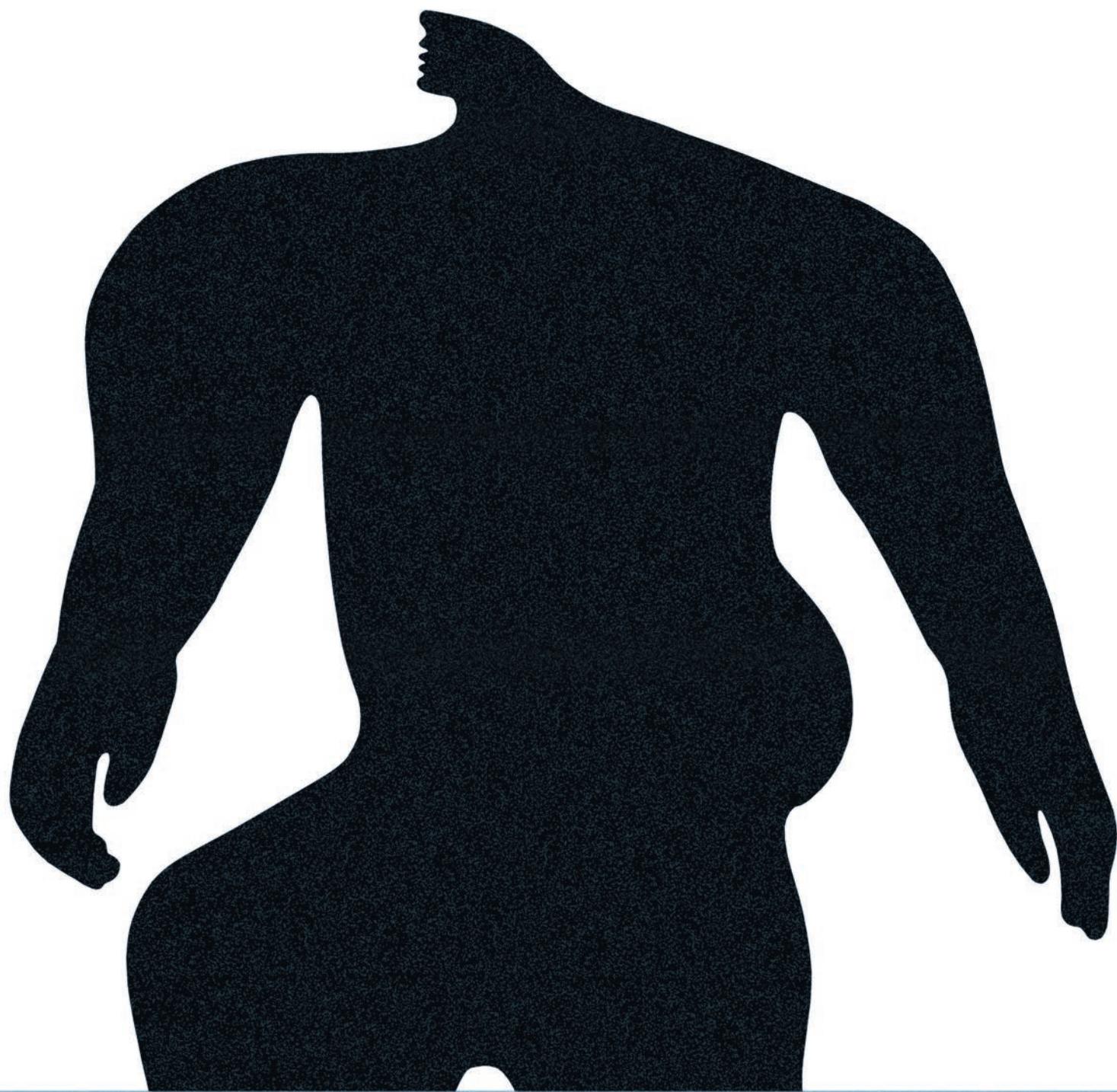
изысканиями, уровнем образования, просветительской и культурной работой.

Вектор развития направлен на молодежь, но мы не забываем и ветеранов. Без них нельзя. В ветеранской организации у нас 900 человек, которые понимают, что нужно подготовить много молодых исследователей.

**— В первой половине XIX в. британский аристократ Уильям Амхерст произнес фразу, которую сегодня часто цитируют: «Есть три способа разориться. Самый быстрый — скачки, самый приятный — женщины, самый надежный — сельское хозяйство». Как вы можете ее прокомментировать в современных реалиях?**

— Я окончил ветеринарный факультет в 1977 г., связал жизнь с сельским хозяйством и ни разу об этом не пожалел. ■

**Беседовал Александр Бурмистров**



## СОДЕРЖАНИЕ

Тело против самого себя	48
Предательство изнутри	50
Аутоиммунные заболевания в числах	54
Как запускаются аутоиммунные заболевания	58
Женщины в группе риска	66
Контроль повреждений	73

СПЕЦИАЛЬНЫЙ РЕПОРТАЖ

Миллионы людей страдают от атак иммунной системы, которая должна их защищать. Сейчас появились новые версии того, что при этом происходит и как это остановить

# ПРОТИВ САМОГО СЕБЯ



**Энни, младшая сестра** моего друга Джона, заболела, когда ей было 11 лет. Я был не намного старше и не понял, насколько все серьезно, когда Джон сказал, что эта болезнь называется волчанка. Я не знал, что на ее организм нападают его собственные клетки, иногда атакуя почки, иногда легкие. Временами Энни пропускала много занятий в школе. Временами ей было очень плохо. Когда она выросла, то играла в детском театре, который обожала, и занималась местной политикой. Однако волчанка у нее так и не прошла. Энни умерла в 49 лет.

Так заканчиваются большинство подобных историй. Волчанка — аутоиммунное заболевание, при котором иммунная система предает нас и пытается уничтожить органы, которые должна защищать. Сейчас известно около 80 таких заболеваний, а по некоторым оценкам — и больше. В США, по данным Национальных институтов здоровья, от них страдают 25 млн человек. Среди заболеваний есть как хорошо знакомые, такие как диабет I типа или волчанка, так и малоизвестные, например артериит Такаюсу, при котором опасно воспаляются крупные кровеносные сосуды.

В нашем специальном выпуске освещаются новые открытия, касающиеся этих часто недооцененных болезней, имеющих ужасные последствия. Сейчас появляются новые идеи, и они вступают в противоречие со столетними медицинскими убеждениями. На данный момент у исследователей есть теории, объясняющие ужасный гендерный дисбаланс среди жертв аутоиммунных заболеваний: примерно 80% — женщины. Благодаря этим открытиям разрабатываются улучшенные методы лечения, основанные на более точном понимании принципов работы нашей иммунной системы. Прогресс идет небыстро, но происходящие изменения позволяют надеяться, что прошлое с его неэффективными методами лечения и препаратами, которые могут быть опаснее самих болезней, останется позади.

*Джош Фишман*

# ПРЕДА- ТЕЛЬСТВО ИЗНУТРИ

Мир человека с аутоиммунным заболеванием: симптомы, приводящие к потере дееспособности, анализы без понятного результата, неэффективное лечение, невнимательные врачи

*Мария Конникова*

Утро того дня, который я про себя называю «день, когда небо рухнуло на землю», я помню до мельчайших деталей. Я собиралась в спортивный зал. Обычно это вызывает у меня ужас, но в тот день была отличная возможность надеть только что доставленные почтой новые шорты. Нет ничего лучше сияющей новизной спортивной формы, чтобы выйти в свет. Я надела шорты и намеревалась двинуться в сторону двери, когда ощутила сильное жжение на бедрах. За считанные секунды бедра покрылись крупными болезненными волдырями. Сняв свою новую одежду (очевидно, на нее что-то попало!), я побежала в душ. Вскоре раздражение унялось. Я предположила, что это была аллергическая реакция, и поспешно вернула шорты в магазин. Казалось, что на этом все закончилось.

Однако выяснилось, что мой организм считал иначе. На следующее утро волдыри появились опять. Только на этот раз они не исчезли, а расползлись. Через несколько дней мое тело реагировало на любое прикосновение с возрастающей злостью. Как будто запустилась какая-то ужасная внутренняя цепная реакция и теперь ничто не могло повернуть историю вспять.

Для меня это было не первым столкновением с безумными кожными реакциями. В 22 года мне диагностировали мастоцитоз (при этом заболевании организм



Photograph by Devin Yarkin

**Жизнь Мари Конниковой** перевернулась с ног на голову после появления волдырей, покрывших ее тело вследствие аутоиммунного заболевания

## ОБ АВТОРЕ

**Мария Конникова** (Maria Konnikova) — научный журналист и профессиональный игрок в покер. Автор таких бестселлеров, как «Самый большой блеф» (*The Biggest Bluff*, 2020), «Психология недоверия» (*The Confidence Game*, 2016) и «Супермозг: думай как Шерлок Холмс» (*Mastermind: How to Think Like Sherlock Holmes*, 2013).



образует слишком много тучных клеток — компонентов иммунной системы, вызывающих воспаление). Тогда у меня неожиданно развилась необычайно болезненная мокнущая сыпь в форме буквы J вокруг левой груди. Мой дерматолог, как ни странно, был чрезвычайно рад. Судя по всему, это редкий случай, когда данная болезнь проявилась у взрослого человека. Во взрослом возрасте мастоцитоз дебютирует реже, обычно кожные сыпи появляются с детского возраста. Подтвердив диагноз с помощью болезненной биопсии, врач спросил разрешения сделать фотографии для статьи в журнал. Я согласилась: было слишком больно, чтобы раздумывать, а он выглядел таким довольным.

Болезнь никогда не уходила надолго. Если я напряжена, устала или мне просто жарко, появляются болезненные волдыри. Иногда они прорываются и сохраняются неделями. А затем сами собой исчезают на год, два или три. Это заболевание само по себе не аутоиммунное, но его наличие обозначает, что мое тело систематически производит избыточное количество тучных клеток. Могла ли их бесконтрольная активность вызвать теперь сыпь по всему телу?

На экстренном приеме мой доктор заявил, что это не мастоцитоз. Уровень триптазы, фермента, высвобождаемого тучными клетками, был в норме. Однако моя щитовидная железа оказалась не в порядке. Была ли у меня базедова болезнь — аутоиммунное заболевание, при котором иммунная система атакует щитовидную железу и в итоге вырабатывается слишком много гормонов? Или, возможно, болезнь Хашимото, когда происходит в сущности то же самое, но с противоположным результатом: гормонов образуется слишком мало? И в таком случае откуда взялась сыпь? У большинства пациентов аномалии гормонов щитовидной железы с ней не связаны.

Мир аутоиммунных заболеваний покрыт мраком, зачастую наполнен туманными догадками. В совокупности они встречаются нередко, но многие конкретные болезни редки и труднодиагностируемы. Зачастую они проявляются совершенно непонятными способами. Например, вялость конечностей может возникнуть в результате рассеянного склероза или волчанки, разрушительных, но разных заболеваний, сопровождающихся пожизненной выматывающей болью.

После срочного посещения врача последовало множество анализов. Они показали, что проблема была не в щитовидной железе. Но и ничего другого не обнаружили. Терапевты, дерматологи, аллергологи и иммунологи отфутболивали меня друг к другу. Моя сестра, сама врач, показала меня одному из лучших специалистов по аллергиям в системе Гарвардской медицинской школы. Результатом было множество непонятных сокращений, каждое из которых исключало какие-либо варианты. Среди них был индекс хронической крапивницы, показавший, что у меня «реактивность базофилов в сыворотке <...>, что свидетельствует об аутоиммунной природе заболевания».

Ответов все не было, а сыпь продолжала расползаться по телу. Шея. Лицо. Глаза, закрытые из-за отека. Дозу пероральных стероидов все увеличивали, а множество антигистаминных препаратов настолько вырубали меня, что с трудом удавалось бодрствовать. Мази со стероидами для наружного применения становились все сильнее. На упаковках были написаны внушительные предупреждения, призывающие не употреблять их слишком интенсивно или слишком долго, чтобы иммунная система не развалилась окончательно. Я набрала вес. Я или спала слишком много, или совсем не спала. Я вообще не могла нормально соображать. Моя иммунная

система была невообразимо подавлена. И все же причина сыпи оставалась загадкой. (Шорты были просто совпадением, убеждали меня все специалисты, несмотря на мою горячую веру в наличие причинно-следственной связи.) В окончательном диагнозе написано: «идиопатическая сыпь», то есть ее происхождение неизвестно.

В итоге сыпь отступила. Не из-за нового лекарства или диагноза, а просто со временем. Волдыри стали более редкими, оставшись в один прекрасный день лишь воспоминанием. Но воспоминанием без известной причины и без лечения, которое может вернуться в любой момент по поводу или без него.

Словарь *Merriam — Webster* объясняет понятие «аутоиммунный» через определенные элементы иммунной системы: «вызванный антителами или Т-клетками, атакующими молекулы, клетки или ткани собственного организма, или связанный с их деятельностью». Говоря простым языком: аутоиммунный — это атакованный собственным телом. Вместо того чтобы объединяться против внешнего захватчика, ваши клетки сражаются друг с другом. Чаще всего мы не понимаем, чем это вызвано. Мы не знаем, как это лечить. Когда речь идет об аутоиммунных заболеваниях, неизвестного значительно больше, чем известного.

Вот что мы знаем. Существует около 80 видов аутоиммунных заболеваний. Из каждых пяти пострадавших около четырех — женщины. Почему? До конца не ясно. Исследования аутоиммунных процессов финансируются недостаточно. Возможно, потому, что среди заболевших больше женщин и так сложилось исторически, что женский пол часто игнорировали в медицинских исследованиях. Возможно, потому, что многие из этих болезней очень редки. Или потому, что, когда причина неизвестна, болезнь часто списывают на психосоматику. Вы сами делаете себя больными. Вы слишком себя переутомляете. Вы уверены, что не выдумываете это?

Так обвиняли мою сестру. Когда она училась на последнем курсе ординатуры, у нее появилось странное покалывание и онемение в кончиках пальцев. Месяцами она его игнорировала. Но покалывание стало выраженнее и онемение усилилось. Она пошла к неврологу, потому что это могли быть симптомы рассеянного склероза. Однако когда МРТ не показало никаких аномалий в нервной системе, врач сказал, что ее онемение и боль были ненастоящими. Это

все было лишь в ее голове. К тому моменту нервно-мышечная боль стала очень сильной. Но когда сестра попросила обезболивающее, ее выгнали.

Напомню, моя сестра — врач и владеет профессиональным словарем, чтобы в точности описать то, что другим было бы трудно сформулировать. Тем не менее она столкнулась с недоверием. Такая реакция медиков знакома многим пациентам с аутоиммунными заболеваниями. Она проявила настойчивость, и в конце концов ей выполнили исследование проводимости нервов. Результаты показали сильную патологию. Она не лгала и не притворялась. У нее была хроническая воспалительная демиелинизирующая полинейропатия (ХВДП), редкое неврологическое заболевание с аутоиммунными причинами. Оно вызывает боль, утомляемость и — у таких пациентов, как моя сестра, — необратимое поражение нервов. Я могу представить себе, что было бы с кем-то, не обладающим ее медицинскими знаниями и возможностями.

Мир аутоиммунных заболеваний сложен. Дело не только в недоверии. Даже с поставленным диагнозом бывает трудно добиться облегчения. Название диагноза не гарантирует излечения. Для ХВДП специфичного лечения нет. Больше десяти лет спустя мою сестру все еще лечат препаратами, разработанными для рассеянного склероза. Ее заболевание остается недоизученным и недофинансированным.

Однако у нее есть хотя бы диагноз. А у меня его никогда не было. Но вот что я знаю: неважно, насколько видима или невидима та или иная патология, — аутоиммунное заболевание необычайно реально, болезненно и недооценено теми, у кого его нет. Миллионы людей становятся жертвами такой недостаточной осведомленности.

Я хочу, чтобы однажды кто-нибудь где-нибудь открыл, почему мне бывает так плохо, чтобы мне больше не нужно было беспокоиться, не выведет ли новый предмет одежды меня из строя на ближайший год. Желаю, чтобы однажды мою сестру вылечили. Чтобы когда-нибудь все бесчисленные страдальцы, которым говорили, что они выдумывают свои симптомы, были выслушаны и, чтобы, когда это произойдет, были бы способы им помочь. Наши тела атакуют сами себя. Давайте наконец прислушаемся! Давайте поддержим исследования, необходимые для того, чтобы дать отпор болезни. ■

# АУТОИММУННЫЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ В ЧИСЛАХ

К аутоиммунным заболеваниям уже относят около 80 болезней, и этот список продолжает пополняться

*Мадди Бендер*



## ОБ АВТОРЕ

**Мадди Бендер** (Maddie Bender) — ведущая подкастов и популяризатор науки из Нью-Йорка.

Мысль, что иммунная система, возникшая для защиты от болезней, пришедших из внешнего мира, может нападать на собственный организм, казалась иммунологу Полю Эрлиху бессмысленной. В 1901 г. будущий нобелевский лауреат отверг предположение об «ужасе самоотравления», посчитав его неправдоподобным. Сегодня пациенты и врачи знают, что аутоиммунные заболевания более чем реальны. Сейчас известно примерно 80 таких болезней, поражающих миллионы людей по всему миру. Их разнообразие, приведенное на схеме на следующем развороте, ужасает.

Аутоиммунитет связан с деятельностью аутоантител — белков иммунной системы, которые помечают клетки наших тканей как подлежащие уничтожению, а также *T*- и *B*-лимфоцитов, непосредственно это уничтожение осуществляющих. Современные молекулярно-биологические технологии позволяют ученым проследить за указанными группами клеток и белков, что позволяет лучше понять суть заболеваний.

Несмотря на то что в целом представления о аутоиммунитете сейчас точнее, чем во времена Эрлиха, отдельные аспекты разных заболеваний все еще обсуждаются. Руководитель Центра персонализированной иммунологии при Школе медицинских исследований Джона Кертина в Австралии Мэттью Кук (Matthew Cook) говорит, что даже если при заболевании исследователи не всегда обнаруживают соответствующие аутоантитела, тем не менее можно успешно использовать препараты, регулирующие активность *T*-лимфоцитов. Среди таких примеров — заболевание кожи псориаз, которое часто относят именно к аутоиммунным болезням.

В нашем списке присутствуют большинство известных заболеваний, относящихся к этой области, где научные представления все еще не устоялись. Приведены данные о распространенности заболеваний, возрасте, когда они обычно проявляются, и о том, кого они поражают чаще, мужчин или женщин (почти всегда женщин). ■



ИНТЕРНЕТ-ПОРТАЛ

# Научная Россия



Взгляд на науку  
с пристрастием

**Актуальная информация** о науке и технике в России и в мире  
**Открытия** в разных областях фундаментальной и прикладной науки  
**Новости** из научных центров и вузов страны и мира

[scientificrussia.ru](http://scientificrussia.ru)

# Мир аутоиммунитета

Существуют множество аутоиммунных заболеваний, в совокупности ими поражены до 4,5% всего населения земного шара. Список из 76 болезней составлен на основе подробного анализа 2012 г., выполненного иммунологом Ми Скоттом Хайтером (Scott Nauter) и Мэттью Куном, которые тогда работали в Австралийском национальном университете. Наш журнал дополнил его информацией, полученной от Американской ассоциации аутоиммунных заболеваний (AARDA). Эти болезни поражают различные части тела и часто затрагивают работу нескольких органов. Женщины болеют чаще, хотя точное соотношение полов варьирует для разных заболеваний. Средний возраст начала болезни и ее распространенность также сильно различаются.

Иммунологи и ревматологи признают, что аутоиммунитет еще плохо изучен и будут еще открыты новые характеристики, определяющие какое это заболевание — аутоиммунное или нет. В целом представленные здесь болезни делятся на три группы на основании базедовой болезни, в развитии патологии определено принимают участие аутоантитела, провоцирующие атаку иммунной системы, воспаление и тяжелые симптомы. При многих других заболеваниях, таких как синдром Гийена — Барре, аутоантитела обычно присутствуют, но ученые не могут однозначно связать их с развитием патологии. И, наконец, для некоторых заболеваний аутоантитела не всегда выявляются, однако болезнь поддается лечению препаратами, влияющими на иммунную систему. Такой эффект свидетельствует, что в заболевании есть аутоиммунный компонент. В качестве примеров здесь можно привести язвенный колит и псориаз.

В этом списке отсутствуют некоторые заболевания, при которых есть аутоантитела и которые, по-видимому, связаны с аутоиммунитетом. Так получилось потому, что они не входили в анализ Кука и Хайтера, или не были включены в справочник AARDA, или для них характерны биологические признаки, ставящие под вопрос их отношение к данной группе. К ним относятся миокардит, оптический неврит, первичная мембранозная нефропатия и тромбоцитопенический акроангиотромбоз.

## ОСНОВНЫЕ ПОРАЖЕННЫЕ ОРГАНЫ

Нервы и мозг

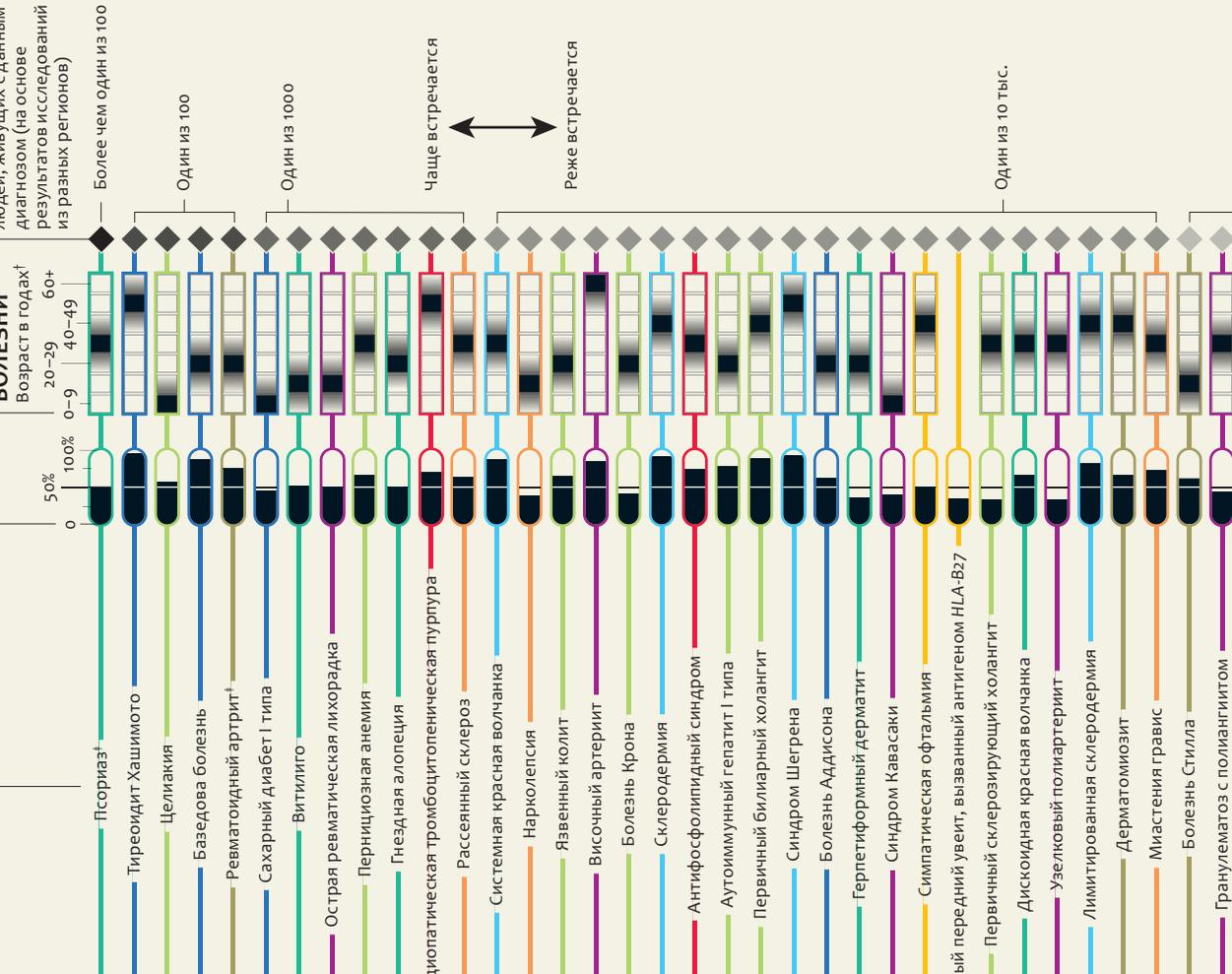
Эндокринная система

## ЗАБОЛЕВАНИЕ

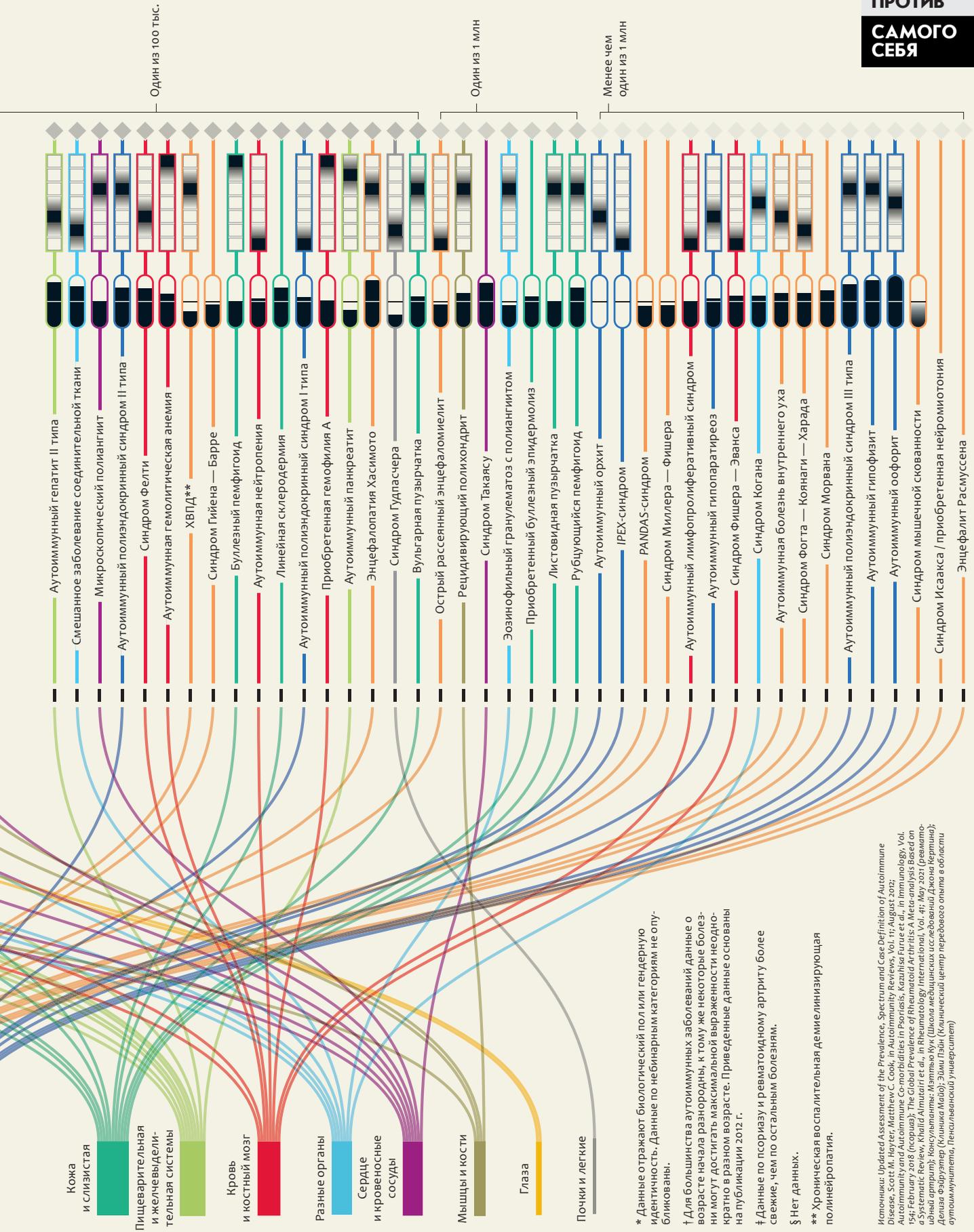
ПОЛ ПАЦИЕНТА  
Доля женщин (%)\*

СРЕДНИЙ ВОЗРАСТ НАЧАЛА БОЛЕЗНИ  
Возраст в годах†

ВСТРЕЧАЕМОСТЬ СРЕДИ НАСЕЛЕНИЯ  
Приблизительная доля людей, живущих с данным диагнозом (на основе результатов исследований из разных регионов)



Один из 10 тыс.



\* Данные отражают биологический полили гендерную идентичность. Данные по небинарным категориям не опубликованы.

† Для большинства аутоиммунных заболеваний данные о возрасте начала разнородны, к тому же некоторые болезни могут достигать максимальной выраженности неоднократно в разном возрасте. Приведенные данные основаны на публикации 2012 г.

‡ Данные по псориазу и ревматоидному артриту более свежие, чем по остальным болезням.

§ Нет данных.

\*\* Хроническая воспалительная демиелинизирующая полинейропатия.

Источники: Updated Assessment of the Prevalence, Spectrum and Case Definition of Autoimmune Disease, Scott M. Hayer, Matthew C. Cook, in Autoimmunity Reviews, Vol. 11, August 2021; Autoimmunity and Autoimmune Co-morbidities in Psoriasis, Kazuhisa Furue et al., in Immunology, Vol. 154, February 2018 (использовано); The Global Prevalence of Rheumatoid Arthritis: A Meta-analysis Based on a Systematic Review, Khalid Almatraji et al., in Rheumatology International, Vol. 41, May 2021 (рецензированный артрит); Носология: Мэтью Юк (Школа медицинских исследований Джона Хертца); Делая Фэрзулер (Клиника Майо); Эли Габин (Клинический центр передового опыта в области аутоиммунитета, Пенсильванский университет)

# КАК СТАРТУЮТ АУТОИММУННЫЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ

В недавних исследованиях показано, что если орган испытывает стресс, это может спровоцировать атаку иммунной системы

*Стефани Сазерленд*

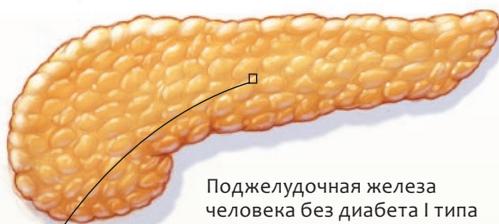
**В** 1980-х гг., когда эндокринолог Децио Эйзирик (Decio Eizirik) начал лечить пациентов с диабетом I типа, он был вполне уверен в том, что причина заболевания — неполадки в иммунной системе. Людям с этой болезнью не хватало важнейшего гормона, инсулина, из-за того, что иммунная система атаковала и разрушала бета-клетки поджелудочной железы, в которых он вырабатывался. «В то время казалось, что если удастся проконтролировать иммунную систему, то, возможно, это позволит предотвратить развитие диабета», — рассказывает Эйзирик, который сейчас не принимает пациентов, а занимается наукой в Индианском институте биологических исследований и Брюссельском свободном университете.



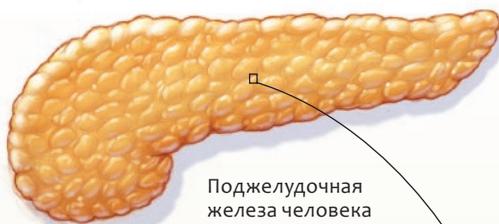
## Мишени при диабете

Изнурительное заболевание диабет I типа развивается, когда организм не может вырабатывать достаточное количество жизненно важного гормона инсулина. Дефицит гормона возникает из-за того, что гибнут вырабатывающие его бета-клетки поджелудочной железы. Они погибают вследствие атаки клеток Т-киллеров собственной иммунной системы организма. На протяжении многих лет ученые считали, что Т-клетки

у людей с диабетом имеют нарушения, из-за которых и начинают охотиться на бета-клетки. Но в крови у людей без диабета присутствует тот же тип Т-клеток (показаны розовым) в таком же количестве, однако они не трогают бета-клетки. Поэтому исследователи предположили, что бета-клетки могут сами привлекать к себе внимание Т-клеток, вырабатывая молекулярные приманки.



Поджелудочная железа человека без диабета I типа



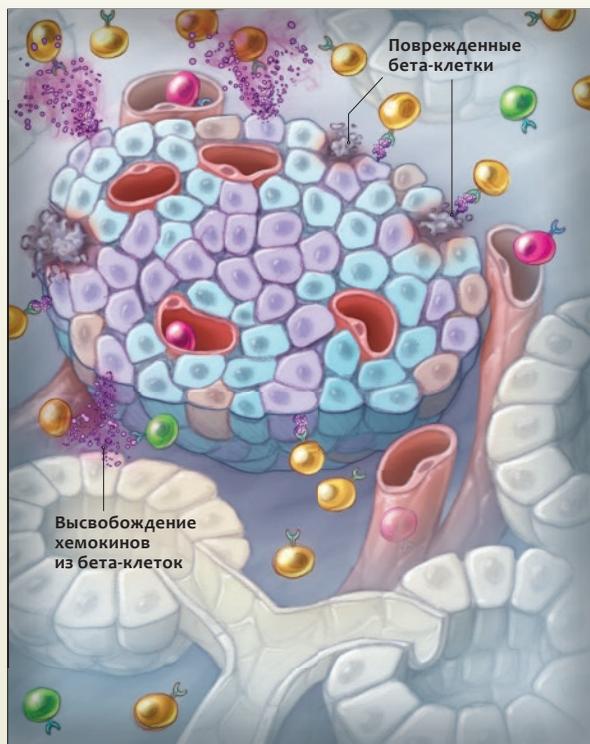
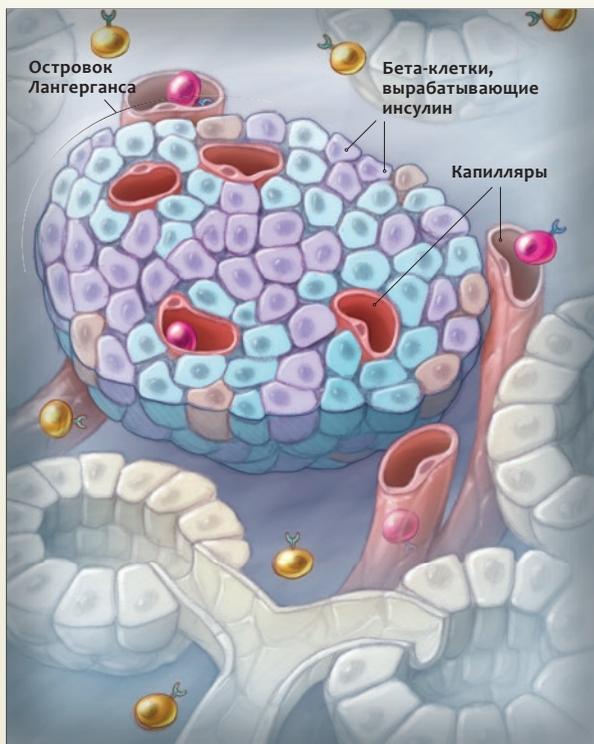
Поджелудочная железа человека с диабетом I типа

### Здоровое равновесие

Бета-клетки расположены в поджелудочной железе в островках Лангерганса. У людей без диабета в крови присутствуют клетки Т-киллеры (CD8<sup>+</sup> Т-клетки), которые способны повреждать бета-клетки. Встречаются они и в поджелудочной железе. Но они не атакуют бета-клетки, позволяя им продолжать выработку инсулина.

### Диабет I типа

При этом заболевании Т-киллеры скапливаются в поджелудочной железе, а затем атакуют. Некоторые данные указывают на то, что бета-клетки у людей с диабетом производят повышенное количество молекул, которые Т-клетки считают мишенями. Среди таких молекул — предшественник инсулина проинсулин (PPI) и белок MHC-1. А при стрессе бета-клетки выделяют хемокины, которые могут привлекать к ним внимание иммунной системы.



**ОБ АВТОРЕ**

Стефани Сазерленд (Stephani Sutherland) — нейробиолог и научный журналист из Южной Калифорнии.

Клетки, которые должны защищать, нападают на своих же — так выглядит классическая схема аутоиммунного заболевания. Вводя инсулин извне, можно сохранить жертвам диабета жизнь. Однако корень проблемы — именно иммунная атака на ни в чем не повинные бета-клетки. «Бета-клетки воспринимались как труп на похоронах, который находится в центре внимания, но сам при этом ничего не делает», — говорит Эйзирик.

Сейчас бета-клетки уже не кажутся такими пассивными, а иммунную систему, похоже, обвиняли несправедливо. За последние несколько десятилетий Эйзирик и ряд других исследователей пришли к выводу, что заболевание могут запускать сами бета-клетки. В конце 1990-х гг. стало выясняться, как происходит процесс. Эйзирик померил уровень химических сигналов от клеток поджелудочной железы. Оказалось, что при определенных обстоятельствах эти клетки выделяют связанные с воспалением вещества, которые действуют как сигнальные ракеты, привлекая внимание и гнев клеток иммунной системы.

Из-за чего именно клетки начинают подавать подобные сигналы, остается неясным, возможно, из-за вирусной инфекции или стресса, вызванного каким-то повреждением. «Все начинается в той ткани, которая потом будет атакована, — говорит Соня Шарма (Sonia Sharma), иммунолог из Института иммунологии в Ла-Хойе, штат Калифорния. — Сейчас мы знаем, что ткань-мишень не играет пассивную роль, а принимает активное участие в разрушительном воспалении».

Диабет I типа — всего лишь одно из многих аутоиммунных заболеваний, но сейчас появляются данные, что и при других болезнях атакуемые клетки могут навлекать собственную гибель. В недавних генетических исследованиях выяснилось, что при ревматоидном артрите и рассеянном склерозе в пораженных клетках чрезмерно активны гены, кодирующие связанные с заболеванием белки. Именно поэтому

иммунная система и атакует эти клетки. Шарма рассказывает, что между исходным событием и итоговой атакой иммунной системы на ткань своего организма может быть порядка десяти шагов. «Мы изучали десятый шаг, тогда как надо было смотреть первый, второй и третий, — говорит она. — Это как начинать делать работу с конца». По ее словам, если исследователям удастся разобраться в ранних этапах, это позволит лучше лечить или даже заниматься профилактикой заболеваний.

**«Теперь мы знаем, что ткань-мишень играет не пассивную роль, она принимает активное участие в процессе».**

*Соня Шарма, Институт иммунологии в Ла-Хойе, Сан-Диего*

Трудно обвинять исследователей в том, что их внимание изначально сосредоточилось на иммунной системе. Аутоиммунные заболевания кажутся проявлением предательства со стороны исключительно сложной защитной системы, которая развивалась не только для того, чтобы защищать нас от проникновения патогенов, но и для отслеживания клеток, которые собираются стать раковыми, и для расчистки остатков клеток после травм. Это стражники нашего организма, которые стоят между нами и хаосом. И очевидно, что важнейшие клетки иммунной системы, В- и Т-лимфоциты, играют ключевую роль в аутоиммунных заболеваниях. По словам Эйзирика, для лечения требуется нанести два удара: по этим клеткам и по их мишеням. «Иммунная система настойчива, и память у нее, как у слона», — говорит он. Т-клеткам достаточно однажды научиться узнавать молекулы на клетках-мишенях, и они будут делать это снова и снова.

### Агенты саморазрушения

В последние 50 лет многие исследования были сосредоточены на классическом признаке аутоиммунных заболеваний — аутоантителах. Антитела — это небольшие белки, вырабатываемые В-клетками иммунной системы, они связываются с антигенами чужеродных агентов, таких как бактерии и вирусы. Прикрепляясь к антигенам, антитела помечают то, что должно быть уничтожено. Однако аутоантитела связываются с собственными антигенами, расположенными на поверхности наших клеток. Они действуют как маячки, привлекая специализированных убийц — цитотоксические клетки Т-киллеры. Эти клетки фактически занимаются разрушением, поэтому при изучении аутоиммунных реакций исследователи ищут их и аутоантитела.

**Многие клетки, оказывающиеся мишенями при аутоиммунных заболеваниях, имеют общие черты, значительно повышающие вероятность атаки на них. У этих клеток есть по крайней мере три свойства, способствующие их уязвимости**

Недавно ученые выяснили, что хотя Т-киллеры и аутоантитела — признаки аутоиммунных проблем, их местоположение важнее, чем сам факт их присутствия. Например, люди могут иметь в крови Т-киллеры, но быть здоровыми. В 2018 г. иммунолог Роберто Маллоне (Roberto Mallone) из Национального института здравоохранения и медицинских исследований во Франции (*INSERM*) опубликовал исследование, в котором сравнил людей, имеющих диабет I типа, с теми, у кого был диабет II типа (не аутоиммунное заболевание, при котором инсулин вырабатывается, но функционирует плохо), и здоровыми людьми. Содержание Т-киллеров в крови у представителей всех трех групп, в том числе у тех, у кого не было диабета, оказалось удивительно схожим. Они есть у всех. Маллоне говорит, что по этому показателю «мы все аутоиммунные».

Однако в поджелудочной железе все было иначе. У людей с диабетом I типа было обнаружено гораздо больше аутореактивных Т-клеток. Маллоне, так же как и Эйзирик ранее, предположил, что они появились там не случайно, а из-за проблемы с бета-клетками.

Еще одна причина, по которой исследователи отводят клеткам-мишеням ведущую роль в развитии аутоиммунного заболевания, связана с генетическими исследованиями, в которых показано, что гены, влияющие на эти болезни, работают не только в иммунных клетках, но и в клетках-мишенях. В начале 2000-х гг. начали делать полное секвенирование генома человека, что позволило выполнить полногеномный поиск ассоциаций и выявить множество генов, мутации в которых были связаны с большим риском развития аутоиммунных заболеваний. По словам Шармы, оказалось, что эти гены работали не только в В- и Т-лимфоцитах, но и в клетках, которые не относились к иммунной системе. Так, в неиммунных клетках могут работать гены, позволяющие клетке выделять цитокины и хемокины — вещества, вызывающие иммунную реакцию. Это очень важно для поддержания здоровья клеток. Например, любые клетки могут превратиться в раковые или оказаться инфицированными. Шарма объясняет, что, когда происходят подобные повреждения, клетки должны сообщить иммунной системе, что у них возникли проблемы. Однако из-за мутаций в этих генах клетки могут посылать явные сигналы и при отсутствии повреждений — а иммунная система реагирует и атакует.

### Признаки уязвимости

В исследовании Эйзирика, опубликованном в январе этого года в журнале *Science Advances*, рассматриваются примеры клеток, ошибочно подвергшихся нападению со стороны иммунной системы, что приводит к разным аутоиммунным заболеваниям. Изучив опубликованное исследование геномных ассоциаций, авторы обнаружили, что при диабете I типа и трех других аутоиммунных заболеваниях: рассеянном склерозе, волчанке и ревматоидном артрите, — более 80% выявленных генетических вариантов работали в атакованных клетках. Оказалось, что в них не просто были активными гены, связанные с заболеваниями, но у больных людей по сравнению со здоровыми с этих генов синтезировалось больше белка. Эйзирик с коллегами

получили генетические базы данных, созданные на основе биопсии людей с аутоиммунными заболеваниями: клеток поджелудочной железы при диабете, тканей сустава при ревматоидном артрите, клеток почки при волчанке и даже полученные при вскрытии ткани мозга человека с рассеянным склерозом.

Проведенный ими анализ показал, что многие гены-кандидаты были чрезвычайно активны в поврежденных тканях, причем многие из них проявляли повышенную активность при нескольких разных заболеваниях, что свидетельствует об общих механизмах этих болезней. В первую очередь, повышенную активность наблюдали у генов, связанных с выделением интерферонов — класса провоспалительных цитокинов, вырабатываемых клетками для торможения иммунной системы при возникновении таких проблем, как, например, вирусная инфекция.

Многие клетки, оказывающиеся мишенями при аутоиммунных заболеваниях, имеют также негенетические особенности, значительно повышающие вероятность быть атакованными. «У этих клеток есть по крайней мере три свойства, неизбежно способствующие их уязвимости», — говорит Маллоне. Во-первых, многие из них находятся в железах, например в щитовидной или поджелудочной, и там «с высокой скоростью вырабатывают гормоны, что создает значительный стресс». Поскольку они уже испытывают сильное напряжение, небольшой дополнительный клеточный стресс может сместить равновесие, вызвав сбой и патологическое поведение, и привлечь внимание иммунной системы. Во-вторых, эти клетки выделяют гормоны и другие пептиды непосредственно в кровоток. Маллоне объясняет, что эти молекулы разносятся по всему организму, а значит, могут привлекать иммунную систему на расстоянии. В-третьих, вокруг клеток-мишеней множество кровеносных сосудов, поэтому они легкодоступны. «Это означает, что как только иммунные клетки получили сигнал, они могут легко добраться до цели», — говорит Маллоне.

Помимо перечисленных слабых мест, клетки-мишени способны реагировать на внешнюю угрозу, например повреждения, спровоцированные вирусом, вызывая при этом сильный иммунный ответ. Некоторые клетки при заражении вирусом самоликвидируются, уничтожая себя прежде, чем проблема распространится

и потребуются вмешательства иммунной системы. Но число некоторых клеток, например нейронов или бета-клеток поджелудочной железы, ограничено. Поэтому нельзя просто убить их при вирусной инфекции, объясняет Эйзирик. «Если умрет слишком много клеток, мы погибнем», — говорит он. Поэтому они сохраняются, а иммунная система расценивает выделяемые ими молекулы как сигнал, что все клетки этого типа попали в беду, — и запускается аутоиммунная атака.

В качестве одного из ярких примеров иммунной реакции в ответ на проблемы в клетках-мишенях можно рассмотреть заболевание кровеносных сосудов, которое называется «вакулит». Оно не относится к числу классических аутоиммунных болезней, поскольку при нем не образуются аутоантитела. Скорее это пример аутовоспалительного заболевания: при васкулите миелоидные иммунные клетки нападают на клетки, расположенные в стенках артерий, вен и капилляров. Редкая агрессивная форма васкулита у детей возникает в результате мутации в гене, кодирующем фермент аденозиндеаминазу 2. Как показывает исследование 2020 г., проведенное под руководством Шармы и опубликованное в *Science Advances*, этот фермент регулирует активность и атакующих клеток, и тех, на которые нападают. «Когда данный фермент не работает, нарушается регуляция всей системы», — говорит Шарма. — В результате клетки-мишени начинают вырабатывать цитокины, это воспринимается как присутствие чего-то чужеродного и приводит к активации миелоидных клеток. Речь идет о том, что клетка-мишень сама навлекает на себя проблемы».

### Внешние причины

Наличие врожденной уязвимости еще не означает, что клетки сами создадут себе аутоиммунные проблемы. Ведь и у людей, не страдающих диабетом, Маллоне обнаружил T-клетки, которые могли бы атаковать бета-клетки, но сдерживались. Что-то нарушает равновесие, вызывая в тканях-мишенях реакцию, которая, по-видимому, запускает вмешательство иммунной системы. По мнению многих ученых, часто так бывает из-за заражения вирусной инфекцией или отравления токсическими веществами, причем это событие может случиться за годы до того, как аутоиммунное заболевание разовьется настолько, что его обнаружат.

Существует предположение, что одна из причин диабета I типа — вирус Коксаки. Это распространенный патоген, обычно вызывающий легкое заболевание, проявляющееся в виде проходящей кожной сыпи и язв во рту. Но Маллоне рассказывает, что при определенных обстоятельствах вирус Коксаки может атаковать поджелудочную железу: «Эти вирусы способны напасть на бета-клетки и убить некоторые из них при достаточной вирусной нагрузке». Это может запустить воспаление, что в свою очередь привлечет больше иммунных клеток к месту гибели бета-клеток. В предсмертной агонии бета-клетки способны выделять специфичные самоантигены, которые вызывают активацию находящихся по соседству иммунных клеток, провоцируя их начать охоту за другими бета-клетками, потому что у тех такие же антигены.

**Чтобы лучше понимать причины аутоиммунных заболеваний и искать способы их лечения, мы будем использовать подход, сильно отличающийся от узконаправленных исследований только иммунных клеток, или тканей-мишеней, или микробиома. Успешным будет более целостный взгляд.**

Маллоне рассказывает, что подобное сочетание условий имеет решающее значение: «В принципе, вам нужны три ингредиента: самоантиген, воспалительная среда и предрасположенность к развитию аутоиммунных заболеваний. И эти факторы должны оказаться в одном месте в одно время. Вероятно, это одна из причин, почему так трудно определить, что в окружающей среде спровоцировало запуск: мы все подвергаемся такому воздействию, но все зависит от сочетания конкретных условий».

Подобные представления приходят на смену старым взглядам, предполагающим, что вирус запускает аутоиммунные реакции, когда вирусные белки с молекулярной точки зрения похожи на самоантигены,

это сходство вызывает у иммунных клеток путаницу и запускает атаку на собственный организм. Такая версия, называемая вирусной мимикрией, начала рассыпаться, когда ученые выяснили, что молекулярные двойники встречаются очень часто, но редко вызывают заболевания. В организме человека есть ряд молекул, похожих на те, что имеются у патогенов, их называют перекрестно-реактивными. «Перекрестная реактивность чрезвычайно распространена, вы можете обнаружить ее повсюду», — рассказывает Делиза Фэйруэтер (DeLisa Fairweather), иммунолог из Клиники Майо в Джэксонвилле, штат Флорида. Она говорит, что если кросс-реактивность и приводит к развитию заболевания, то это еще не ответ и надо разбираться на более сложном уровне. Сейчас считается, что, когда вирус убивает отдельные клетки-мишени и вызывает воспаление, некоторые иммунные клетки становятся восприимчивыми к белкам умирающих клеток.

**Увеличение количества больных**

Другие воздействия извне, например некоторые препараты или иные вещества, могут способствовать воспалительным реакциям, повышая вероятность, что встреча с защитниками из иммунной системы произойдет неправильным образом. По мнению некоторых ученых, именно встречей с такими веществами можно объяснить рост частоты аутоиммунных заболеваний в последние несколько десятилетий. В 2020 г. ревматолог Фредерик Миллер (Frederick Miller) из Национального института экологической медицины вместе с коллегами опубликовал работу, в которой прослеживалась встречаемость антинуклеарных антител — подгруппы антител к белкам, содержащимся в ядре клетки. В этом исследовании в течение 25 лет наблюдали за 14 тыс. участников из США. В период с 1988 г. до 1991 г. антитела были обнаружены у 11% участников. Их количество оставалось достаточно стабильным до 2004 г., лишь немного увеличившись к концу этого периода. Однако к 2012 г. наблюдался большой скачок, теперь такие аутоантитела имелись примерно у 16%. Миллер рассказывает, что прирост был особенно выражен среди подростков: «Для меня это было самым жутким». Это может означать, что грядет всплеск аутоиммунных заболеваний.

Какие изменения привели к такому приросту? «Мы пока не знаем», — говорит Миллер.

Однако он может рассказать о некоторых предполагаемых экологических и поведенческих факторах: по его словам, за время исследования было одобрено для применения примерно 80–90 тыс. новых веществ. «У нас значительно изменилось питание, — продолжает он. — Мы используем электронику, которая удобна и полезна, но из-за этого мы недостаточно спим». Усилилось загрязнение воздуха, воды и продуктов питания. «За последние 30 лет в нашем образе жизни и в среде произошли сотни изменений», — говорит Миллер.

Другая, несколько парадоксальная, идея заключается в том, что наша иммунная система сейчас подвергается недостаточному воздействию со стороны внешнего мира и поэтому слишком сильно реагирует, когда сталкивается даже с относительно безобидными молекулами извне. Теория основана на так называемой гигиенической гипотезе, возникшей в начале 2000-х гг. в связи с изменениями санитарных условий. Согласно этой версии, речь идет о влиянии изменения кишечного микробиома, то есть бактерий, живущих у нас в кишечнике, из-за привычек современного общества. Благодаря особенностям геополитики возникла уникальная возможность изучить данный эффект. После 1917 г. Карелия, находящаяся на северо-востоке Европы, оказалась разделена на финскую и российскую части. Население обеих территорий было генетически схожим, но финская часть Карелии после Второй мировой войны была быстро модернизирована, тогда как условия жизни в сельской местности российской Карелии оставались почти теми же, что и 60 лет назад. Можно было бы подумать, что улучшение условий жизни снизило заболеваемость, но что касается аутоиммунных заболеваний, то это оказалось не так. Наблюдался даже обратный эффект: заболеваемость диабетом I типа в Финляндии — самая высокая в мире и примерно в шесть раз выше, чем в русской Карелии. Уровень заболеваемости другими аутоиммунными болезнями, такими как целиакия, в Финляндии также в шестьдесят раз выше по сравнению с Россией.

Микаэль Книп (Mikael Knip) из Хельсинкского университета вместе с коллегами считают, что изменения заболеваемости могут быть связаны с модификациями микробиома у жителей Карелии. Экосистема наших кишечных бактерий формируется в младенчестве и сильно зависит от того, что нас окружает. В исследовании, опубликованном

в 2016 г. в журнале *Cell*, Книп с коллегами собрали образцы кала у детей до трех лет по обе стороны от российско-финской границы. «Проанализировав данные, мы увидели явные различия между детьми из финской и российской частей Карелии», — рассказывает Книп.

У российских детей среди микробов преобладала непатогенная форма кишечной палочки. В то же время у финских детей наблюдалось большое количество палочек рода бактериоидов, которые обычно не вызывают сильной иммунной реакции. «Встреча с разными микробами из окружающей среды тренирует иммунную систему, особенно в первый год жизни», — объясняет Книп. И похоже, что у финнов иммунная система не проходит достаточно жесткой подготовки. Кроме того, финским микробиомам в отличие от российских не хватало разнообразия. Хотя Книп подчеркивает, что пока слишком рано утверждать наличие причинно-следственной связи между снижением разнообразия микробиома у финнов и ростом числа аутоиммунных проблем, тем не менее он думает, что она существует. «Я считаю, что нам надо переименовать гигиеническую гипотезу в гипотезу биоразнообразия», — говорит ученый.

Шарма соглашается, что биоразнообразие имеет значение и различные воздействия, например употребление переработанных продуктов или хотя бы менее переработанных, служат ключевым фактором для тренировки иммунной системы. «Это повышает количество и разнообразие кишечной микрофлоры», — говорит Шарма. И это дает нашей иммунной системе шанс привыкнуть к молекулам, которые по своей сути неопасны, чтобы в дальнейшем при встрече с ними не реагировать так остро.

По словам Миллера, в итоге, чтобы лучше понимать причины аутоиммунных заболеваний и искать способы их лечения, мы будем использовать подход, сильно отличающийся от узконаправленных исследований только иммунных клеток, или тканей-мишеней, или микробиома. Успешным будет более целостный взгляд. Миллер проводит сравнение со старой индийской притчей: «Это похоже на слепых, ощупывающих слона с разных сторон. Каждый видит что-то свое, но они неспособны сформировать из полученной информации единое целое». Чтобы увидеть всю иммунологическую картину, понадобится больше различных биомолекулярных исследований, выполненных на больших популяциях людей. ■

# ЖЕНЩИНЫ В ГРУППЕ РИСКА

Примерно 80% людей с аутоиммунными заболеваниями — женщины. Это может быть связано с половыми гормонами, генами и даже кишечными бактериями

*Мелинда Уэннер Мойер*

**В**первые странные симптомы появились у Мелани Си (Melanie See) в 2005 г. Она внезапно начала сильно потеть, быстро похудела на 4 кг. У нее закружилась голова, когда она шла из спальни в гостиную. Началась лактация, хотя она и не кормила младенца. Затем, после целого ряда лабораторных анализов, у 45-летней Мелани Си диагностировали базедову болезнь — аутоиммунное заболевание, которое приводит к резкому повышению уровня гормонов щитовидной железы.

Три года спустя, когда симптомы Си успешно контролировались лекарствами, у нее снова случилось резкое ухудшение здоровья. Она сильно похудела и чувствовала себя крайне усталой. Врачи выявили целиакию — еще одно аутоиммунное заболевание, которое проявляется, когда люди употребляют в пищу глютен. Затем в 2015 г., у Си, которая жила в Чапел-Хилле, штат Северная Каролина, начались пугающие кишечные симптомы и боли в мышцах. На этот раз ее врачи оказались в тупике. Си рассказывает: «Вначале мне каких только диагнозов не ставили: васкулит, волчанка, всех и не упомнишь. Анализ крови и биопсия мышц, которую я сделала в июне 2016 г., показали, что там идет какой-то процесс, но я не вписывалась ни в какую схему».

И наконец, после множества анализов, Си диагностировали третье аутоиммунное расстройство — смешанное заболевание соединительной ткани. Это редкая болезнь, по некоторым признакам похожая на волчанку.

Среди людей, страдающих от аутоиммунных заболеваний, в том числе от тех, которые поразили Си, а также волчанки, ревматоидного артрита и других, когда иммунная система ошибочно атакует собственные клетки и ткани, невероятно много женщин, их почти 78%. Сейчас аутоиммунные заболевания занимают пятое место в списке главных причин смерти женщин в возрасте до 65 лет.

Долгое время оставалось непонятным, почему женщины гораздо чаще мужчин страдают от аутоиммунных заболеваний, но сейчас ученые начали



## ОБ АВТОРЕ

**Мелинда Уэннер Мойер** (Melinda Wenner Moyer) — пишущий редактор *Scientific American*. Ее самая новая книга — «Как воспитывать детей, чтобы они не становились подлецами: научно обоснованные стратегии наилучшего воспитания от младенчества до подросткового возраста» (*How to Raise Kids Who Aren't Assholes: Science-Based Strategies for Better Parenting — from Tots to Teens*, 2021).



выявлять причины, среди которых разное влияние половых гормонов, наличие двух X-хромосом и даже особенности видового состава микроорганизмов, которые по-разному заселяют кишечник в зависимости от пола. Некоторые исследователи считают, что определенную роль в этом сыграл и эволюционный процесс. Поскольку аутоиммунитет сильнее выражен у женщин, ученые предположили, что это эволюционный пережиток, связанный с тем, что такая сверхбдительность иммунной системы могла давать репродуктивное преимущество, повышая вероятность успешной беременности, даже с учетом риска развития аутоиммунных болезней.

Иммунолог из Торонтского университета Шеннон Данн (Shannon Dunn) считает, что «важно выяснить биологические особенности, лежащие в основе таких половых различий. Если мы сможем разобраться в них, то не только лучше поймем, как развиваются аутоиммунные заболевания, и найдем новые способы лечения, но также проясним, как половые различия проявляются в реакциях людей на инфекции, вакцинацию, травмы и раковые опухоли».

### Гормоны

Крайняя неравномерность в поражении аутоиммунными болезнями — не новое наблюдение. Уже столетие назад, когда эти заболевания были впервые диагностированы, врачи обратили внимание, что у женщин риск гораздо выше, чем у мужчин. Однако в те времена медики рассматривали аутоиммунные болезни скорее как отдельные сущности, каждая со своими уникальными причинами. Мало кто думал, что эти заболевания могли быть фундаментально связаны между собой и сильнее поражать женщин по биологическим причинам.

В начале 1990-х гг. все изменилось, ученые поняли, что у некоторых аутоиммунных заболеваний есть общие биологические механизмы. Среди прочего исследователи

открыли, что в развитие ревматоидного артрита, рассеянного склероза и диабета I типа вовлечены иммунные клетки  $CD4^+$  T-хелперы. И в 1991 г. болевшая волчанкой Вирджиния Лэдд (Virginia Ladd), обнаружив, что различные члены ее семьи страдают от ряда аутоиммунных заболеваний, что указывает на наследственную причину проблемы, основала Американскую ассоциацию аутоиммунных заболеваний.

Начав рассматривать аутоиммунные заболевания во всей их совокупности, исследователи стали замечать интересные закономерности. Так, некоторые из этих болезней проявлялись после ключевых изменений в жизни женщины (почти все исследования были выполнены на цисгендерных женщинах). Например, волчанка и рассеянный склероз с большей вероятностью впервые развиваются в детородном возрасте. Другие, как, например, ревматоидный артрит, чаще возникают после менопаузы. Значительные изменения могут также происходить во время беременности — часто в этот период ослабевают симптомы ревматоидного артрита, рассеянного склероза и базедовой болезни, а симптомы волчанки при этом, наоборот, усиливаются.

Что же общего у полового созревания, беременности и менопаузы? Во все эти периоды происходят масштабные изменения в уровне таких гормонов, как эстроген, прогестерон и тестостерон. Например, во время полового созревания и беременности повышается уровень эстрогена. По словам микробиолога и иммунолога Делизы Фэйруэтер из Клиники Майо, сейчас ясно, что, несмотря на ряд исключений, многие аутоиммунные заболевания «запускаются эстрогеном». Кроме того, увеличение уровня эстрогена при использовании оральных контрацептивов и гормонозаместительной терапии связано с повышенным риском развития волчанки.

Эстроген, как и другие половые гормоны, влияет непосредственно на работу

генов, связанных с иммунитетом. Например, он присоединяется к гену, кодирующему белок интерферон гамма, и включает его. В норме интерферон гамма управляет иммунными реакциями против патогенов, но может и усиливать аутоиммунные реакции. Эстроген активирует также В-клетки, синтезирующие антитела, помечающие и атакующие чужеродные вещества. Но среди них есть и так называемые аутоантитела, которые нападают на клетки своего организма.

Гормоны, играющие важную роль в беременности, например прогестерон, имеют и сильное иммунное действие. У многих иммунных клеток, в том числе у Т-клеток и макрофагов, есть рецептор к прогестерону. Когда с этим рецептором связывается прогестерон, он переключает иммунный ответ на выработку антител и аутоантител. Такая реакция получила название «Th2-иммунный ответ», поскольку в нем участвуют Т-клетки второго типа. В отличие от него Th1-иммунный ответ подавляет производство антител и активирует клетки, которые непосредственно атакуют другие клетки.

Ревматоидный артрит и рассеянный склероз возникают из-за Th1-иммунного ответа, поэтому вызванное прогестероном переключение на Th2-ответ может облегчить течение болезни и благодаря росту уровня прогестерона во время беременности симптомы в этот период ослабевают. Однако, как утверждает невролог Тануя Читнис (Tanuja Chitnis) из Женской больницы Бригама в Бостоне, «у женщин с рассеянным склерозом гораздо выше риск обострения болезни сразу после родов. Это вызвано резким изменением и снижением уровня половых гормонов».

Еще один важный гормон, связанный с аутоиммунитетом, — тестостерон, который у женщин тоже образуется, хотя и в меньших количествах, чем у мужчин. Рецепторы к тестостерону найдены в В- и Т-клетках, и тестостерон, как правило, подавляет иммунитет. Он снижает число клеток иммунной системы, в том числе нейтрофилов, NK-лимфоцитов и макрофагов, что может быть причиной низкой частоты аутоиммунных заболеваний у мужчин. Исследователи показали, что у мужчин с рассеянным склерозом часто бывает понижен уровень тестостерона, а у мужчин с низким уровнем тестостерона из-за гипогонадизма выше риск развития волчанки и ревматоидного артрита.

Все эти половые гормоны могут также влиять на активность ряда ключевых генов иммунной системы. В 1997 г. объединенная группа финских и немецких ученых открыла ген, играющий важную роль в аутоиммунитете. Он был назван AIRE (сокращение от англ. *autoimmune regulator* — «аутоиммунный регулятор»). Этот ген работает в клетках тимуса, органа, который производит Т-клетки. AIRE обеспечивает показ белков своего организма развивающимся Т-клеткам, обучая иммунитет, что эти белки дружественные, а не вражеские. Кроме того, отчасти благодаря AIRE, Т-клетки, которые могли бы атаковать эти собственные дружественные белки, уничтожаются в тимусе еще до того, как распространятся по организму, где их активность может навредить.

Неудивительно, что у людей, у которых AIRE отсутствует или мутировал, определенные аутоиммунные заболевания развиваются с большей вероятностью. Это связано с тем, что Т-клетки, которые следовало бы уничтожить, выживают и, как говорит Данн, «в итоге распространяются по организму и вызывают аутоиммунное заболевание».

Оказалось, что активность AIRE и других похожих на него генов отчасти контролируется половыми гормонами. Исследователи из парижской Сорбонны показали в 2016 г., что у мышей эстроген и прогестерон подавляют активность гена AIRE, то есть снижают количество кодируемого этим геном белка, а тестостерон, наоборот, усиливает образование белка AIRE. Кроме того, ученые обнаружили, что после полового созревания у женщин, как правило, синтезируется меньше белка AIRE, а у мужчин больше, что, вероятно, связано с влиянием половых гормонов. Низкое содержание AIRE означает, что больше Т-клеток, способных реагировать на белки собственного организма, смогут ускользнуть из тимуса и вызвать аутоиммунное заболевание.

Однако, несмотря на важную роль половых гормонов, это еще не все. Некоторые аутоиммунные заболевания, например волчанка и рассеянный склероз, иногда развиваются в детстве, еще до того как уровни эстрогена и прогестерона повышаются в период полового созревания. Это значит, что должны быть и другие факторы. Чтобы их определить, группа исследователей изучает главное различие женщин и мужчин, которое имеется еще до рождения, — наличие или отсутствие второй Х-хромосомы.

### Х-факторы

Биология утверждает, что хотя у женщин есть две X-хромосомы, одна из них в каждой клетке выключается еще в начале эмбрионального развития в процессе, который называется «инактивация X-хромосомы». Выключенная X-хромосома становится темным бесформенным тельцем, которое молча присутствует в каждой клетке, что позволяет не синтезировать лишних белков с генов, лежащих на X-хромосоме. Однако в последние годы ученые обнаружили, что эта инактивация проходит не так, как думали раньше. Выяснилось, что по меньшей мере 15% генов, расположенных на, казалось бы, инактивированной X-хромосоме, продолжают работать. По сути это означает, что у женщин данные гены производят в два раза больше белка, чем у мужчин. Например, у женщин с волчанкой активность некоторых генов, работающих на обеих X-хромосомах, коррелирует с тяжестью заболевания.

На самом деле многие гены на X-хромосоме напрямую связаны с аутоиммунными болезнями — например, ген толл-подобного рецептора 7 (*TLR-7*). Это белок, участвующий в развитии таких аутоиммунных заболеваний, как волчанка, дерматомиозит, склеродермия и синдром Шегрена. *TLR-7* должен распознавать патогены и предупреждать о них другие иммунные клетки. Кроме того, он увеличивает выработку защитных белков интерферонов, которые могут усилить аутоиммунный ответ. Синтез интерферонов увеличивает и ген *TASL*, который часто включается на вроде бы инактивированной X-хромосоме. Причем, по словам врача Хэла Скофилда (Hal Scofield) из Научного центра здоровья Оклахомского университета, изучающего роль инактивации X-хромосомы в развитии аутоиммунных заболеваний, у женщин содержание этого белка может увеличиваться почти в два раза.

А недавно исследователи обнаружили еще нечто весьма странное в инактивации X-хромосомы, также подтверждающее ее роль в развитии аутоиммунных заболеваний. У женщин активность выключенной X-хромосомы необычным способом сохранялась в T- и B-клетках, участвующих в иммунном ответе. Специалист по биомедицине Монтсеррат Ангуэра (Montserrat Anguera) из Пенсильванского университета вместе со своими коллегами в 2019 г. выяснила, что когда у самок мышей созревают молодые иммунные клетки, то клеточные

механизмы, предназначенные для сворачивания и инактивации второй X-хромосомы, претерпевают значительные изменения, обеспечивая не выключение, а включение расположенных на X-хромосоме генов. По словам Ангуэры, это было «безумное открытие».

Никто не думал, что иммунные клетки у женщин в отношении инактивации X-хромосомы ведут себя иначе, чем другие клетки организма, и, более того, что происходящие в них процессы напрямую увеличивает риск аутоиммунных заболеваний. В июне 2001 г. Ангуэра со своими коллегами обнаружила, что B-клетки у девочек и женщин с волчанкой уклоняются от обычных клеточных механизмов инактивации X-хромосомы и синтезируют больше белков, кодируемых генами на X-хромосоме, чем следует.

Важную роль X-хромосомы в аутоиммунитете показывает и происходящее с людьми, у которых присутствует необычное количество этих хромосом. Например, у мужчин с синдромом Клайнфельтера две X-хромосомы и одна Y-хромосома, при этом у них риск развития волчанки в 14 раз выше по сравнению с другими мужчинами. Точно так же у женщин с трисомией по X-хромосоме (то есть у тех, у кого три X-хромосомы) риск развития волчанки и синдрома Шегрена соответственно в 2,5 и 2,9 раз выше, чем у других женщин.

Почему у женского организма есть такие странные особенности, увеличивающие риск заболевания? Обычно со временем эволюция отсеивает процессы, затрудняющие размножение и выживание, а связь аутоиммунитета с X-хромосомой безусловно снижает выживаемость. Эволюционные биологи предполагают, что при такой парадоксальной ситуации появляются некоторые важные преимущества. В статье, опубликованной в 2019 г. в журнале *Trends in Genetics*, специалист в области вычислительной и эволюционной биологии Мелисса Уилсон (Melissa Wilson) из Университета штата Аризона со своими коллегами предложила гипотезу компенсации за счет беременности, которая основана в том числе и на эволюционных наблюдениях. Эволюция плаценты — органа, который снабжает кислородом и питательными веществами плод во время беременности, — совпала по времени с эволюцией половых хромосом млекопитающих, а также с добавлением целого ряда генов на X-хромосому. Эти три события могут оказаться связанными между собой.

Во время беременности организм женщины не должен отторгать растущий плод, половина генов которого чужеродные, так как получены от отца. Обычно иммунная система атакует клетки с таким чужеродным происхождением. Кроме того, женщина должна не отторгать плаценту, образованную плодом. Уилсон считает, что гены на X-хромосоме и неполная инактивация X-хромосомы могли возникнуть в процессе эволюции для гибкой регуляции иммунного ответа в ситуации появления этих странных новых требований при беременности. Иммунный ответ во время беременности изменяется динамично: вначале он сильный, что позволяет плаценте сформировать новые кровеносные сосуды; затем иммунитет снижается; а ближе к концу иммунный ответ и воспалительные реакции снова активизируются в ожидании родов.

С гипотезой компенсации за счет беременности согласуются и другие наблюдения. Например, сегодня женщины проводят гораздо меньшую долю жизни в состоянии беременности, чем сотни лет назад. Следовательно, иммунная система женщины подавляется не так часто, как раньше. Это объясняет, почему сейчас у женщин так часто возникают аутоиммунные болезни и почему в прошлом заболеваемость ими была значительно ниже. И, хотя для проверки такой гипотезы требуется множество исследований, Уилсон считает, что «формирование иммунной системы матери сильно зависит от беременности и образования плаценты, что в свою очередь позволяет предположить, почему у нас есть такие половые различия для этих болезней». Другими словами, аутоиммунитет может быть неприятным побочным эффектом сложного иммунного ответа, необходимого женщинам для вынашивания детей.

### Кишечник раскрывает секреты

Далеко не все в нашем организме определяется генами. Аутоиммунное заболевание может появиться у одного близнеца и не появиться у другого. Среда имеет принципиальное значение. Пока неясно, какие именно внешние факторы наиболее важны, однако исследователи рассматривают микробные инфекции, химические вещества, такие как эндокринные разрушители, курение, особенности диеты, стресс и «хорошие» симбиотические бактерии, населяющие наш кишечник.

В нескольких интересных исследованиях на животных показано, что кишечные

бактерии, совокупность которых называется кишечным микробиомом, могут быть фактором риска для развития аутоиммунных заболеваний. Иммунолог и биофизик из Торонтского университета Джейн Данска (Jayne Danska) посвятила большую часть своей карьеры изучению связей между полом и генетическими основами аутоиммунных болезней, в частности вопросу, одинаково ли влияют гены, повышающие риск аутоиммунитета, на мужчин и женщин. Однако в 2012 г. она сделала случайное открытие, развернувшее ее работу в новом неожиданном направлении. «Так бывает в науке: нашли больше, чем искали», — отмечает исследовательница.

Данска со своими коллегами пыталась выявить генетические факторы риска для сахарного диабета I типа — аутоиммунного заболевания, при котором организм атакует бета-клетки поджелудочной железы, синтезирующие инсулин. Для этого исследователи использовали лабораторную линию не страдающих ожирением мышей с диабетом (*NOD*, от англ. *nonobese diabetic*). Эти грызуны дают хорошую модель человеческого заболевания, но за одним важным исключением. У мужчин и женщин диабет I типа возникает равновероятно, и это одно из немногих аутоиммунных заболеваний, не имеющее более частой встречаемости у женщин. Однако у самок мышей линии *NOD* данная болезнь проявляется в два раза чаще, чем у самцов.

Данска знала, что с генами каким-то образом взаимодействуют и средовые факторы. Она рассматривала кишечные бактерии как один из таких факторов риска. Данска задалась вопросом, могла ли быть связана неравномерная заболеваемость диабетом у ее мышей с различиями в кишечных бактериях. Чтобы это выяснить, она с коллегами вырастила группы мышей линии *NOD* в стерильных условиях, где отсутствовали вирусы и микробы, в том числе и симбиотические бактерии, которые в норме заселяют кишечник.

Именно тогда Данска сделала свое первое удивительное открытие. Когда она посмотрела, у скольких выращенных в стерильных условиях животных с возрастом проявился диабет, то оказалось, как она вспоминает, что «половые различия полностью исчезли». Внезапно у самцов диабет развивался с той же вероятностью, что и у самок. «Это было крупное открытие, которого мы никак не ожидали. Я даже не могла поверить, что это действительно так».

Повторение эксперимента дало тот же результат. Затем другие работы привели к новым сюрпризам. Исследователи взяли бактерии у взрослых самцов линии *NOD* и пересадили молодым самкам той же линии, у которых еще не было диабета. Эти самки затем выросли в здоровых половозрелых особей без диабета.

Результаты Дански, которые в 2013 г. были опубликованы в журнале *Science*, стали первым доказательством того, что «микробы из кишечника могут влиять на аутоиммунные процессы у самок», — говорит Мартин Кригель (Martin Kriegel), ревматолог и клинический иммунолог из Вестфальского университета в Мюнстере в Германии. По его словам, это было важное открытие, значение которого ученым еще предстоит понять.

Никто пока не знает, почему кишечные микробы у самцов оказались защитными. Данска и ее соавторы определили, что важную роль здесь играет тестостерон. Когда исследователи брали кровь у выращенных в стерильных условиях мышей линии *NOD*, то оказалось, что у самцов уровень тестостерона был ниже, чем обычно бывает у самцов с микробами. А когда кишечник самок мышей заселяли бактериями, взятыми от самцов, что предположительно защищало от диабета, уровень тестостерона у этих животных был выше, чем обычно бывает у самок в нестерильных условиях.

Все это означает, что в микробах самцов есть что-то, что повышает уровень тестостерона и оказывает защитное действие. Когда Данска с коллегами взяли микробов от самцов мышей и пересадили их в кишечник самок, но затем заблокировали тестостероновую регуляторную систему в их организме, то у них снова возрос риск диабета первого типа. Такие результаты согласуются с исследованиями волчанки у мужчин, где было показано, что подавление тестостерона повышает риск развития этой болезни, а также с работой на лабораторной линии мышей, у которых самки особенно подвержены развитию волчанки. Согласно статье ученых из Медицинского университета Южной Каролины, опубликованной в 2020 г. в *Journal of Immunology*, если удалить бактерии из кишечника таких самок, снижается риск развития волчанки.

Пока неясно, могут ли микробы регулировать уровень тестостерона, или наоборот, и как это происходит. Исследования Дански показывают, что в период полового

созревания состав симбиотических микробов начинает различаться у самцов и самок, а значит, в это время с бактериями что-то происходит. Таким образом, можно даже объяснить, почему у людей практически нет половых различий в заболеваемости диабетом I типа. У нас эта болезнь обычно развивается в детстве, до того как у микробов появится возможность повлиять на риски, связанные с полом. Возможно, на микробов оказывает воздействие внезапный выброс половых гормонов в период полового созревания, но скорее всего это, как говорит Кригель, «дорога с двусторонним движением»: микробы реагируют на половые гормоны, а половые гормоны — на микробов.

### Как достичь лучшего баланса

Естественно, мыши — не люди. Однако Данска убеждена, что ее исследования имеют важное значение и актуальны для аутоиммунных заболеваний, которые непропорционально чаще поражают женщин. Возможно, некоторые кишечные бактерии у женщин важны для развития аутоиммунитета. Если так, то изучение кишечных микробов может быть полезно для предотвращения заболевания.

Данска и Кригель надеются, что для женщин с риском аутоиммунных заболеваний можно разработать лечение, которое поможет правильно сформировать защищающий микробиом. Другие исследователи ищут способы настроить регуляторные системы половых гормонов так, чтобы снизить риск. Чем больше ученые узнают о причинах уязвимости женщин, тем выше шансы, что получится вмешаться еще до развития болезни.

Риск аутоиммунных заболеваний увеличивают и X-хромосома, и женские половые гормоны, и женские кишечные бактерии. Создается впечатление, что биология устроила некий заговор против женского пола. Однако у этого аутоиммунного бремени есть и другая сторона. Оно может быть связано с важностью женщин для выживания нашего вида. Данска говорит: «С точки зрения иммунологии женщины могут делать удивительные вещи, которые просто недоступны мужчинам». Вполне возможно, что за такие способности им приходится расплачиваться аутоиммунными болезнями. Но хочется верить, что однажды наука сможет избавить женщин от этого бремени. ■

# КОНТРОЛЬ ПОВРЕЖДЕНИЙ

Вместо того чтобы затормозить работу всей защитной системы организма, ученые пробуют использовать для борьбы с аутоиммунными заболеваниями более узконаправленные методы

*Марла Бродфут*

Когда Магделен Кинтеро (Magdelene Quintero) было 14 лет, ее рот наполнился болезненными язвами, так что есть и пить стало невыносимо. На переносице и щеках ее обычно смуглая кожа стала ярко-красной. Кончики пальцев покрылись язвами, как будто их окунули в кислоту. У нее поднялась температура, начались головные боли, она похудела и все время чувствовала усталость.

Потребовался год хождения по врачам, прежде чем Кинтеро узнала, что у нее волчанка — опасное для жизни хроническое аутоиммунное заболевание, которое может вызывать боль, воспаление и повреждения любой части тела. Прошло еще два года, прежде чем единственный ревматолог в Индейской службе здравоохранения, обслуживавшей ее поселок Джонс в Оклахоме, сумел подобрать правильные дозы лекарств, чтобы взять болезнь под контроль.

Сейчас Кинтеро 25, и она считает себя счастливицей. Волчанка проявилась и у ее младшей сестры, Исабель Эрнандес (Isabel Hernandez), причем в более страшной форме. Все началось с постоянных кровотечений из носа. Исабель поставили диагноз в 17 лет, и к тому времени у нее было кровоизлияние

в легких. Она провела 88 дней на аппарате искусственной вентиляции, а затем заново училась ходить, говорить и есть. Сейчас ей 21 год и у нее отказывают почки. Ожидая трансплантации, она ежедневно тратит несколько часов на диализ.

«Это душераздирающе», — говорит Кинтеро, только что получившая степень магистра по биомедицине в Университете штата Оклахома. Она беспокоится, не ожидает ли ее в будущем та же участь. «Но я благодарна за свое здоровье и счастлива, что лекарства, которые я принимаю, работают», — добавляет она.

Волчанку называют «великим имитатором», потому что ее симптомы, такие как температура, усталость, боль в суставах, сыпь, головные боли, проблемы с памятью



## ОБ АВТОРЕ

**Марла Бродфут** (Marla Broadfoot) — научный журналист-фрилансер, живет в Уэнделле, штат Северная Каролина. Защитила диссертацию по генетике и молекулярной биологии.

и отказ органов похожи на признаки многих других аутоиммунных заболеваний. В этих симптомах проявляется то многообразие способов, которыми наш организм может обернуться против самого себя, когда своенравная иммунная система, предназначенная для нашей защиты, атакует собственные здоровые клетки.

При старых методах лечения волчанки и других аутоиммунных заболеваний использовали грубую силу, по сути просто подавляя вышедшую из-под контроля иммунную систему. Однако у такого подхода есть побочные эффекты, которые иногда бывают хуже, чем сама болезнь. При подобном лечении основная роль отводится стероидам, эти лекарства обладают беспрецедентной способностью ослаблять иммунный ответ в целом, но при этом пациенты становятся уязвимыми для опасных и даже смертельных инфекций.

Недавние исследования способствуют изменению методов лечения аутоиммунных заболеваний, использованию более тонкого подхода. Пронизывающая весь организм человеческая иммунная система представляет собой головокружительно сложную сеть из множества различных типов клеток, органов, тканей и белков, которые взаимодействуют друг с другом посредством разнообразных химических сигналов. Благодаря современным технологиям, таким как генетический анализ и молекулярная инженерия, ученые могут исследовать отдельные части этой сети и гораздо точнее выявлять новые мишени для лечения аутоиммунных болезней. Некоторые из новых методов направлены на то, чтобы помешать аутоантителам, предательски атакующим собственные клетки. При других методах блокируется передача важных химических сигналов между иммунными клетками.

Однако такие методы лечения эффективны не для всех пациентов и нередко заболевания оказываются устойчивыми, поэтому многие люди с аутоиммунными

проблемами пытаются использовать подходы, не относящиеся к традиционной медицине. Ученым успехи и неудачи позволяют лучше понять то шаткое равновесие между защитой и патологией, которое должен поддерживать наш организм. Часть иммунной системы, например цитотоксические клетки *T*-киллеры и производящие антитела *B*-клетки, предназначена для борьбы. Другая часть, в основном регуляторные *T*-клетки, служит для поддержания мира. Когда первые выходят из-под контроля, а вторые не могут удержать их в рамках, возникает аутоиммунное заболевание. «У каждого из нас оно может развиться в любой момент, — говорит Майкл Холерс (Michael Holers), ревматолог из Медицинской школы Колорадского университета, — поскольку наша иммунная система устроена по принципу инь и янь».

### Ранние признаки

На протяжении десятилетий основным способом лечения аутоиммунных заболеваний были стероиды, такие как преднизон и дексаметазон. Эти мощные противовоспалительные препараты неизбежно подавляют выработку цитокинов, играющих ключевую роль при пробуждении нашей огромной армии иммунных клеток для борьбы с предполагаемой угрозой. Хотя стероиды могут чрезвычайно эффективно ослаблять симптомы аутоиммунного заболевания, это обходится такой ценой, что некоторые люди сравнивают их применение с заключением сделки с дьяволом. Многие пациенты вынуждены применять эти лекарства перорально или в форме инъекций большую часть своей жизни, и стероиды могут вызывать целый ряд других проблем, таких как катаракта, перепады настроения, набор веса, проблемы со сном, истончение костей, повышенное кровяное давление, высокий уровень глюкозы и повышенный риск инфекции.

К тому времени, когда большинство пациентов с аутоиммунными заболеваниями



*Обе сестры, Исабель Эрнандес (слева) и Магделен Кинтеро, страдают от волчанки*

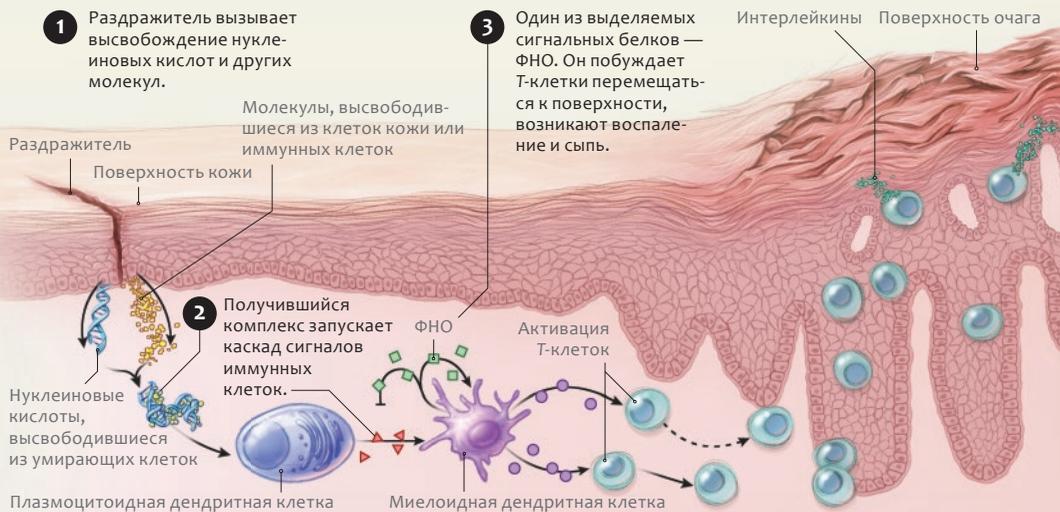
## Блокировка иммунного сигнала для борьбы с псориазом

При псориазе клетки кожи выходят из-под контроля. Они растут и размножаются значительно быстрее, чем положено, скапливаясь в красных, зудящих, чешуйчатых воспаленных очагах, которые могут покрывать большую часть тела. Этот неконтролируемый рост, по сути, происходит из-за атаки иммунной системы на кожу. Белок под названием «фактор

некроза опухоли» (ФНО) вызывает активность иммунных клеток, направленную против этого органа. Лекарства, блокирующие ФНО, такие как адалимумаб, оказались довольно эффективными. Но у некоторых пациентов они вызывают новое обострение заболевания, так называемый парадоксальный псориаз.

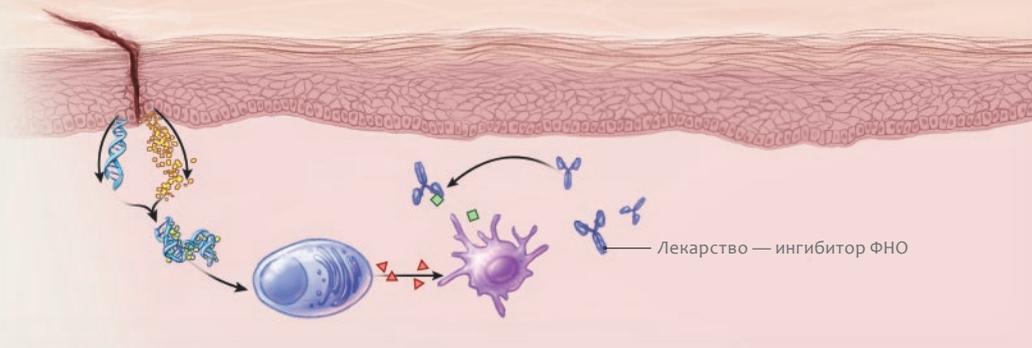
### Классический псориаз

Первоначальная причина неясна, она может быть наследственной или результатом какого-то контакта с окружающей средой. Какой бы ни была причина, в итоге дендритные клетки перемещаются в кожу и превращаются в более специализированные формы, которые высвобождают ФНО, а он в свою очередь стимулирует несколько типов Т-клеток, которые начинают скапливаться в коже. Они выделяют интерлейкины, вызывающие разрастание клеток кожи, и формируются очаг поражения. Заболевание хроническое, оно может угасать и появляться снова.



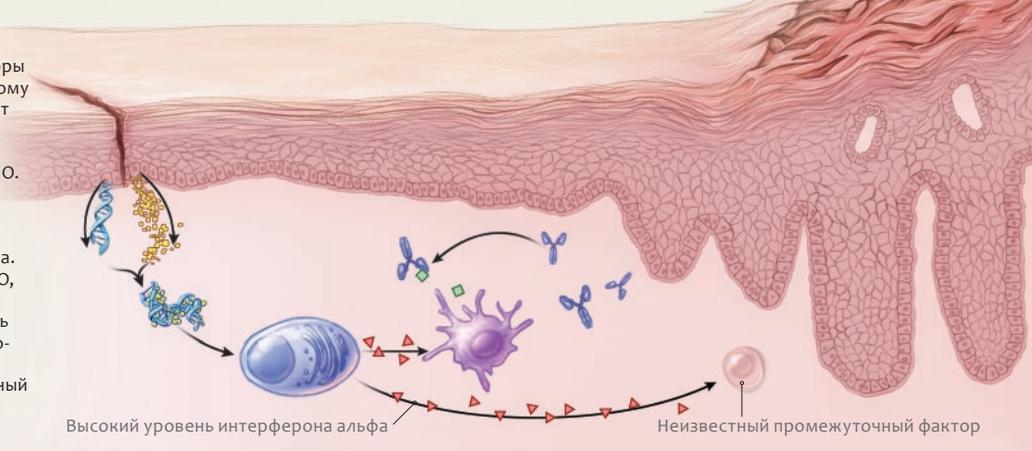
### Прерывание цикла

Препараты — ингибиторы ФНО останавливают этот каскад событий на ранней стадии. Такие лекарства, как адалимумаб и этарецепт, блокируют выработку и высвобождение ФНО дендритными клетками. Если воспалительный цикл прерван, повреждения исчезают или значительно уменьшаются.



### Парадоксальный эффект

У 2–5% пациентов ингибиторы ФНО могут привести к новому обострению псориаза. Этот парадоксальный псориаз может возникнуть из-за блокировки выделения ФНО. Помимо ФНО, дендритные клетки вырабатывают еще один провоспалительный белок — интерферон альфа. Прекращая выделение ФНО, эти клетки, по-видимому, могут начать вырабатывать больше интерферона, который запускает в коже свой собственный воспалительный каскад через неизвестный промежуточный фактор.



обращаются за лечением, организму уже нанесен значительный ущерб и это усугубляет проблему. На протяжении месяцев или лет аутоантитела незаметно перемещаются по крови и проникают в ткани, обеспечивая непрерывную атаку на целевой орган — поджелудочную железу, почки, суставы, кишечник, кожу, волосяные фолликулы, спинной и головной мозг. В итоге лечение стероидами имеет оборонительный характер, с их помощью подавляют вспышки и предотвращают дальнейшее обострение заболевания.

Сейчас ученые и врачи склоняются к тому, чтобы перейти в наступление и корректировать аутоиммунные нарушения до того, как они приведут к наиболее разрушительным последствиям. Исследователи надеются, что, сосредоточив внимание на раннем лечении и профилактике, удастся снизить количество и тяжесть аутоиммунных заболеваний, подобно тому как лечение людей с повышенным риском сердечно-сосудистых заболеваний препаратами, понижающими давление и уровень холестерина, снизило число сердечных приступов и инсультов. Сейчас проводится несколько исследований, где этот подход проверяется для диабета I типа, ревматоидного артрита, волчанки и рассеянного склероза.

Уже есть первые успехи. В одном исследовании участвовало 76 человек с аномальным уровнем сахара в крови, у которых в семейном анамнезе был диабет I типа, а при анализе обнаружены как минимум два аутоантитела, имеющих отношение к диабету. Половина участников получали экспериментальный препарат, моноклональные антитела теплизумаб, препятствующие атаке иммунной системы на бета-клетки, которые вырабатывают инсулин в поджелудочной железе. Другая половина получали плацебо. Спустя более пяти лет заболевание проявилось только у 50% людей, прошедших двухнедельный курс лечения препаратом, тогда как среди получавших плацебо заболело 78%. По оценке исследователей, среди заболевших из группы получавших раннее лечение заболевание развилось примерно на три года позже.

«Это большое достижение, — говорит Карла Гринбаум (Carla Greenbaum), эндокринолог, руководящая проектом *TrialNet Pathway to Prevention*, объединяющим в единую сеть ученых, проводящих клинические испытания лекарств от диабета I типа и другие подобные исследования. —

Это заболевание, влияющее на каждое мгновение каждого дня вашей жизни, поэтому любая отсрочка его начала клинически важна». Скорректировав данный подход, ученые надеются, что им удастся удлинить период до начала заболевания или даже найти способ полностью блокировать его развитие. Гринбаум считает, что эта идея должна сработать и для других аутоиммунных болезней. «На самом деле мы служим образцом для других заболеваний такого типа, у которых сейчас тоже обнаруживают длительные периоды до начала симптомов», — рассказывает она.

Рассеянный склероз — другое аутоиммунное заболевание, при котором раннее выявление имеет решающее значение. Болезнь поражает центральную нервную систему, ее характерный признак — утрата белого вещества в тех участках головного и спин-

## Таргетная терапия, подавляющая аутоиммунное заболевание у одного пациента, к сожалению, может провоцировать то же заболевание у других

ного мозга, где заболевание лишает нервы защитной оболочки. За последнее десятилетие исследователи обнаружили такие аномалии у сотен людей без внешних признаков рассеянного склероза, которым делали МРТ в связи с сотрясением мозга или мигренью. Дэвид Хафлер (David Hafler), невролог из Йельской школы медицины, считает, что такие случаи, называемые радиологически изолированным синдромом, могут быть самой ранней известной стадией рассеянного склероза. Вместе с коллегами и биотехнологической фирмой *Genentech* он начал многоцентровое исследование, в котором пробуют лечить радиологически изолированный синдром с помощью окрелизумаба — препарата, обычно используемого для лечения рассеянного склероза на более поздних стадиях. Хафлер хотел бы найти и другие биологические признаки, позволяющие вмешиваться еще до того, как проявятся повреждения. «В итоге терапия аутоиммунных заболеваний должна свестись к выявлению людей с высоким риском и лечению прежде, чем болезнь действительно начнется», — говорит он.

### Повышение точности

Важное преимущество таких препаратов, как моноклональные антитела, заключается в том, что они способны воздействовать на определенные элементы иммунной системы, а именно на вызывающие данное заболевание, и в отличие от стероидов оставляют остальную часть иммунной системы в рабочем состоянии. Но этот новый целенаправленный (таргетный) подход сопряжен со своими трудностями. Хотя его использование расширило возможности лечения пациентов, в некоторых случаях он привел к провалу или даже дал обратный эффект, ухудшив состояние больных. Гармонии в иммунной системе, как выяснилось, достичь непросто.

Несколько таргетных методов терапии нацелены на особенно мощный цитокин, который называется «фактор некроза опухоли» (ФНО). Он участвует в развитии многих аутоиммунных заболеваний, вызывая волну разрушительного воспаления. Препараты моноклональных антител, блокирующие его действие, широко используются при лечении ревматоидного артрита, воспалительного заболевания кишечника и псориаза. Однако в клинических испытаниях при рассеянном склерозе ингибиторы ФНО фактически усугубляли заболевание. «Это одна из серьезных странностей аутоиммунных болезней», — говорит Хафлер. Более того, было показано, что таргетная терапия, подавляющая аутоиммунное заболевание у одного пациента, может провоцировать то же заболевание у других.

За последние 60 лет единственный новый препарат, одобренный для лечения волчанки, — белimumаб, который относится именно к таргетной терапии. Он блокирует *B*-лимфоцитарный стимулятор, сокращенно *BLyS*, цитокин, который поддерживает работу аутореактивных *B*-клеток, продлевая аутоиммунную реакцию. Ревматолог из Оклахомского фонда медицинских исследований Джудит Джеймс (Judith James) говорит, что хотя это лечение помогло многим пациентам, но также значительное количество не получило от него никакой пользы, следовательно, у разных людей при этом заболевании могут быть задействованы разные молекулярные механизмы.

К счастью, благодаря технологическим достижениям исследователи могут анализировать различия между пациентами и между заболеваниями на генетическом уровне, выявляя закономерности,

на основе которых можно было бы объяснить прошлые неудачи и нащупать путь к будущим успехам. Например, пытаясь лечить гнездную алопецию, аутоиммунное поражение волосяных фолликулов, при котором образуются лысые участки, пробовали использовать препараты, предназначенные для лечения, казалось бы, близких кожных заболеваний — псориаза и атопического дерматита. Ни одно из средств не работало. И когда Анджела Кристиано (Angela Christiano), генетик из Колумбийского университета, страдающая алопецией, провела исследование генетических механизмов этой болезни, она внезапно поняла, в чем дело. «Это можно читать как технологическую схему, — рассказывает она. — Ясно, почему лекарства не справились: там нет общих генетических механизмов ни с одним из двух заболеваний». Кристиано выяснила, что у алопеции больше общего с ревматоидным артритом, целиакией и диабетом I типа, чем с болезнями кожи. «Я считаю, это великолепный пример того, как генетика может полностью изменить представления», — говорит она.

Один из идентифицированных ею генов, *ULBP3*, действует как сигнал бедствия, с его помощью *T*-киллеры узнают, что надо уничтожить поврежденные клетки. Обычно этот ген работает, только если клетка раковая, инфицирована или умирает. Но в волосяных фолликулах при алопеции ген фиксируется во включенном положении, постоянно призывая убить собственную клетку. При этом вырабатывается цитокин янус-киназа (*JAK*). Кристиано показала, что препараты — ингибиторы янус-киназы, обычно используемые для прерывания аутоиммунных сигналов при ревматоидном артрите, могут предотвратить атаку *T*-киллеров на волосяные фолликулы. За несколько месяцев лечения у пациентов, которые раньше были лысыми, полностью восстанавливалась шевелюра. Когда Кристиано диагностировали алопецию еще на заре ее карьеры, никто не мог сказать, станет ей лучше или хуже, и единственным доступным способом лечения были инъекции стероидов под кожу головы. Сейчас благодаря ее работе идут несколько передовых испытаний ингибиторов янус-киназы для борьбы с этой болезнью.

Пять ингибиторов *JAK* уже одобрены для лечения других аутоиммунных и воспалительных заболеваний, и многие другие находятся на стадии разработки. Однако однозначных успехов нет, и даже новейшие

способы таргетной терапии могут иметь побочные эффекты. Например, в феврале этого года Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов (FDA) США предупредило о повышении риска сердечно-сосудистых проблем и рака при использовании ингибитора JAK для лечения ревматоидного артрита.

«Такова на сегодня ситуация с лечением аутоиммунных заболеваний, поэтому я всегда говорю, что надо искать меньшее из зол», — рассказывает Эйми Пейн (Aimee Payne), дерматолог из Пенсильванского университета, которая разрабатывает генную терапию для редкого аутоиммунного заболевания кожи — вульгарной пузырчатки. У людей с этой болезнью есть антитела, атакующие белок десмоглеин-3 (DSG3), который обычно склеивает клетки кожи друг с другом. Когда он разрушается, образуются болезненные волдыри по всему телу, и иногда пациенты вынуждены ложиться в ожоговые отделения больниц для лечения опасных для жизни инфекций.

Пейн разработала таргетную терапию, позволяющую устранить специфичную популяцию В-клеток, вырабатывающих эти антитела, но не затрагивающую другие В-клетки, и протестировала ее на мышах. В иммунной системе есть миллиарды В-клеток, которые бывают самых разных видов. Большинство из них вырабатывают антитела, необходимые для борьбы с вирусами и бактериями. К счастью, анти-DSG3-В-клетки легко найти, поскольку у них есть характерный признак — на их поверхности фактически наклеено анти-DSG3-антитело. «В некотором смысле эти В-клетки — страшные злодеи: они сообщают, на кого собираются напасть, прежде чем это сделают», — говорит Пейн.

Для того чтобы избавиться от вызывающих заболевание клеток, Пейн использовала метод, изобретенный ее коллегой Майклом Милоном (Michael Milone), которому удалось успешно уничтожить злокачественные В-клетки при некоторых формах рака крови. При этой стратегии, которая называется «Т-клеточная терапия химерным рецептором антигена (CAR T)», используются генетически модифицированные клетки — Т-киллеры, у которых есть химерный рецептор антигена (CAR). С его помощью Т-клетки находят клетки определенного типа, чтобы их уничтожить. Приспосабливая данную методику для лечения аутоиммунных заболеваний, ученые снабдили Т-клетки белком, полученным

из кусочков аутоантитела к анти-DSG3, позволяющим киллерам обнаружить анти-DSG3-В-клетки.

Когда исследователи ввели полученные Т-клетки мышам, на которых было смоделировано заболевание обыкновенной пузырчаткой, волдыри исчезли. Пейн запустила биотехнологический стартап, чтобы довести лечение до клинических испытаний, которые проходят сейчас. Поскольку для лечения используются живые клетки, способные размножаться и помнить о своей мишени, Пейн предполагает, что однократного введения хватит на десятилетия. «Я мечтаю, чтобы это было раз и навсегда», — говорит она. — Точное уничтожение болезни».

## Болезнь, кажется, управляет жизнями Магделен Кинтеро и Исабель Эрнандес. Сейчас, чтобы контролировать симптомы волчанки, Исабель вынуждена принимать 19 препаратов

Другие исследователи используют аналогичные методы, чтобы сместить аутоиммунное равновесие, повлияв на вторую чашу весов. Вместо того чтобы мобилизовать Т-киллеров, они увеличивают сдерживающее влияние регуляторных Т-клеток для подавления гиперактивности иммунной системы. Исследования пока находятся на ранних стадиях, но уже получены многообещающие результаты на животных моделях для язвенного колита, рассеянного склероза и ревматоидного артрита.

### Помимо лекарств

Несмотря на то что в растущем арсенале средств борьбы с аутоиммунными заболеваниями основное место занимают фармакологические препараты, исследуются и альтернативные способы восстановления равновесия в организме.

Многие базовые функции нашего организма — частота сердечных сокращений, кровяное давление, пищеварение, частота дыхания и половое возбуждение — регулируются двумя противоположно направленными силами. Симпатическая нервная система запускает энергозатратную

реакцию «бей или беги», тогда как парасимпатическая ослабляет эту активность и подготавливает организм к отдыху и перевариванию пищи. Наша способность переключаться из одного состояния в другое в значительной степени зависит от блуждающего нерва — пучка из 100 тыс. нервных волокон, который идет от ствола мозга вниз к диафрагме и пускает свои отростки к сердцу, кишечнику и другим органам. Некоторые исследования показывают, что перед тем как у людей развивается аутоиммунное заболевание, этот важный элемент начинает работать с ошибками. «Это похоже на отказ тормоза у машины во время спуска с горы», — говорит Кевин Трейси (Kevin Tracey), нейрохирург из Института медицинских исследований им. Файнштейна в Манхассете, Нью-Йорк.

Трейси показал, что стимуляция блуждающего нерва слабыми электрическими разрядами может восстановить нормаль-

использование аналогичных стимуляторов блуждающего нерва для лечения эпилепсии и депрессии).

Есть еще один нетрадиционный метод исправления дисбаланса иммунной системы, не требующий применения столь сложных технологий, — трансплантация фекальной микробиоты. Идея такой трансплантации от одного человека другому возникла в древней китайской медицине, где кашичу из фекалий, так называемый желтый суп, использовали для лечения тяжелых пищевых отравлений и диареи. В наше время трансплантация фекальной микробиоты — общепризнанный способ лечения опасной кишечной инфекции *Clostridium difficile* (*C. diff.*).

Несколько лет назад гастроэнтеролог Джессика Аллегретти (Jessica Allegretti) и другие исследователи заметили, что у пациентов, имеющих проблемы с *C. diff.*, трансплантация фекальной микробиоты не только устраняла инфекцию, но и облегчала течение воспалительных заболеваний кишечника (ВЗК). Тяжелое расстройство пищеварения при ВЗК обусловлено воспалением, и некоторые ученые считают, что оно связано с аутоиммунной реакцией, хотя на этот счет нет однозначного мнения. Однако, по словам Аллегретти, которая руководит программой трансплантации фекальной микробиоты в Женской больнице Бригама в Бостоне, открытие кажется многообещающим. Кроме того, оно заслуживает внимания и по другой причине. Между здоровыми людьми и пациентами с язвенным колитом, который представляет собой подтип ВЗК и, по-видимому, вызван аутоиммунными процессами, существуют явные различия в популяциях кишечных микроорганизмов — микробиоме. Заболевание, скорее всего, связано с нарушением равновесия и преобладанием провоспалительных микробов над противовоспалительными.

В четырех рандомизированных клинических испытаниях было протестировано использование трансплантации фекальной микробиоты при язвенном колите. В целом примерно у трети пациентов наступила ремиссия, что сопоставимо с результатами применения иммуносупрессоров. Сейчас проводятся дополнительные исследования и клинические испытания фекальной трансплантации для лечения ревматоидного артрита, волчанки, рассеянного склероза и гнездовой алопеции. Таким образом, область применения этого нетипичного способа лечения может еще расшириться.

## Есть еще один нетрадиционный метод исправления дисбаланса иммунной системы — трансплантация фекальной микробиоты. Идея такой трансплантации от одного человека другому возникла в древней китайской медицине

ную работу нервной системы и фактически помогает успокоить гиперактивные иммунные клетки. Вместе с другими исследователями он проследил, как сигналы, идущие вниз по блуждающему нерву от небольшого электрического устройства, имплантированного в шею, дойдя до селезенки, тормозят выработку ФНО и других воспалительных молекул. Первые клинические испытания показывают, что небольшое воздействие на блуждающий нерв может уменьшать тяжесть ревматоидного артрита и болезни Крона, даже если воздействие осуществляется с помощью менее инвазивного устройства, которое для стимуляции ветви блуждающего нерва прижимают к коже рядом сухом. Компания, где Трейси соучредитель, недавно запустила многоцентровое рандомизированное контролируемое исследование имплантируемого стимулятора (FDA уже одобрило

### Вне мейнстрима

Трансплантация фекальной микробиоты не одобрена FDA для лечения каких-либо заболеваний, поэтому не стоит ожидать, что этот способ терапии аутоиммунных болезней появится в ближайшее время. Аллегретти считает, что тише едешь — дальше будешь. «Кажется, существует ошибочное представление, что если это "натуральное", то оно безопаснее обычных лекарств, а я считаю, что это совершенно неверно, — говорит она. — Мы только начинаем понимать долгосрочные последствия таких методов лечения, и, я думаю, они заслуживают того, чтобы их изучили должным образом, так же как мы изучаем все лекарства». В научной литературе часто встречаются сообщения о неудачных домашних попытках трансплантации фекальной микрофлоры, вроде случая мужчины с язвенным колитом, который попытался провести эту процедуру, используя фекалии своей жены и маленького сына, и попал в больницу с цитомегаловирусной инфекцией.

Тем не менее многие люди с аутоиммунными заболеваниями, разочарованные отсутствием традиционных методов лечения и разозленные на врачей, которые неспособны ни помочь, ни обнадеежить, готовы сами заняться своим здоровьем, используя как традиционные, так и нетрадиционные методы для лечения своих аутоиммунных заболеваний. Джо Персон (Joe Person), 37-летний житель Вашингтона, учился на последнем курсе колледжа, когда получил диагноз «волчанка». Для принятия решений Персон составил древовидную схему, куда внес возможные тесты, осложнения, результаты и лекарства. На первом приеме у ревматолога он потребовал, чтобы ему назначили противомаларийный препарат гидроксихлорохин, который помогает облегчить симптомы волчанки и используется для раннего лечения и профилактики заболевания. Теперь, когда прошло 15 лет, Персон считает, что те ранние меры помогли сдержать болезнь, хотя он испытывает физическую усталость и чувствует, что его мозг иногда работает слишком медленно. «Ревматологи советовали мне просто сидеть и ждать, пока будет изобретено работающее средство, — говорит Персон. — Но это противоречит моему инстинкту выживания. Я хочу немедленно сделать все возможное, хотя бы знать, что я изучил все варианты, чтобы опередить болезнь». У него наступила ремиссия, когда он стал

веганом и сыроедом, но болезнь обострилась, когда проявилась аллергия на сырые овощи. Он устроил солярий у себя в подвале, чтобы проверить теорию, что ультрафиолетовые лучи определенного диапазона могут облегчать симптомы волчанки, но пока еще не получил положительных результатов.

Некоторые ученые не против альтернативных подходов. Трейси говорит, что такие стратегии, как иглоукалывание, теоретически могут снижать стресс и воспаление, активируя соответствующие участки нервной системы, но добавляет, что в этих подходах иногда «непонятно, где причина, а где следствие». Чтобы способствовать здоровью кишечного микробиома, не прибегая к неодобренной трансплантации, Аллегретти рекомендует использовать богатые клетчаткой продукты и растительное питание. А Джудит Джеймс советует людям с аутоиммунными проблемами не курить и много спать, поскольку это помогает ослабить воспалительную реакцию, — в общем, делать все то, о чем в детстве твердила нам мама.

Что касается Магделен Кинтеро и ее сестры, то, кажется, болезнь управляет их жизнями. Сейчас, чтобы контролировать симптомы волчанки, Исабелла вынуждена принимать 19 препаратов, а Магделен пока нужно только два. Последние несколько лет она работала под руководством Джеймс в Оклахомском медицинском фонде, сначала в лаборатории, потом в клинике, помогая улучшить методы лечения этой болезни. Она помнит, как ее двоюродная бабушка, у которой тоже была волчанка, провела последние годы своей жизни в инвалидной коляске, поскольку ее кости были разрушены стероидами. «Тогда у них не было таких способов лечения, которые есть у нас», — говорит Магделен. Сейчас она пытается попасть в медицинскую школу или на программу подготовки помощников врачей, чтобы иметь возможность влиять на болезнь, которая мучила ее семью. ■

Перевод: М.С. Багоцкая

### ИЗ НАШИХ АРХИВОВ

- Зуали М. Можно ли победить волчанку? // ВМН, № 6, 2005.
- Стефаник М. Не только для мужчин // ВМН, № 11, 2017.
- Autoimmune Diseases. Noel R. Rose; February 1981.
- Autoimmune Disease. Lawrence Steinman; September 1993.



**Природный газ**, в основном метан, сжигается в факелах нефтяной скважины в Техасе

ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

# Охота на метан

Новые технологии помогут точно определять выбросы метана, но как их воспримут нефтегазовые компании и регулирующие госорганы?

*Анна Качмент*



### ОБ АВТОРЕ

**Анна Качмент** (Anna Kuchment) — пишущий редактор журнала *Scientific American*, штатный научный обозреватель *Dallas Morning News*, соавтор готовящейся к выходу в свет книги о землетрясениях, происходящих в процессе производства энергии.

## Паоло Вильчак (Paolo Wilczak) развернул свой двухместный самолет

над сеткой равнинных промышленных участков в западном Техасе. Примерно на 60 м ниже я увидела яркую оранжевую вспышку. Это был «факел» — высокая вертикальная труба рядом с коммерческой нефтяной скважиной и резервуарами для хранения нефти, изрыгающая пламя. В трубе сжигались нежелательные газы, в основном метан, которые поднялись из-под земли вместе с нефтью. «Посмотрим, выполняет ли пламя свою работу», — сказал Вильчак. Его голос был едва слышен, заглушаемый громким звуком единственного двигателя самолета.

Вильчаку 23 года, он пилот и исследователь из компании *Scientific Aviation*, базирующейся в Боулдере, штат Колорадо, которая осуществляет мониторинг качества воздуха, выполняя задания таких клиентов, как ООН, правительственные учреждения, группы, занимающиеся проблемами окружающей среды, и частные компании. Мы летели приблизительно в 48 км к северу от Одессы, города, расположенного над самым сердцем Пермского нефтегазоносного бассейна, пространства размером с Канзас, лежащего на западе Техаса и юго-востоке Нью-Мексико. Сотни миллионов лет назад этот регион был покрыт обширным мелким морем, населенным крошечными организмами, которые построили громадные рифы. Разлагающиеся останки этих существ собраны ныне в нефтеобразующих отложениях на глубине 3 тыс. м и более. Сегодня Пермский бассейн включает одно из крупнейших нефтяных месторождений в мире, где ведется самая объемная и быстрорастущая добыча в США, дающая



стране 38% нефти и 17% природного газа. После того как в конце 2015 г. был снят запрет на экспорт нефти, добыча нефти и газа здесь резко возросла. В настоящее время в Пермском бассейне насчитывается около 150 тыс. действующих скважин, а добыча нефти стала более чем в четыре раза больше, чем десять лет назад.

Пермский комплекс — один из крупнейших источников выбросов метана, мощного парникового газа, который все настойчивее признают важной причиной чрезвычайной климатической ситуации. С 2019 г.

Nick Simonite (preceding pages and this page)



**На западе Техаса**  
и юго-востоке Нью-Мексико  
находятся огромные залежи  
нефти и газа, вскрытые  
на десятках тысяч участков  
(квадраты на земле)

самолеты *Scientific Aviation* пользовались большим спросом, поскольку ученые пытались контролировать количество парниковых газов, утекающих из нефтехранилищ, с перерабатывающих заводов и других объектов инфраструктуры Пермского бассейна.

Вильчак пустил самолет вниз по крутой спирали к факельной установке. Под нами до самого горизонта протянулась, как на монтажной схеме, сеть прямых грунтовых дорог и плоских квадратов голой земли. Нефтекачалки в этих квадратах ходили вверх-вниз, высасывая нефть из недр

земли. Пока мы петляли вокруг столба воздуха над факелом, трубки, установленные под правым крылом, втягивали воздух в спектрометр, закрепленный за нашими сиденьями. Проанализированные автоматически пробы воздуха отображались зелеными, красными и синими линиями графиков на экране ноутбука перед нами. Зеленая линия, обозначающая углекислый газ, взлетела, а синяя линия метана осталась низкой. Факел горел чисто, превращая метан в менее мощный, но все еще проблематичный диоксид углерода.

Многие операторы часто сжигают газ в факелах, поскольку их интересует только нефть. Когда факелы работают должным образом, метан превращается в углекислый газ и водяной пар, при этом уменьшается количество выбрасываемых в атмосферу летучих органических соединений, которые образуют смог и повышают риски респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний. Но факелы могут работать неправильно, трубы — давать течь, а операторы — выпускать метан не сжигая, чтобы сбросить давление и предотвратить взрывы. Крупные выбросы происходят также из-за регулирующих газ устройств, которые открывают и закрывают клапаны на устьях скважин, резервуарах и другом оборудовании.

В сентябре прошлого года Вильчак зафиксировал столь большую утечку газа, что не выдержал спектрометр. «Она была намного выше всего, что я когда-либо наблюдал за более чем 1 тыс. часов измерений», — объяснил он мне позже. Двигатель на компрессорной станции вышел из строя, в результате выбросы превысили 12 тыс. кг метана в час, что эквивалентно вкладу в глобальное потепление от эксплуатации 65 автомобилей в течение года. Вильчак удостоверился, что оператор был уведомлен, и на следующий день при обследовании местности выяснил, что утечка была устранена.

**Пермский бассейн** на территории США сотни миллионов лет назад был мелким морем с множеством рифов



Старение инфраструктуры тоже осложняет положение. Первый бум на пермских разработках пришелся на начало 1920-х гг., когда небольшая группа инвесторов сделала огромную ставку на нефтяную скважину под названием Санта-Рита № 1. И когда нефть забила там мощным фонтаном, разразилась лихорадка, которая помогла построить легендарную отрасль добычи ископаемого топлива в Техасе. Многим скважинам насчитывается уже несколько десятилетий, они намного старше, чем скважины на аналогичных месторождениях или таких нефтегазовых промыслах, как Баккен в Северной Дакоте и Игл-Форд в Техасе, где инфраструктура значительно надежнее, по словам Артема Абрамова, руководителя отдела исследований сланцев в консалтинговой компании *Rystad Energy*. Сотни тысяч скважин и участков трубопроводов просто заброшены, детали их герметизации и крепежа загнивают и пропускают метан, поднимающийся из-под земли.

С 2010 г. ученые, представители энергетических компаний и другие эксперты, многих из которых объединил Фонд защиты окружающей среды (*EDF*), работали над пониманием влияния новых методов добычи, таких как современный гидравлический разрыв пласта, или гидроразрыв, и горизонтально направленное бурение, на эмиссию метана. Основное препятствие выполнению этого проекта заключалось в сложности поиска отдельных источников выбросов. Метан не имеет ни цвета, ни запаха, его нельзя увидеть невооруженным глазом. Прежде чем кто-либо сможет устранить утечку, нужно ее найти.

Недавно Пермский бассейн превратился в лабораторию, где ученые экспериментируют с новыми способами определения выбросов. В значительной степени к этим работам подтолкнули новое Управление по охране окружающей среды (*EPA*) и государственные постановления, принятые начиная с 2015 г., которые предъявляют нефтегазовым компаниям более жесткие требования к выбросам в атмосферу и мониторингу. Исследователи используют самолеты, запускают дроны, управляют спутниками и устанавливают сложные наземные сети обнаружения. На ближайшее время запланированы запуски новых спутников, которые будут отслеживать метан в глобальном и локальном масштабах, при этом все данные будут общедоступными.

Надо отметить, что существует большой разрыв между измерениями и контролем над объектом. Новые технологии должны быть подкреплены более строгими нормами и правилами, а также сотрудничеством со стороны могущественной нефтегазовой промышленности, которая предпочитает самоуправление. ExxonMobil, BP и несколько других гигантов взяли на себя обязательство сократить выбросы на своих разработках в Пермском бассейне в течение следующих двух десятилетий, но не все компании дают такие обещания, к тому же последние в любом случае не имеют обязательной силы. Опрос, проведенный в декабре 2020 г. Федеральным резервным банком Далласа, показал, что только около трети компаний, работающих в Пермском бассейне, имеют планы по сокращению выбросов или сжиганию газа в факелах. Именно поэтому такие люди, как Роберт Хауарт (Robert Howarth), биогеохимик и эколог из Корнеллского университета, утверждают, что измерение выбросов метана, имеющих конкретные источники, и обнаружение этой информации могут быть оптимальным способом привлечения к ответственности тех, кто загрязняет среду.

### Край утечек

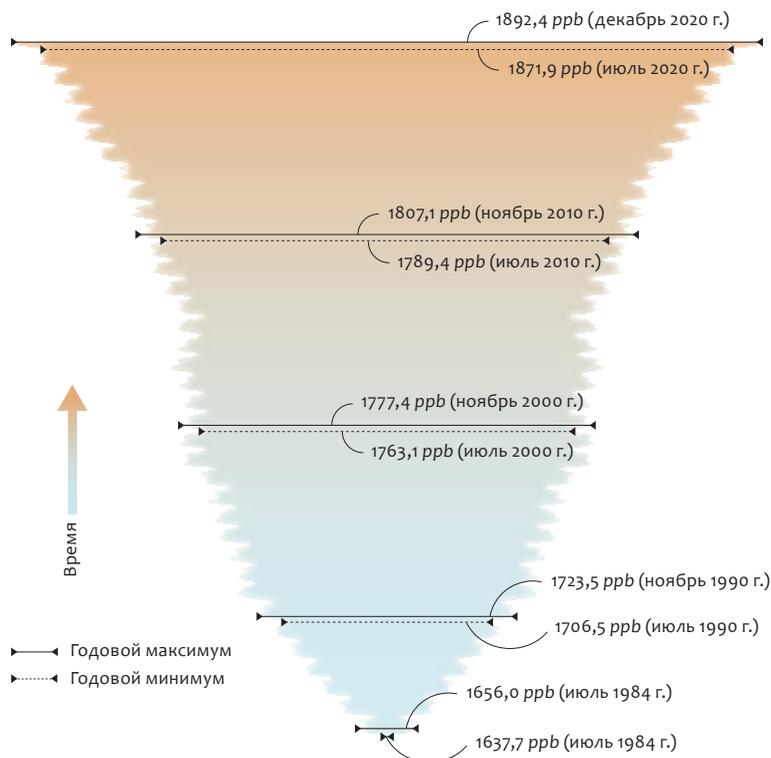
Метан поступает из огромного множества природных и антропогенных источников. К ним относятся, в частности, заболоченные земли, мелкие озера и реки, животноводческие хозяйства, мусорные свалки, сельскохозяйственные комплексы, очистные сооружения. Дэниел Джейкоб (Daniel Jacob), профессор Гарвардского университета, специалист по химии атмосферных процессов, дает предварительную оценку, утверждая, что антропогенные источники метана в равной степени поделены между нефтегазовыми сооружениями, угольными предприятиями, свалками, животноводческими и сельскохозяйственными хозяйствами.

Контролировать выбросы, исходящие от ферм, намного труднее, чем утечки из прохудившихся нефтяных скважин.

## Содержание метана в атмосфере продолжает расти

Сегодня содержание метана в атмосфере более чем в 2,5 раза выше, чем до промышленной революции. Количество (или концентрация) резко поднималось с 1984 г. примерно до 2000 г., немного увеличилось с 2000 по 2007 г., затем быстро выросло с 2007 по 2020 г. Каждый год уровень проходит цикл, самое низкое значение отмечается в течение лета Северного полушария, а самое высокое — в конце осени (зубчатые края графика).

Среднее содержание метана в атмосфере Земли в разное время в частях на миллиард (ppb)



Если сопоставить этот факт с быстрым ростом отраслей, связанных с ископаемым топливом, становится ясно, почему они становятся главными мишенями при установлении контроля над выбросами парниковых газов. Хауарт говорит, что доля нефти и газа в загрязнении, вероятно, самая большая и быстрорастущая: рост содержания метана после 2006 г. совпадает со всплеском применения гидроразрыва пласта в США.

Метан составляет лишь около 10% выбросов парниковых газов в Соединенных Штатах, но за десятилетний период он показал себя намного эффективнее углекислого газа в улавливании тепла. Уровень содержания метана в атмосфере неуклонно рос с 2007 г. В апреле этого года Национальное управление океанических



**Нефтекачалки**, приводимые в действие электродвигателем или двигателем внутреннего сгорания, обычно делают кивки вверх и вниз около 20 раз в минуту, вынимая от одного (3,79 л) до десяти (38 л) галлонов жидкости за каждый ход

и атмосферных исследований (NOAA) сообщило, что годовое увеличение концентрации метана за 2020 г. было рекордно высоким: 14,7 частей на миллиард, несмотря на экономический спад, вызванный пандемией COVID-19.

Остановить эмиссию метана на нефтяных промыслах после выявления ее местоположения не так уж трудно. Джейкоб и другие эксперты говорят, что сама процедура устранения недорога и даже может приносить прибыль: компании могли бы продавать метан вместо того, чтобы сжигать его или допускать утечки. А выгода от уменьшения загрязнения огромна и быстродостижима. «Если мы сократим выбросы метана, то почти сразу замедлим темпы глобального потепления», — поясняет

Хауарт. В отчете ООН, опубликованном в мае этого года, делается вывод о том, что сокращение антропогенных выбросов метана на 45% к 2030 г. поможет удержать потепление в пределах 1,5° C в этом столетии, то есть достичь цели, указанной в Парижском соглашении по климату. Такое сокращение могло бы ограничить воздействие смертоносных всплесков жары, засух, наводнений и передающихся комарами болезней, спасая в будущем тысячи жизней.

Если выбросы метана при нефтедобыче — низко висящие плоды, то Пермский бассейн — плодородный сад. Исследование 2020 г., проведенное учеными из Гарварда в апреле, показало, что на этом месторождении выделяется достаточно метана, чтобы обеспечить энергией 7 млн домов.

В работе было сделано заключение, что скорость утечки метана в Пермском бассейне примерно на 60% выше, чем в среднем по стране на местах добычи нефти и газа. По разным оценкам, каждый десятый факел возмещает о неисправностях добычи из пермских пород. А недавнее исследование *EDF* показало, что КПД факелов, сжигающих нефть пермского периода, в среднем составляет всего около 93%. Даже этот, казалось бы, небольшой изъян оказывает большое влияние на климат, как утверждает ученый из *EDF* Дэвид Лайон (David Lyon).

Согласно исследованию, опубликованному в журнале *Environmental Science & Technology Letters* в июне 2021 г., выбросы в Пермском бассейне в среднем намного больше, чем в других районах. Пермская система «качественно отличается от других крупных районов с выбросами метана, которые мы исследовали в США», — говорит Райли Дюрен (Riley Duren), соавтор исследования, научный сотрудник Аризонского университета и Лаборатории реактивного движения *NASA*. Скорость роста — важный фактор: на пике добычи в 2019 г. компании пробуривали 600 новых скважин в месяц. «В этой логистической цепочке еще много болевых точек», — отмечает Дюрен.

Почти в каждом компоненте этой цепи могут произойти потери метана. После бурения скважины и проведения гидроразрыва поднимающиеся жидкости и газы проходят через сепаратор, разделяющий нефть, газ и воду. Нефть поступает в хранилище, ожидая дальнейшей перевозки или отправки в трубопровод. Вода попадает в другие резервуары или трубопроводы для утилизации. Газ либо сжигается на кустовой площадке, либо идет по трубопроводу в сеть сборочных и компрессорных станций и нефтехимических заводов, где из него получают природный газ, которым отапливают дома, а также бутан, этан и пропан.

Рядом с хранилищами и скважинами можно обнаружить небольшие факелы; крупные находятся на нефтехимических установках, как рассказывает химик-технолог Дэвид Аллен (David Allen), директор Центра энергетики и природных ресурсов Техасского университета в Остине. Приборы и клапаны регулирования и контроля потоков газа можно найти почти на каждом отрезке оборудования сложной инфраструктуры. «Каждый регулятор выпускает относительно небольшое количество метана, — говорит Аллен. — Но их сотни тысяч».

### Точность определения

Ввиду непомерно большого набора потенциальных пунктов утечки метана ученые, группы защитников окружающей среды и некоторые крупные компании, работающие с ископаемым топливом, настаивают на еще более тщательном надзоре за разработками в Пермском бассейне. До сих пор такие ведущие аэрофотосъемку авиаконпании, как *Scientific Aviation*, могли отслеживать выбросы только в плане общего обзора, а не конкретных технических средств, если это только очевидным образом не касалось изолированной факельной установки, подобной той, которую видела я. «Мы можем начертить круг радиусом в один километр и с определенностью заявить, что там что-то происходит, — объясняет Маккензи Смит (Mackenzie Smith), старший научный сотрудник *Scientific Aviation*. — Но в Пермском бассейне все установлено настолько плотно, что в таком круге может быть 20 проблемных участков».

В связи с повсеместным применением компактных устройств монитеры с высоким разрешением приобретают особую важность. Во время недавней демонстрации в *Zoom* Дюрен показал мне видео Пермского бассейна, снятого на высоте примерно 5,2 тыс. м с самолетов, оснащенных сконструированными *NASA* видеоспектрометрами, которые обнаруживают метан и другие газы при их взаимодействии со светом. Появился пейзаж, похожий на монтажную схему, ярко-красные шлейфы поверх него обозначили места, где просачивался метан. «Как будто везде видны лесные пожары», — прокомментировал ученый.

Используемое разрешение (примерно 3–8 м) намного лучше, чем у большинства современных спутников и низколетающих самолетов. Но даже такой точности недостаточно, чтобы выделить точечные источники. «Может быть, трудно определить основную причину, не имея дополнительных данных с большим разрешением», — поясняет Дюрен. Кроме того, постоянно добавляются элементы инфраструктуры, из-за чего изображения могут устареть, даже если они были сделаны несколько месяцев назад. На некоторых самолетах теперь установлены камеры с высоким разрешением, которые отображают оборудование, когда спектрометры обнаруживают газ.

Еще одна проблема заключается в том, что многие источники непостоянны и непредсказуемы. По словам Дюрена, половина источников выбросов активны только

четвертую часть времени. Фонд защиты окружающей среды, спонсировавший исследования Джейкоба, Аллена и других, также обнаружил некоторое количество суперэммиттеров, выделяющих значительное количество газа. Чтобы быть эффективным, мониторинг метана действительно должен проводиться непрерывно, ежедневно, захватывая большие площади.

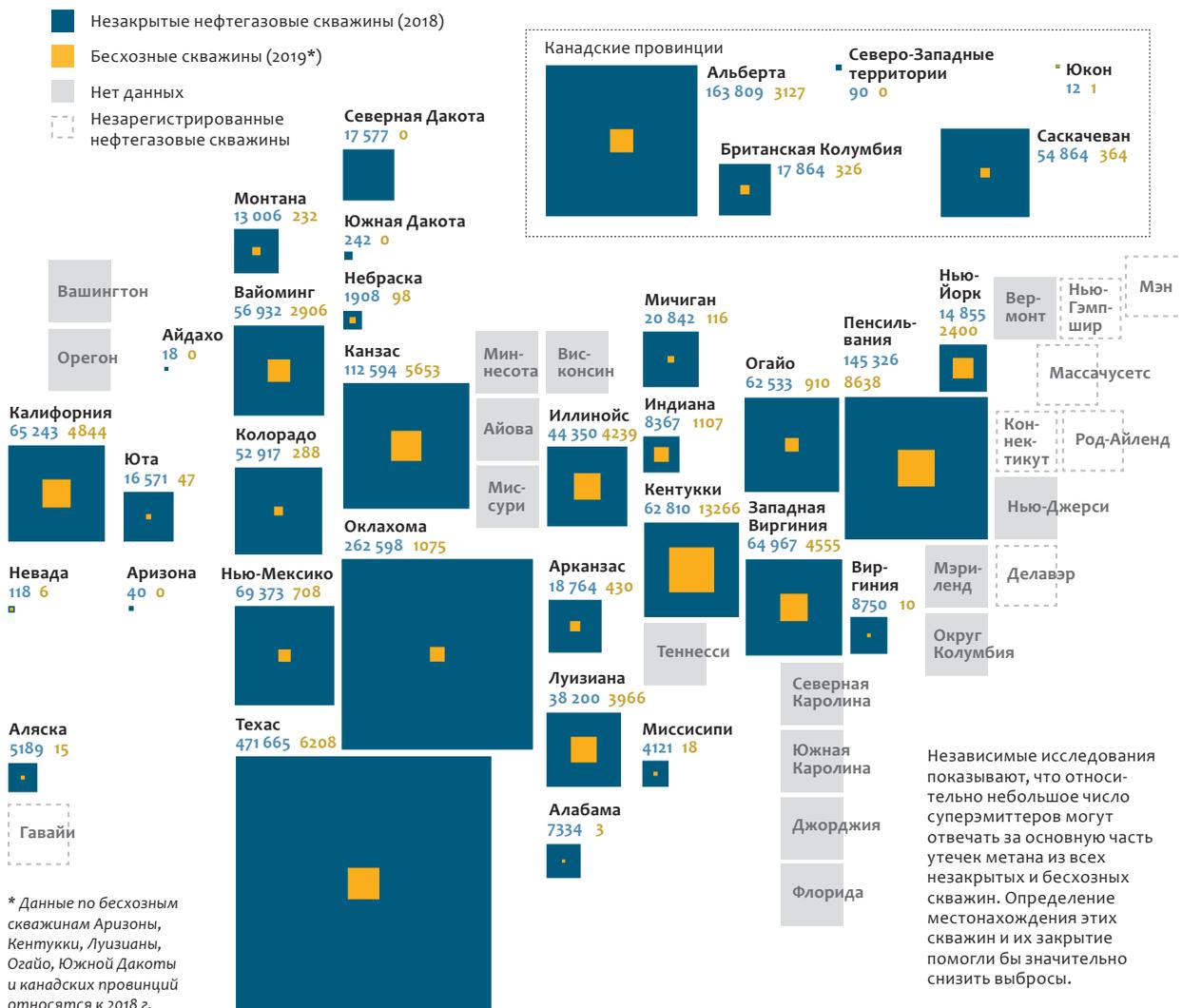
Вот тут и пригодятся спутники. Сегодня они могут улавливать выбросы только

на обширных площадях. Например, в 2018–2019 гг. Джейкоб использовал спутник Европейского космического агентства TROPOMI, чтобы провести одни из лучших крупномасштабных измерений утечек в Пермском бассейне. Но разрешение TROPOMI составляет всего около 5,5 × 7 км, а это участок, на котором могут быть размещены десятки буровых площадок.

Вскоре ученые начнут применять датчики нового поколения, которые смогут

## Скрытые виновники: старые и заброшенные скважины

Когда добывающие компании выкачивают большую часть нефти или газа из скважины, они уходят. Предполагается, что они закупорят старую скважину и восстановят землю, но многие далеки от этого. А поскольку скважины бурят более века, существует множество незакрытых и бесхозных скважин, владельцев которых давно уже нет на свете. Различные исследования показывают, что изо всех их устьев в атмосферу утекает серьезное количество метана. В отчете Международной координирующей комиссии по нефти и газу указано, что в США имеется более 1,6 млн незакрытых скважин и более 56 тыс. бесхозных (цифры ниже). В нем также говорится, что в стране могут быть еще сотни тысяч неучтенных в документах бесхозных скважин. Только в 2018 г. по всей стране было закрыто 2377 скважин.



Sources: "Oil and Orphan Oil and Gas Wells: State and Provincial Regulatory Strategies," Interstate Oil and Gas Compact Commission, 2019 (oig-ccc.org) and 2020 (oig-ccc.org); "Areas of Economic Interest and Gas Exploration and Production in the United States," by Laura R. Blewick, U.S. Geological Survey (Primary Historical reference), Graph by Pitch Interactive

определять отдельные производственные площадки. Партнерство *Carbon Mapper*, совместный проект NASA, спутниковой компании *Planet*, Аризонского университета, Университета штата Аризона, штата Калифорния и других, запустит два спутника в 2023 г. Еще несколько будут введены в эксплуатацию в 2025 г. и далее, до тех пор пока космос не будет бороздить по меньшей мере 18 летательных аппаратов *Carbon Mapper*. В итоге это созвездие будет обеспечивать ежедневный отбор проб из 80% самых известных в мире мест выбросов метана и  $CO_2$ , которые занимают 7–10% площади заселенных районов мира.

Каждый пиксель снимка будет изображать квадрат со стороной 30 м. Консорциум будет предоставлять открытые данные в интернете, чтобы органы регулирования и контроля, компании, группы защитников окружающей среды и широкая общественность могли осуществлять поиск и следить за распространением выбросов. NASA и *Planet* добывают комплектующие детали, а сборка и испытания начнутся в следующем году. Тем временем консорциум продолжает проводить аэрофото съемку.

EDF также планирует запустить собственный спутник *MethaneSAT* в 2023 г. при частичной поддержке в \$100 млн от Фонда Земли Джеффа Безоса, основателя компании *Amazon*. Оборудование, которое сейчас находится в производстве, позволит точно определять объем выбросов по регионам мира. EDF разместит данные в общем доступе в интернете.

Когда будут работать обе группы спутников, они дополняют друг друга. «Представьте, что вы смотрите вниз из космоса и снимаете Пермский бассейн двумя камерами: камерой со средне- и широкоугольным объективом и камерой с телеобъективом», — говорит Дюрен.

Некоторые нефтегазовые компании самостоятельно проводят испытания новых технологий. Компания *TRP Energy* из Хьюстона экспериментирует с самолетами, дронами и наземными датчиками в проведении мониторинга своих выбросов. Соучредитель Рэнди Долан (Randy Dolan) говорит, что предотвращение и устранение утечек — приоритетная задача, поскольку «при сокращении интенсивного использования метана природный газ остается наиболее привлекательным топливом в переходный период глобального энергетического преобразования».

В последние годы защитники окружающей среды подвергли сомнению точку зрения, что природный газ оказывает лишь умеренное воздействие на климат. Мероприятия по очистке также могли бы послужить ответом инвесторам, которые требуют, чтобы компании уделяли особое внимание зеленой энергетике. В мае 2021 г. акционеры *ExxonMobil* избрали трех членов совета директоров, которые пообещали вывести компанию из нефтегазовой отрасли.

Долан полагает, что компании в конце концов будут использовать свои собственные комплексные технологии, чтобы координировать утечки. Базирующаяся в Далласе компания *Pioneer Natural Resources* ежегодно проводит облет своих крупнейших разработок в Пермском бассейне, и если на спектрометрах высокие показатели, то компания отправляет команду наземного обслуживания со специальными камерами для выявления проблемных участков.

*ExxonMobil*, *Pioneer*, *Chevron* и другие работают с Алленом над тестированием наземной системы непрерывного мониторинга *Project Astra*. Как объясняет Аллен, цель состоит в том, чтобы «найти суперэмиттеров, причем быстро, а затем быстро устранить». Этой осенью группа установит примерно 50–100 наземных датчиков на площади до 50 км<sup>2</sup> Пермского бассейна, где находится около 100 нефтегазовых участков. Основное внимание уделяется установкам без обслуживающего персонала, таким как кустовые площадки, где случаются непреднамеренные выбросы. Аллен объясняет, что на нефтехимических заводах есть сотрудники, которые могут выявить подобные неисправности, но «на буровой площадке человека можно увидеть нечасто».

Типичный датчик будет небольшим, на солнечных батареях, прикреплен к штанге и будет должен отправлять измерения в реальном времени по сотовой сети. Каждый день операторы будут следить, работает ли объект соответствующим образом, или неисправен, или там аномально выделяется метан. Исследователи протестируют несколько типов датчиков, в том числе недорогой металлооксидный, разработанный компанией *Scientific Aviation*, которая также проводит испытания своей собственной системы непрерывного мониторинга *Project Falcon*. «Мы переживаем, удастся ли нашей технологии успешно внедриться», — говорит Марк Берг (Mark Berg), исполнительный вице-президент

по корпоративной работе *Pioneer Natural Resources*. По его словам, «она будет эффективнее и рентабельнее», чем аэрофотосъемка и данные частных спутников, которые сейчас используют некоторые компании.

### Как важно быть честным

Доведут ли компании дело до конца, еще предстоит выяснить. К тому же не все компании, работающие с ископаемым топливом, заинтересованы в сокращении выбросов. Небольшие фирмы, у которых всего несколько скважин, возможно, не имеют на это средств. Старший организатор экологической группы *Earthworks* 60-летняя Шэрон Уилсон (Sharon Wilson) не понаслышке знает об этих превратностях. Каждые несколько месяцев, погрузив съемочную аппаратуру в арендованный внедорожник, она шесть часов добирается из дома в Далласе до Пермского бассейна. Она много лет работала, чтобы показать, что выбросов больше, чем о том свидетельствуют официальные государственные измерения.

В марте прошлого года я присоединился к Уилсон и двум ее коллегам и несколько дней проводил полевые изыскания примерно в 120 км к юго-западу от Одессы, возле Пекоса, штат Техас, — города, где, как утверждают, состоялось первое в мире родео. «Вы чувствуете этот запах?» — спросила Уилсон в наш первый вечер, ведя свой белый автомобиль по пыльной грунтовой дороге. В сумерках мы медленно проезжали вдоль нефтегазовых установок, расположенных недалеко от нашего отеля. Ветер принес сильный сернистый запах, от которого у нас сразу заслезилась глаза. Метан не имеет запаха, но его выходы часто сопровождаются удушливыми соединениями, например сероводородом.

Уилсон схватила видеокамеру с визуализацией газа, которая выглядит как записывающая видеокамера, выскочила из машины и нацелилась на факел приблизительно в 200 м от нее. На таком расстоянии труба напоминала огромную спичку, стоящую вертикально, с оранжевым пламенем вверху. Факел ревел и свистел с мощью летящего низко «Боинга 747». Вглядываясь через камеру, которая записывает в инфракрасном диапазоне волн, невидимом людям, Уилсон оценила, что факел горел чисто и находящиеся поблизости нефтяные резервуары не протекали. Мы вернулись во внедорожник и осторожно двинулись по пустой дороге, а Уилсон держала камеру наготове в поисках виновника зловония. Вскоре

она заметила трубу, которая показалась нам неосвещенной, но камера отобразила призрачное облако, струящееся в воздухе с верхушки: выбросы, которых там быть не должно.

Мы вернулись на следующий день. Труба снова выглядела неактивной, но камера зафиксировала облака колеблющегося газа. Уилсон отметила это на цифровой карте.

Уилсон выискивает и определяет участки, на которых регулярно выделяется большое количество метана, и сообщает о них компаниям, часто документально подтверждая видеозаписями. Она отправляет свои заключения в Техасскую комиссию по качеству окружающей среды, которая следит за чистотой воздуха, которым дышат техасцы, и в Комиссию железных дорог Техаса, созданную в 1891 г. для управления железными дорогами, которая сегодня контролирует нефтяную, газовую и горнодобывающую отрасли промышленности. По словам Уилсон, кустовые площадки множатся так быстро, что регулирующие госорганы не успевают уследить за ними. Иногда, когда она звонит, их сотрудники не могут отыскать нужное место в своих материалах. «Вот в чем проблема, — поясняет она. — Они не знают, что происходит. Они не могут даже начать упорядочивать этот беспредел». Ей часто приходится подавать разные жалобы и уведомлять местные информационные агентства, прежде чем компании примут меры.

Операторы всегда недовольны встречами с ней. Однажды днем я была за рулем и мы свернули с дороги, чтобы Уилсон смогла снять отдельные резервуары для хранения нефти. Мужчина в малиновом пикапе подъехал к нам сзади, выскочил из кабины и начал дико размахивать руками, показывая, чтобы мы уезжали. «Убирайтесь отсюда, *Earthworks!*» — выпалил он, подходя к окну Уилсон и закрывая рукой объектив ее камеры. «Вы ведете себя очень повзрослому», — ответила Уилсон, взяла свой *iPhone* и начала запись. «Что вы пытаетесь скрыть?» — спросила она. Мужчина, лет 20, голубоглазый и бородатый, отступил, но предупредил, что она находится в частных владениях. Уилсон напомнила, что мы припарковались на общественной дороге Техаса и что она жительница штата. «Техасцы верят в нефть и газ», — буркнул мужчина, забрался обратно в свой грузовик и уехал.

Несмотря на свою работу, Уилсон оставила надежду на то, что нефтегазовая

промышленность будет работать чисто. По ее мнению, развивающиеся методы мониторинга — пустая трата средств, которая только задержит переход в мире на возобновляемые источники энергии. По ее словам, к моменту запуска новых спутников эмиссия метана будет еще больше. Уилсон считает, что гидроразрыв, новые разрешения на бурение и разные разработки ископаемого топлива должны быть полностью прекращены. Она говорит, что президент Джо Байден должен объявить изменение климата национальной чрезвычайной ситуацией, тогда он сможет использовать расширенные полномочия для восстановления запрета на экспорт сырой нефти, наложенного в 1975 г. после первого нефтяного кризиса в США. «Отмена запрета в 2015 г. спровоцировала настоящий гидроразрывной бум в Пермском бассейне», — объясняет она.

### Усиление контроля

Новые методы мониторинга и данные, которые будут получены в результате, возможно, подвигнут компании и органы регулирования и надзора к действию. Например, *ExxonMobil* и *Chevron* задумали вдвое сократить выбросы к 2025 г. и 2028 г. соответственно и прекратить использование факелов к 2030 г. Однако анализ, недавно проведенный двумя некоммерческими организациями, занимающимися устойчивой энергетикой, *Ceres* и *Clean Air Task Force*, показал удивительную закономерность: некоторые крупные нефтегазовые компании продают свои наиболее сильно загрязняющие технические средства более мелким и менее известным фирмам, которые продолжают их эксплуатацию. Эти две организации установили, что на 195 самых мелких производителей приходится 22% выбросов в США и только 9% продукции.

В ноябре прошлого года Комиссия железных дорог Техаса начала требовать от операторов предоставления более подробного обоснования сжигания газа в факелах или сброса газа. Во время пандемии комиссия запустила собственную программу беспилотных летательных аппаратов для отслеживания неконтролируемых выбросов из скважин, а также других чрезвычайных ситуаций.

В Нью-Мексико, где расположена изрядная часть Пермского бассейна, в мае 2021 г. были выпущены новые правила, требующие от нефтегазовых компаний улавливать 98% выбросов природного газа и запрещающие (за исключением чрезвычайных ситуаций)

выпускать газ или сжигать его в факелах. Однако неясно, достаточно ли у штата инспекторов, чтобы следить за нарушителями.

Федеральные правила постоянно меняются. При президенте Бараке Обаме *EPA* приняло постановление, обязывающее нефтегазовых операторов дважды в год выполнять выявление утечек и ремонт оборудования, установленного после 2015 г. Президент Дональд Трамп отменил эти распоряжения по окончании своего срока, однако в конце июня Джо Байден подписал законопроект конгресса, восстановивший их. Политические наблюдатели считают, что администрация Байдена может распространить эти правила также и на устаревшее оборудование.

Ученые надеются, что спутники и открытые данные не только помогут очистить окружающую среду в районе Пермского бассейна, но и покажут остальному миру, как лучше содержать инфраструктуру добычи и использования ископаемого топлива. Выбросы метана — проблема, которая требует решения всем миром. Например, в 2020 г. спутники ЕКА обнаружили обширные шлейфы метана, исходящие от российского газопровода «Ямал — Европа», снабжающего европейских потребителей сибирским газом. Технические средства *Carbon Mapper* и *MethaneSAT* в конечном итоге обеспечат регулярные измерения выбросов парниковых газов на основных месторождениях по всему миру.

Хауарт говорит, что большая проблема с нормативными документами времен президентства Обамы заключалась в отсутствии встроенного механизма осуществления контроля. Правительство предоставило компаниям право сообщать самим, сколько факелов они зажигают и сбросов делают. В наши дни уже скоро «любой, у кого есть [спутниковая] информация, сможет определить, точен ли самоотчет отрасли. Я думаю, что это сильно поменяет правила игры, — объясняет ученый. — Когда компания X заявляет, что никогда не допускает выбросов газа, вы можете ответить: "Неправда, вот спутниковые данные". Будем надеяться, что это возымеет действие».

**Перевод: В.И. Сидорова**

### ИЗ НАШИХ АРХИВОВ

■ Кастинг Д. Когда погоду делал метан // ВМН, № 9, 2004.



Для спасения пум Санта-Моники потребуется сооружение надземного перехода, который соединит их колонию с более крупными популяциями пум, обитающими к северу от Лос-Анджелеса (например, с группой пум, населяющих горы Санта-Сузана, где обитает и этот зверь)

ОХРАНА ПРИРОДЫ

# ПУМЫ ЛОС- АНДЖЕ- ЛЕСА

Уровень инбридинга в популяции пум  
Санта-Моники стал настолько высоким, что  
у зверей начинают возникать генетические  
дефекты. Животных, возможно, спасет сооружение  
крупнейшего в мире экодука над автострадой

*Крейг Питтман*

## ОБ АВТОРЕ

**Крейг Питтман** (Craig Pittman) — писатель-эколог, живущий во Флориде. Автор книги «Сага о кошках: небывалая жаркая битва за спасение флоридских пум» (*Cat Tale: The Wild, Weird Battle to Save the Florida Panther*, 2020).



**Б**иолог Джефф Сикич (Jeff Sikich) работает в Национальной зоне отдыха в горах Санта-Моника с 2002 г. и за это время не раз сталкивался с самыми необычными вещами. Как-то раз, например, его попросили срочно принести ружье с транквилизатором, чтобы усыпить разъяренного хищника, который на поверку оказался трехфутовой каменной статуей пумы. Но то, что ученый однажды увидел мартовским днем 2020 г., показалось ему не только по-настоящему странным, но и зловещим. Хотя особого удивления он при этом не испытал. «В глубине души я всегда чувствовал, что это может случиться в любой момент, — говорит Сикич. — Хотя и надеялся, что все как-нибудь обойдется».

В тот день Сикич установил клетку-ловушку, внутри которой лежал погибший на дороге олень, в надежде поймать молодого самца пумы. Когда зверь попался, ученый усыпил его с помощью дротика с транквилизатором. Внимательнее присмотревшись к животному, Сикич понял, что «с его хвостом было что-то странное»: у самого конца он изгибался почти под прямым углом в сторону. Кроме того, у пойманного молодого самца был только один семенник (яичко); второй семенник, по-видимому, не опустился в мошонку. Сикич надел на шею зверя радиоошейник для последующего отслеживания его перемещений и присвоил ему номер *P-81*: эта кошка оказалась 81-й пумой, пойманной и снабженной ошейником в горах Санта-Моника.

Зверь *P-81* оказался далеко не единственной пумой с подобными генетическими дефектами. Уже после его поимки, когда Сикич проводил рутинный просмотр видеозаписей, сделанных несколькими камерами, он обнаружил еще двух кошек с причудливо изогнутыми («ломаными») хвостами. Судить о состоянии их семенников ученый не мог, но для того чтобы понять, что с популяцией творится что-то неладное, ему вполне хватило одного только залома хвоста. Это очень

тревожный признак — особенно когда речь идет о небольшой колонии таких крупных представителей семейства кошачьих, как пумы (*Puma concolor*).

В последний раз ученые сталкивались с подобными генетическими дефектами у пум более 30 лет назад. Тогда они были выявлены у другого — флоридского — подвида пумы, обитающего на противоположном конце страны. Несмотря на значительный разрыв во времени и пространстве, калифорнийские пумы обнаружили несколько точно таких же дефектов, что и их флоридские сородичи, — дефектов, которые, по мнению зоологов, могут обречь этих зверей на вымирание. «Безусловно, это очень тревожный знак, — говорит Стивен О'Брайен (Stephen O'Brien), генетический эпидемиолог из Юго-Восточного университета *Nova* во Флориде, сотрудничавший с флоридскими властями при спасения этих кошек. — И воспринимать его нужно как сигнал к действию».

Спасение флоридских пум потребовало невероятных усилий со стороны людей. Спасение пум Санта-Моники, скорее всего, тоже потребует от людей больших трудов, но совсем иного рода. И неоценимую помощь в этом им может оказать кошка, живущая

на Голливудских холмах рядом с громадными белыми буквами — фирменным знаком Голливуда.

**Еще в XVIII в. пумы**, которых иногда называют также кугуарами и горными львами, водились почти по всей территории Северной и Южной Америки. Сегодня они сохранились лишь в некоторых областях, но тем не менее ареал этого зверя по-прежнему простирается от Канады до Аргентины. Пумы, обитающие в разных частях своего ареала, внешним обликом и генетически слегка отличаются друг от друга, но все они — молчаливые, проворные и выносливые охотники с гибким удлинненным телом. У самцов его длина от мочки носа до кончика длинного тяжелого хвоста составляет 180–240 см, у самок — 150–210 см. На спринтерских дистанциях эти кошки способны развивать скорость 80 км в час. Как и почти все другие кошачьи, пумы — охотники-одиночки. Днем они спят, а с наступлением сумерек выходят на поиск жертв. В природе срок жизни этих зверей составляет 10–15 лет, если, конечно, прежде они не погибнут под колесами автомобиля или от зубов более сильного сородича.

В первые недели жизни малыши пум — очаровательные пушистые шарики из мягкого пятнистого меха. Взрослая же пума — воплощение кровожадного хищника. Ее тело, оснащенное гибким, но прочным скелетом и мощными массивными мышцами, идеально приспособлено для охоты. Задние ноги у пум длиннее, чем у других больших кошек, что позволяет им совершать поистине гигантские прыжки — до 5 м в высоту и до 12 м в длину. Благодаря такой фантастической прыгучести пумы способны буквально обрушиваться на добычу с воздуха. Длинный тяжелый хвост помогает пуме сохранять равновесие во время прыжков. Если преследуемое животное пытается убежать, массивные, шириной 12–13 см лапы позволяют хищнику совершать крутые виражи, что, безусловно, дает ему огромные преимущества во время гонки. Готовясь схватить жертву, пума выпускает из подушечек сильные острые когти. Поймав животное, она смыкает на его горле мощные верхнюю и нижнюю челюсти, вооруженные соответственно 16 и 14 крепкими зубами.

Пумы играют ключевую роль в поддержании здорового функционирования экосистем. Прежде всего, они контролируют численность популяций своих жертв. Во-вторых, пумы редко съедают добычу за один присест, предпочитая наесться досыта



*Пума Р-81 Санта-Моники — обладательница залома хвоста и некоторых других генетических дефектов, связанных с инбридингом*

и припрятывать останки убитого животного «на потом» в укромном месте; эти останки могут служить пищей более чем 200 видов птиц и зверей. А то, что остается от трапезы этих животных, доедают насекомые и прочие мелкие организмы, многие из которых проводят на них всю жизнь. Эта мелкая живность разлагает органику, возвращая в почву питательные вещества.

Но нормальное функционирование столь сложной биосистемы возможно только в том случае, если пумы будут обеспечены достаточным жизненным пространством. Площадь индивидуальных участков самцов пум составляет примерно 400 км<sup>2</sup>, а самок — около 170 км<sup>2</sup>. Именно здесь и кроется сегодня главная проблема пум горного хребта Санта-Моника.

Граничащая с широко раскинувшимся Лос-Анджелесом, Национальная зона отдыха в горах Санта-Моника занимает площадь около 60 тыс. га и считается крупнейшим городским национальным парком США.

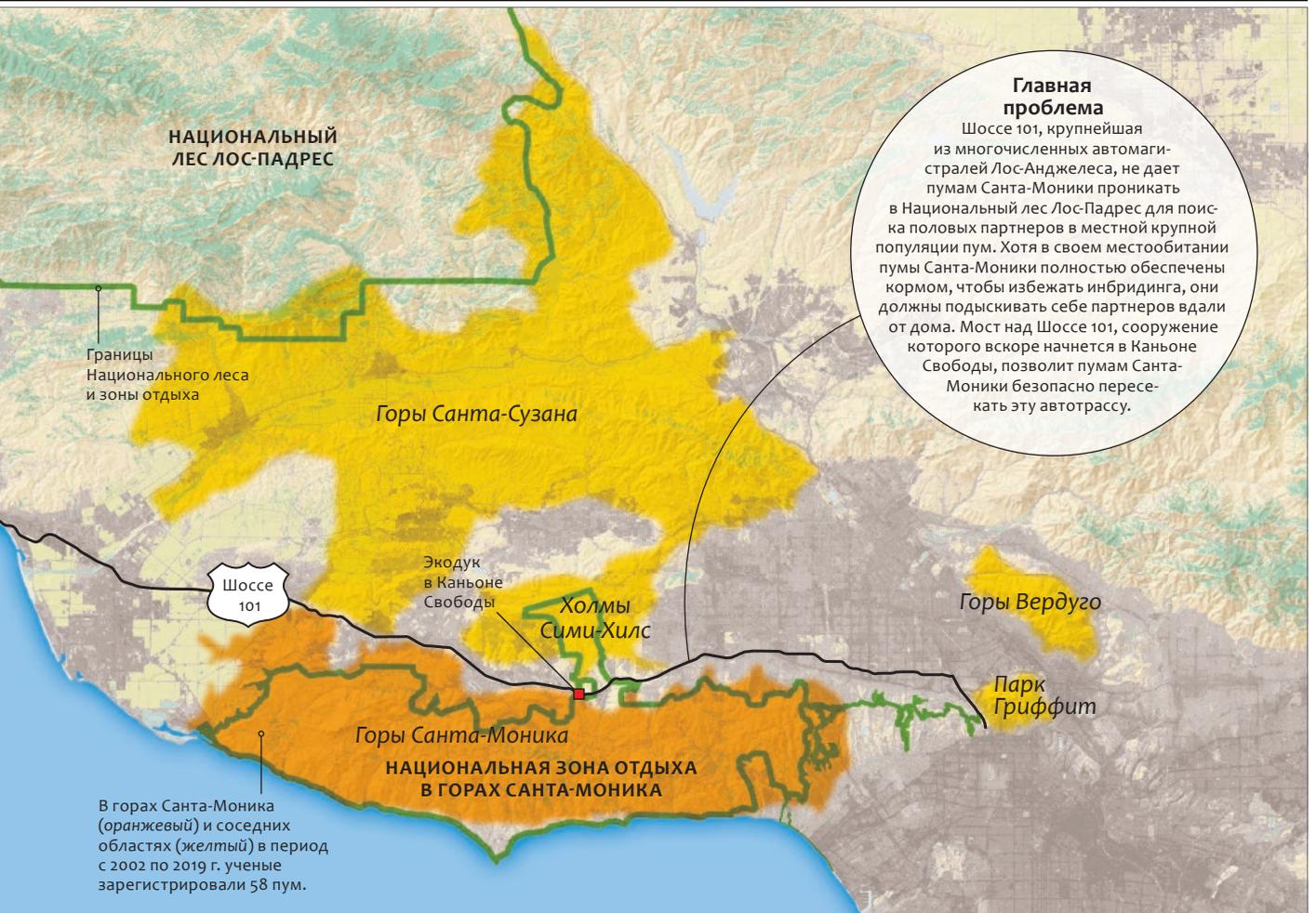
Во многих местах его долины были покрыты бетоном для создания сети одних из самых оживленных автотрасс в стране, необходимых для обслуживания постоянно растущих конгломератов жилых и торговых зданий. Каждый вновь возникающий жилой комплекс или торговый центр отнимает у парка от 2 до 6 га, что еще сильнее фрагментирует ландшафт и популяцию пум. В худшем случае эта фрагментация разобщает самцов и готовых к спариванию самок. В результате вероятность встреч потенциальных половых партнеров в последнее время сильно упала — нечто подобное происходило в свое время и с флоридскими пумами.

**Большинство флоридских пум** обитают в низинной болотистой местности, примыкающей к Национальному парку Эверглейдс, — в Национальном заповеднике Биг-Сайпресс. Эти звери — жалкие остатки популяции пум, которых первые испанские поселенцы называли «львами» и «катамаунтами». Когда-то эти хищники населяли весь юго-восток страны, но к 1980-м гг. флоридские пумы сохранились только к востоку от Миссисипи. По мере того как сокращались местообитания пум и популяции их жертв, уменьшалась и численность самих хищников — в конечном итоге она упала до 30 особей. А по некоторым оценкам, в то время уцелело и вовсе не более десятка флоридских пум. При такой невысокой численности зверей в популяции стало неизбежно близкородственное скрещивание — инбридинг. Отцы спаривались с дочерьми, братья — с сестрами, а матери — с сыновьями. Вскоре в результате таких спариваний на свет стали появляться животные с деформированными (ломаными) хвостами и семенниками (яичками), не опустившимися в мошонку. У некоторых особей имелись также дефекты межпредсердной перегородки (отверстия между камерами сердца).



Генетическое разнообразие обеспечивает способность вида выживать в изменяющихся условиях и адаптироваться к ним. Без этого всю популяцию животных легко может уничтожить, например, какое-либо инфекционное заболевание. Генетические дефекты у флоридских пум стали внешним проявлением скрытой, невидимой деградации их сообщества. По оценке О'Брайена, те или иные аномалии имелись у 94% сперматозоидов самцов этих зверей. Для оздоровления популяции флоридских пум некоторые специалисты даже разработали особые программы их разведения в неволе. По их замыслам, отловленные в природе котята диких пум должны были выращиваться в особых условиях, а затем скрещиваться со специально подобранными партнерами для создания генетически разнообразной исходной популяции, которую впоследствии можно было бы реинтродуцировать в дикую природу. Этот проект, однако, так и не был реализован: у всех отловленных котят, предназначенных для последующих скрещиваний, были выявлены те или иные генетические дефекты.

Source: "Genetic Source-Sink Dynamics among Naturally Structured and Anthropogenically Fragmented Populations," by Kyle D. Gasparson et al., in *Conservation Genetics*, Vol. 25, December 2016 (California map reference); Maps by Mapping-Specialists



В конце концов государственные чиновники убедили Службу охраны рыбных ресурсов и диких животных США дать добро на проведение беспрецедентного эксперимента. В 1995 г. власти послали в Техас опытного зверолова и охотника Роя Макбрайда (Roy McBride) для отлова восьми самок пум и их последующей транспортировки во Флориду. Затем этих самок должны были здесь выпустить на волю для спаривания с местными самцами. Власти и ученые надеялись на успешность этого проекта — ведь в прошлом, когда ареалы этих двух подвидов пумы перекрывались, их представители, вероятно, активно скрещивались друг с другом. И в самом деле, пять из восьми техасских самок принесли на свет гибридных детенышей, лишенных каких-либо дефектов. А затем начало интенсивно размножаться и это здоровое потомство пум. Сегодня численность флоридской популяции пум оценивается в 130–200 особей.

Одна из причин, почему подобные эксперименты никогда не проводились ранее, была

связана с опасениями, что они могут положить конец практике правовой защиты животных, предусмотренной Законом об исчезающих видах. Противники таких опытов опасались, что потомство, появившееся на свет в результате скрещивания техасских и флоридских пум, не сможет рассчитывать на защиту закона, так как не будет считаться «чисто флоридским» подвидом. Но Служба охраны диких животных выпустила соответствующее постановление, позволившее продолжить этот эксперимент.

Высказывалось также опасение, что гены техасских пум «затопят» генетический материал их флоридских сородичей. Хотя все пумы относятся к одному и тому же виду кошачьих, ученые подчеркивают, что животные обладают генетическими маркерами, определяющими их принадлежность к особым, отличным друг от друга подвидам.

Позднее, однако, в двух независимых друг от друга исследованиях было показано, что никакого генетического «затопления» флоридских пум не произошло. В одной из этих



Так должен выглядеть мост над Шоссе 101, строительство которого начнется в скором времени. Это будет самый большой экодук в мире.

работ изучались генетические образцы, полученные с 1981 г. от почти 600 флоридских пум и позволившие проследить родственные связи всех обитавших тогда во Флориде представителей этих кошек. Затем ученые сравнили эти образцы с генетическим материалом пум, родившихся во Флориде после появления там техасских зверей. Было показано, что местная популяция пум увеличилась в три раза, ее генетическое разнообразие удвоилось, а степень инбридинга уменьшилась. При этом отмечалось также повышение показателей выживаемости и приспособленности животных. Чтобы предотвратить инбридинг и снизить риск вымирания, в будущем, по расчетам ученых, во флоридскую популяцию пум потребуется каждые 20 лет интродуцировать по пять их техасских сородичей.

Но какой бы успешной ни оказалась кампания по «генетическому спасению» флоридских пум, с спасению калифорнийских пум — из-за сильной фрагментации их среды обитания — потребуется совершенно иной подход. Биологи считают, что для решения их генетических проблем совсем не обязательно ехать за тридевять земель за другими пумами.

**В своей книге**, посвященной двум популяциям пум Санта-Моники, отрезанным людьми от более крупной группы их сородичей,

населяющей соседние области, Джон Бенсон (John Benson) пытается спрогнозировать возможность исчезновения этих популяций в течение ближайших 50 лет. Бенсон прекрасно разбирается в том, о чем пишет в книге: он много лет работал исследователем-экологом в Калифорнийском научном природоохранном центре Ла-Креж при Калифорнийском университете в Лос-Анджелесе, а до того изучал пум, будучи сотрудником Флоридского управления по охране рыбных ресурсов и диких животных. Историю, случившуюся с флоридскими пумами, Бенсон рассматривает как грозное предупреждение калифорнийским горным львам. Ученые, работающие с пумами, отлично знают, что имеют дело с харизматичными крупными зверями, к которым обыватели нередко относятся как к домашним кошкам-переросткам. На самом деле пумы — сверххищники, стоящие на вершине пищевой пирамиды, причем каждая пума обладает уникальным нравом и особыми потребностями. Они ведут скрытный образ жизни и стараются держаться подальше от людей, что еще больше осложняет попытки понять этих загадочных существ. Благодаря довольно крупным размерам пумы порой нагоняют страх на людей, требующих от властей свести к минимуму риск столкновения с этими животными «на природе». Отсюда — усиливающееся политическое

давление на биологов, которые, напротив, повышают этот риск, всеми силами стараясь увеличить популяции пум.

В другой работе, подготовленной Бенсоном, Сикичем, коллегой Сикича по Службе национальных парков США Сетом Райли (Seth Riley) и рядом других ученых, описаны два различных сценария. Согласно предсказаниям компьютерной модели, «размножаться пумы будут неплохо <...>, и их популяция останется довольно стабильной», — говорит Бенсон. Исследование показало, что вероятность вымирания популяции составляет всего 16–21%; этому процессу во многом препятствуют обилие добычи и густые заросли кустарников, среди которых обитают пумы. «Хотя в окрестностях много строек и шоссе, территория самой зоны отдыха в горах Санта-Моника примерно на 90% по-прежнему сохраняет свой естественный вид и практически наполовину находится в государственной собственности», — поясняет Райли.

Но, как отмечает ученый, «основная проблема заключается в том, что территория горного массива Санта-Моника недостаточно велика для поддержания генетически или демографически жизнеспособной популяции пум, а кроме того эта зона плохо связана с соседними природными регионами». Когда ученые включили в анализ низкое генетическое разнообразие популяции, результат прогнозного моделирования кардинально изменился благодаря феномену, называемому учеными инбредной депрессией, — снижению жизнеспособности особей под влиянием инбридинга. В популяциях пум, обитающих в горах Санта-Моника и в округе Ориндж, сегодня отмечается самый низкий уровень генетического разнообразия, когда-либо регистрировавшийся в колониях пум, — за исключением флоридской популяции этих кошек в 1995 г. По словам Бенсона, как только в анализ был включен этот фактор (низкое генетическое разнообразие), все прогнотические модели начали дружно предсказывать вымирание пум в течение 50 лет после начала инбредной депрессии.

Когда статья Бенсона и его соавторов увидела свет, ученые не могли даже представить себе, что первые признаки генетических дефектов появятся у пум так скоро. Но они знали, что рано или поздно это должно было случиться: главная причина снижения генетического разнообразия горных львов — ограничение свободы их перемещений — начала складываться еще в 1950-х гг.

Лос-Анджелес — город скоростных автомагистралей, и самая большая из них —

Шоссе 101 («США 101»), протянувшееся с севера на юг и связывающее Лос-Анджелес с Сан-Франциско и тихоокеанским Северо-Западом. Каждый день по этой дороге, состоящей из восьми-десяти полос, проезжает примерно 300 тыс. автомобилей. Шоссе 101 не дает пумам, живущим в горах Санта-Моника, перемещаться на север и проникать в Национальный лес Лос-Падрес площадью около 7,7 тыс. км<sup>2</sup>, чтобы спариться здесь с представителями более крупной популяции сородичей. Как рассказывает Райли, когда биологи снабдили радиоошейниками дюжину пум Санта-Моника, они не раз наблюдали, как самцы направлялись к Шоссе 101, но приблизившись к нему и увидев непрерывный поток машин, поворачивали вспять. «Среда обитания в горах Санта-Моника вполне благоприятна для пум, — говорит Райли. — И здесь водится много оленей». Но из-за Шоссе 101 местные звери могут спариваться лишь с близкими родственниками, а это неизбежно ведет к инбридингу.

Но в 2009 г. случилось чудо. 12-я из пойманных и снабженных радиоошейниками пум, особь под номером P-12, отыскала способ пересечь Шоссе 101 в месте под названием Каньон Свободы, где по обеим сторонам автотрассы сохранились участки дикой природы. «Это был настоящий подвиг, — вспоминает Райли, — ведь этому самцу удалось не только пересечь дорогу и остаться в живых, но и оставить после себя потомство!».

С тех пор преодолеть шоссе удалось еще нескольким пумам; животные делали это преимущественно ночью, когда движение на дороге было менее интенсивным. По словам Райли, одна из пум даже научилась использовать для этого залегавшую под шоссе водопроводную трубу диаметром около 2 м; менее чем за год этот зверь пересек автомагистраль 42 раза! Но затем этот храбрец погиб от травм, полученных во время лесного пожара, и с тех пор больше ни одна пума не отваживалась ступить в этот длинный и темный туннель.

Калифорнийские биологи в отличие от флоридских чиновников сочли транспортировку пум Санта-Моника в места обитания популяций с более высоким разнообразием, как и интродукцию пум из таких популяций в Санта-Монику для последующего спаривания с местными кошками, слишком грубым вмешательством в жизнь природы, сопряженным с неоправданно высоким риском травмирования диких зверей. Но многочисленные случаи успешного пересечения пумами Шоссе 101 навели ученых на мысль, как

можно помочь зверям иным образом: нужно соорудить для них безопасный подземный переход через дорогу. Он мог бы вновь связать популяцию пум Санта-Моники с более крупной колонией их сородичей в расположенных к северу горах Сьерра-Мадре, что позволило бы им находить партнеров, способных увеличить генетическое разнообразие их небольшой группы.

Сотрудники Службы охраны рыбных ресурсов и диких животных рассмотрели идею сооружения такого туннеля, но отвергли ее. Они сочли, что его строительство потребует слишком больших денег и создаст слишком большие помехи движению автомобилей по шоссе. Кроме того, не было никаких гарантий, что животные будут пользоваться этим переходом. Таким образом, оставался лишь один вариант решения проблемы — возведение моста (путепровода) над Шоссе 101, который позволил бы пумам, живущим по обеим сторонам дороги, свободно посещать своих соседей в любое время суток. Ограды, возведенные у обоих концов этого моста, должны направлять зверей непосредственно к переходу и не давать им случайно выбегать на дорогу. Реализация этого проекта освободила бы биологов от необходимости отлова пум и транспортировки их в чужие места. «В идеале, если мы построим такой экодук (*мост или туннель, служащий для перехода животных через дорогу*. — Примеч. пер.), звери смогут совершать необходимые им перемещения самостоятельно», — говорит Сикич.

Проконсультировавшись со специалистами по сооружению экодучков и служащими Калифорнийского департамента транспорта (*Caltrans*), сотрудники Службы национальных парков США разработали план возведения эстакады шириной около 50 м, которая должна размещаться на высоте 5 м над Шоссе 101. Ее северный конец будет упираться в холм, а южный полого опускаться до уровня земли. После возведения эта конструкция, ориентировочная стоимость которой составляет \$87 млн, станет самым большим экодучком в мире. Ее дизайн и оформление должны вписываться в окружающий природный ландшафт, а установленные по сторонам шумозащитные экраны — глушить рев мчащихся внизу машин.

По мнению биологов, лучшее место для сооружения экодучка — тот участок в Каньоне Свободы, где шоссе впервые пересек зверь *P-12*; местность здесь по обе стороны дороги покрыта естественными зарослями кустарников. Пумы смогли бы пользоваться таким надземным переходом в любое время дня

и ночи, не опасаясь погибнуть под колесами автомобилей. И сам этот участок, и примыкающие к нему с юга и севера обширные ландшафты уже стали охраняемыми территориями, что делает его самым подходящим местом для создания «перешейка» между разобщенными частями горной экосистемы Санта-Моники. В идеале пумы, ступив на экодук, не должны даже замечать, что очутились на конструкции, созданной человеком.

Впервые экологические надземные путепроводы для животных появились во Франции в 1950-х гг., а затем распространились и в другие европейские страны. В последнее время они начинают набирать популярность и в США. Так, в 2018 г. в штате Юта был открыт мост длиной около 100 м и шириной в 15 м, позволяющий лосям, оленям и другим диким животным пересекать шестиполосную Межштатную автомагистраль 80 неподалеку от Солт-Лейк-Сити. Со строительством экодучка в Каньоне Свободы имеется лишь одна проблема: на сооружение надземного перехода, пользоваться которым будут лишь большие хищные кошки, у *Caltrans* попросту нет денег. Вот тут-то на сцене и появилась картонная пума.

**Бет Прэтт (Beth Pratt)** из Национальной федерации дикой природы много лет проработала в Йосемитском и Йеллоустонском национальных парках, а потому давно привыкла к диким природным ландшафтам и их четвероногим обитателям. Как признается сама защитница природы, узнав, что в горах, примыкающих к огромному Лос-Анджелесу, обитают пумы, она «едва не потеряла сознание». «Это изменило все мои представления о дикой природе», — вспоминает Прэтт. Заняв должность исполнительного директора Калифорнийского регионального экологического центра, Прэтт связалась с биологами Национальной зоны отдыха в горах Санта-Моники и спросила их, может ли ее организация чем-нибудь им помочь. «И они мне ответили: "Ну да, хотелось бы построить тут один маленький мостик"».

Затем Прэтт поговорила об этом деле с сотрудниками *Caltrans*. «Департамент транспорта оказал нам фантастическую поддержку», — говорит Прэтт. — Там мне сказали, что денег у них нет, но если мы их раздобудем, то мост они построят». Был разработан договор, согласно которому 80% всех денег — более \$69 млн — должны были поступить от частных жертвователей, а остальные 20% — из государственных

фондов поддержки природоохранных проектов. И чтобы начать работу, им не требовались все деньги сразу.

Национальная федерация дикой природы запустила кампанию по сбору пожертвований под лозунгом «Спасите лос-анджелесских пум!», выбрав для нее талисман, который наверняка должен был вызвать симпатию у самых широких слоев населения. Это был самец пумы *P-22*, который в 2012 г. поселился в Парке Гриффит рядом со знаменитой гигантской надписью *HOLLYWOOD*. С помощью генетических тестов было установлено, что этот зверь исходно принадлежал к популяции пум, обитающей в горах Санта-Моники, а значит, чтобы добраться до своего нового места жительства, ему пришлось пересечь не только Шоссе 101, но и еще одну крупную автотрассу — *I-405*! Несмотря на высокую урбанизированность и сравнительно небольшую площадь (15 км<sup>2</sup>), Парк Гриффит полностью обеспечивает *P-22* едой и укрытиями, где зверь может спрятаться в дневные часы. Поскольку *P-22* — единственная пума, живущая в этом городском парке, он идеально подходит на роль талисмана кампании. «Мы рассказываем всем об одиноком холостяке, у которого, похоже, никогда не будет подружки, — говорит Прэтт. — И публика его приняла! У нас есть идеальная жертва цивилизации, вызывающая у всех горячее сочувствие».

У Прэтта имеется вырезанная из картона фигура зверя *P-22* в натуральную величину, которую она берет с собой на все мероприятия по сбору средств в Лос-Анджелесе и других городах. Она даже уговорила позировать с этой картонной кошкой таких знаменитостей, как Шон Пенн и член Палаты представителей США от Калифорнии Адам Шифф, что привлекло еще больше внимания к печальной участи пум. Слухи о проекте распространились со скоростью вирусной инфекции, говорит Прэтт. «Мы, например, получили пожертвование из Лондона во Флориде. А одна супружеская пара из Канзаса, даже ни разу не побывавшая в Калифорнии, подарила нам \$500 тыс.!» Каждый октябрь в Лос-Анджелесе проводится Фестиваль *P-22*, когда во время многочисленных праздничных мероприятий осуществляются сбор денег и информирование людей о тяжелом положении пум. Прошлой осенью этот фестиваль, как и многие другие мероприятия, проводился виртуально. «Это потребовало от нас более творческого подхода к празднеству, — говорит Прэтт. — Так, для создания игрового интерфейса мы привлекли нескольких

разработчиков игр». В одной из игр *P-22* должен выбраться из Парка Гриффит с помощью реактивного ранца.

В целесообразности сооружения надземного перехода сомневаются лишь немногие калифорнийцы. Согласно данным проведенного недавно экологического опроса, за его строительство высказалось 8 тыс. человек, а против — лишь 15. Вокруг этого проекта сплотились представители самых разных политических партий, потому что люди любят животных, а сейчас они «столкнулись с серьезной проблемой, требующей быстрого решения», — говорит Прэтт.

К маю этого года объем собранных средств составил \$44 млн — этого более чем достаточно, чтобы довести до конца техническую проработку проекта. В июле губернатор Калифорнии Гэвин Ньюсом утвердил бюджет штата, в котором выделено \$7 млн на возведение экодука в Каньоне Свободы. Специалисты *Caltrans* рассчитывают начать эти работы в ноябре текущего года. Цель проекта — открытие моста для его использования пумами и другими животными уже в 2024 г.

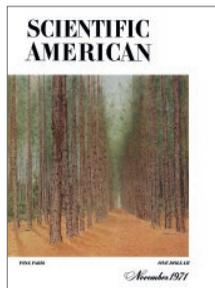
Прэтт утверждает, что никакого резервного плана действий у исполнителей проекта нет — да она и не думает, что он может понадобиться. Если денег к намеченному сроку будет собрано недостаточно, это лишь «задержит начало работ, но ни в коем случае не приведет к отказу от проекта. А пока мы не ожидаем даже никаких задержек», — отмечает Прэтт.

Сегодня, когда на сцене появились зверь *P-81* и еще две кошки с сломанными хвостами, кампания по сбору средств на сооружение экодука превратилась в настоящую гонку за спасение пум Санта-Моники. «Генетическое разнообразие этих животных скорее всего продолжит снижаться, — говорит Бенсон. — Никто, однако, не может точно сказать, когда эта деградация приведет к вымиранию популяции. Ясно одно: нельзя ждать, пока процесс зайдет слишком далеко». С другой стороны, продолжает размышлять ученый, «если нам удастся сохранить крупных хищников по соседству с Лос-Анджелесом, можно надеяться, что то же самое мы сможем сделать и в других урбанизированных регионах страны». ■

Перевод: А.В. Щеглов

#### ИЗ НАШИХ АРХИВОВ

■ Карант У. Зачем считать тигров? // ВМН, № 8–9, 2016.



## НОЯБРЬ 1971

**Рыба в Долине Смерти.** Небольшие источники и ручьи испещряют район Долины Смерти, одной из самых засушливых пустынь. Эти малые водоемы, некоторые чуть больше ванны, населены четырьмя видами крошечных рыбок, известных как пустынный карпоzubик.

Выявлено более 20 различных его популяций. Каждая популяция ограничена одним изолированным оазисом. Некоторые живут уже тысячи лет в компактных местах обитаниях, где их количество никогда не превышало нескольких сотен особей. В результате эволюционной дивергенции виды различаются по форме и окраске.

**Подземные ядерные взрывы.** С момента подписания Договора о запрещении испытаний ядерного оружия в атмосфере, в космическом пространстве и под водой в 1963 г. США провели 229 подземных ядерных испытаний, а СССР — около 47. Эти испытания помогли сейсмологам найти способы отличить подземные взрывы от землетрясений — острая проблема, из-за которой провалились первоначальные попытки оформить полный запрет испытаний в 1963 г. В журнале *Nature* описан метод, «позволяющий полностью отделить совокупность [27] подземных взрывов на <...> испытательных полигонах <...> от совокупности [51] мелких <...> землетрясений <...> в пределах примерно 15° от этих испытательных полигонов». В ходе 27 испытаний были получены сейсмические сигналы с магнитудой объемной волны от 4,2 до 6,2 баллов. Объемные продольные волны (P-волны) проходят через мантию Земли и могут быть зарегистрированы более четко на расстояниях 3–10 тыс. км от места испытания, чем на более коротких. Таким образом, они хорошо подходят для обнаружения тайных испытаний.



## НОЯБРЬ 1921

**Экзамен Эдисона.** Когда Томас Эдисон отбирал кандидатов на руководящие должности [для своей лаборатории], он представил им список из 150 вопросов, ни один из которых не имел прямого отношения к должностным обязанностям. Многие газеты подняли его на смех. Эдисон объяснил журналу *Scientific American*: «Я полагал, первое, что должно быть у руководителя, — хорошая память.

Безусловно, не факт, что человек с хорошей памятью непременно будет хорошим руководителем. Но если у него ее нет, то ему не хватает первостепенного качества, а все остальное уже не имеет значения».

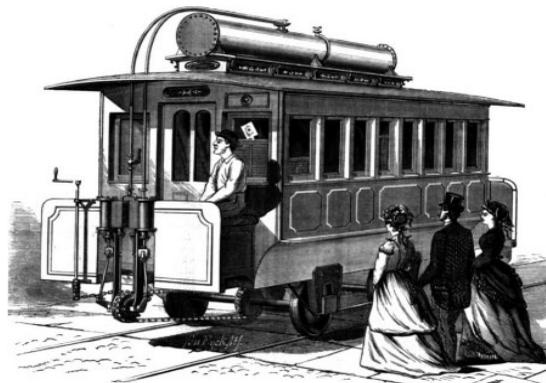


## НОЯБРЬ 1871

**Далекий предок Сири.** Говорящая машина профессора Фабера (Joseph Faber) прибыла в Филадельфию. Вчера на выставке она произносила фразы из шести и восьми слов на английском, французском и немецком языках. Голос высокий, монотонный и неестественный,

но произношение поразительно правильное. Машина представляет собой позолоченный стол, снизу закрытый мехами. Сверху на вас смотрит безжизненное лицо с холодными глазами, а за ним располагается масса проводов, веревок, деревянных рычагов и резиновых трубок. Сжатие мехов заставляет воздух проходить через железную трахею, затем в искусственную голосовую щель, откуда он выходит через отверстие в форме рта с подвижными челюстями и резиновым языком. Перемещаемые согласованно 14 рычажков производят звук любого требуемого слога. Отдельный рычаг отвечает за взрыв смеха.

**Тепло против простуды.** Озноб и лихорадка веками приписывались «миазмам» — трудноуловимой эманации, исходящей из земли. Но микроскоп увидел в миазматическом воздухе множество живых существ. Чтобы причинить вред, им нужно попасть в легкие или в желудок, но холод делает их такими тяжелыми, что они падают на землю и их нельзя ни вдохнуть, ни проглотить. Тепло поднимает миазмы к облакам. В промежутке времени, начинающемся спустя час после восхода и завершающемся за час до заката они, как правило, слишком высоко, чтобы навредить нам, благодаря погодному теплу. Чтобы обезопасить себя весной и осенью, одевайтесь у ярко пылающего огня и позавтракайте перед выходом на улицу. Возвращайтесь домой до заката, поужинайте у очага, а потом делайте что угодно. ■



**Аммиачный трамвай (1871).** Аммиак как движущая сила имеет большие преимущества перед паром, но он намного дороже воды. Эмиль Ламм (Emile Lamm) из Нового Орлеана успешно преодолел практические трудности.

**Editor in Chief:**

**Copy Director:**

**Creative Director:**

**Managing Editor:**

**Chief Features Editor:**

**Chief News Editor:**

**Chief Opinion Editor:**

**Senior Editors:**

**Associate Editors:**

Laura Helmuth  
 Maria-Christina Keller  
 Michael Mraz  
 Ricki L. Rusting  
 Seth Fletcher  
 Dean Visser  
 Michael D. Lemonick  
 Mark Fischetti, Josh Fischman, Clara Moskowitz,  
 Madhusree Mukerjee, Jen Schwartz, Kate Wong  
 Gary Stix, Lee Billings, Sophie Bushwick,  
 Andrea Thompson, Tanya Lewis, Sarah Lewin Frasier

**Editors Emeriti:**

**Contributing Editors:** Gareth Cook, Lydia Denworth, Ferris Jabr, Anna Kuchment,  
 Robin Lloyd, Melinda Wenner Moyer, George Musser, Ricki L. Rusting

**Art Contributors:** Edward Bell, Zoë Christie, Lawrence R. Gendron, Nick Higgins

**Art Director:** Jason Mischka

**Senior Graphics Editor:** Jen Christiansen

**President:** Dean Sanderson

**Executive Vice President:** Michael Florek

**Vice President, Commercial:** Andrew Douglas

**Publisher and Vice President:** Jeremy A. Abbate

© 2021 by Scientific American, Inc.

## В мире науки

SCIENTIFIC AMERICAN

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](http://www.akc.ru)

**по РФ и странам СНГ:**

ООО «Урал-Пресс»,  
[www.ural-press.ru](http://www.ural-press.ru)  
 СНГ, страны Балтии и далее зарубежье:  
 ЗАО «МК-Периодика»,  
[www.periodicals.ru](http://www.periodicals.ru)  
 РФ, СНГ, Латвия:  
 ООО «Агентство "Книга-Сервис"»,  
[www.akc.ru](http://www.akc.ru)

## Читайте в следующем номере

### Невидимая Вселенная

Несоответствие между теорией и экспериментом, когда речь идет о мюонах, указывает на возможность существования новых частиц и сил природы.

### Аляска в огне

Пожары меняют ландшафты Крайнего Севера и усиливают изменение климата.

### Больше еды, меньше отходов

Сокращение потерь по всей пищевой цепочке приведет к значительному росту количества продовольствия и уменьшению эмиссии углекислого газа.

### Социальная стойкость

Сообщества малообеспеченных чернокожих часто считали неблагополучными, долгое время не принимая во внимание их психологическую устойчивость.

### Бесконечная математика

Расширение теории категорий на бесконечные измерения открыло путь к новым теориям и неожиданным связям между математическими концепциями.

### Искусственный физик

Система машинного обучения достигает впечатляющих результатов в экспериментальной квантовой физике.

### Птичий день

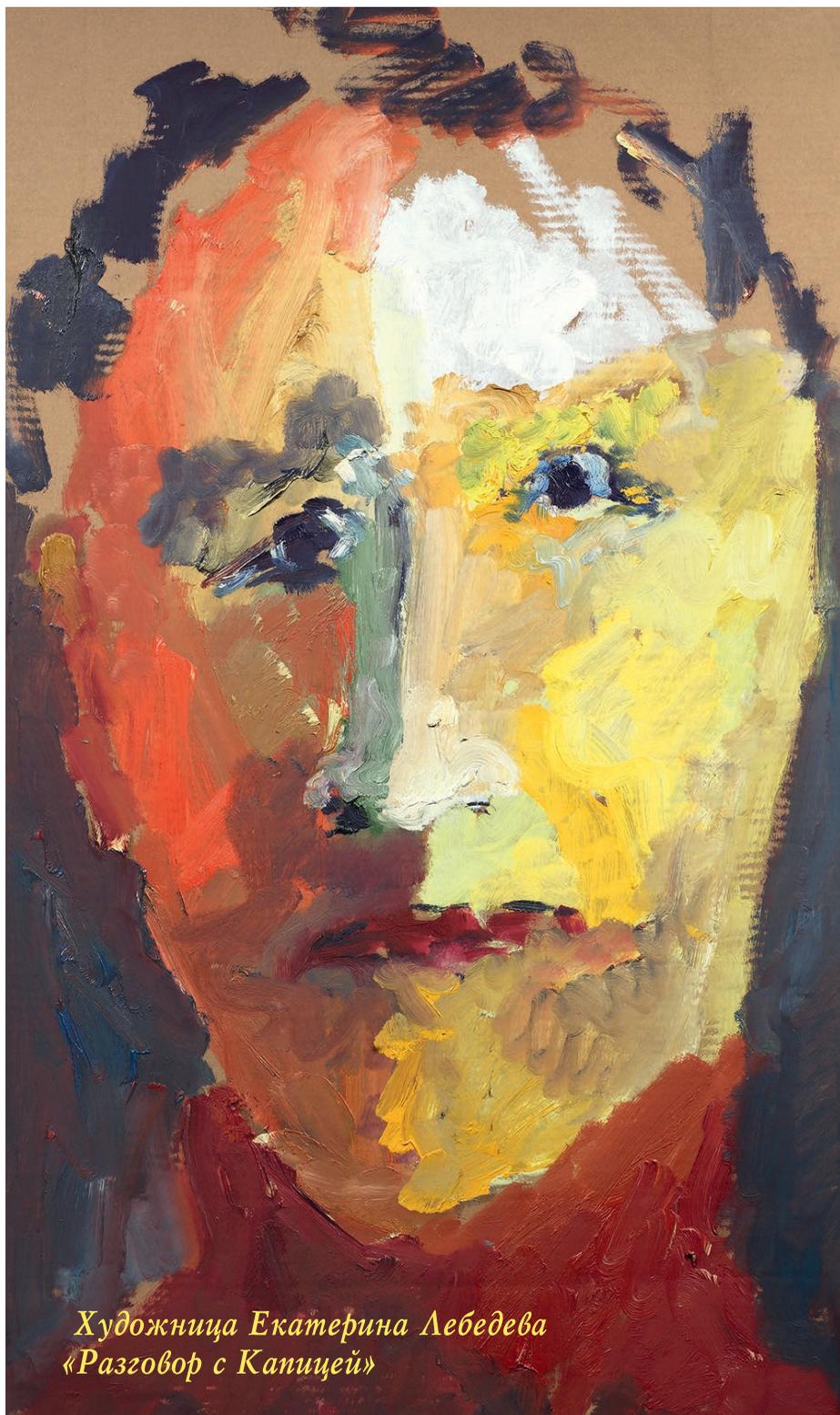
Орнитологи-любители устраивают жаркие состязания по спортивному бердингу, цель которых — обнаружить за 24 часа как можно большее число видов птиц.





ИНТЕРНЕТ-ПОРТАЛ

# Научная Россия



*Художница Екатерина Лебедева  
«Разговор с Капицей»*



## Взгляд на науку с пристрастием

**Актуальная информация**  
о науке и технике в России  
и в мире

**Открытия** в разных  
областях фундаментальной  
и прикладной науки

**Новости** из научных  
центров и вузов страны  
и мира

[scientificrussia.ru](http://scientificrussia.ru)