

В мире науки

SCIENTIFIC
AMERICAN

Ежемесячный
научно-информационный
журнал

www.sci-ru.org

4/5 2020

12+

ПЕРВАЯ МОЛЕКУЛА // РОССИЙСКИЕ УЧЕНЫЕ О COVID-19 // ФИЗИКА ПОЛЕТА

СОЦИАЛЬНЫЕ КАРТЫ УМА



Роль навигационных
клеток во взаимоотношениях
с другими людьми

ISSN 0208-0621



20004



9 770208 062001 >





4



144



24

Темы номера

ПАНДЕМИЯ

Российские ученые о коронавирусе: факты, гипотезы, прогнозы

Пандемия COVID-19 стала одним из самых серьезных вызовов для науки за последнее время. На горячие вопросы отвечают ведущие российские ученые

ПСИХОЛОГИЯ

Как COVID-19 меняет образ будущего

Анастасия Пензина

О психологических метаморфозах, вызванных пандемией, — наша беседа с профессором РАН Тимофеем Нестиком

НЕЙРОБИОЛОГИЯ

Социальные карты в мозге

Мэттью Шафер и Даниэла Шиллер

Нейронные сети, отслеживающие наше положение в пространстве и времени, могут участвовать в определении наших взаимоотношений с людьми

СТРАТЕГИРОВАНИЕ

«Стратегия — это философия успеха»

Анастасия Пензина

Иностраный член РАН профессор Владимир Квинт — о важности наличия продуманной стратегии для государства

НЕЙРОБИОЛОГИЯ

Неявные механизмы обучения мозга

Дуглас Филдс

Нейробиологи описали несколько необычных клеточных механизмов, участвующих в формировании памяти

СОДЕРЖАНИЕ

Апрель/май 2020

4



ЭНЕРГЕТИКА

Водород как решение

54

24

Питер Фэйрли

Водородная энергетика могла бы вернуть себе прежнее место как важная составляющая при полном переходе на возобновляемые источники энергии



АСТРОХИМИЯ

32

Первая молекула во Вселенной

64

Райан Фортенберри

Ученые обнаружили во Вселенной загадочные молекулы. С этих соединений, вероятно, в космосе и началась химия

ХИМИЯ

40

Не хлором единым

74

Наталья Лескова

Академик Азиз Музафаров уверен, что Россия способна вернуть себе позиции одной из мировых силиконовых держав



ПИЩЕВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

46

Наукоемкое молоко

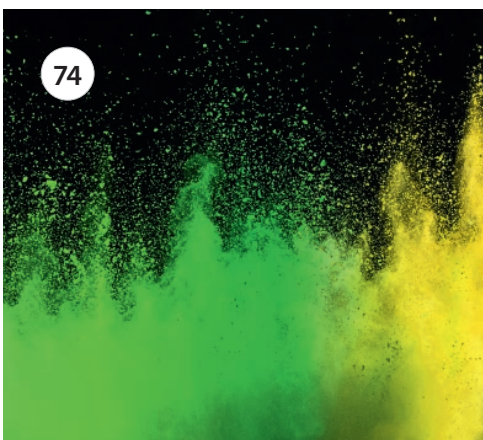
82

Наталья Лескова

О возможностях и достижениях одного из старейших отраслевых институтов — ВНИИ молочной промышленности — рассказывает академик Арам Галстян



54



74



154



ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Нарушенные обещания

Роуэн Мур Герети

Могут ли горнодобывающие компании и защитники природы эффективно сотрудничать по проблемам улучшения экологической обстановки?

КОСМОЛОГИЯ

Космологический кризис

Ричард Панек

Два разных метода измерения темпа расширения Вселенной противоречат друг другу. Это о чем-то свидетельствует — но о чем именно?

ЯДЕРНАЯ МЕДИЦИНА

Там, за горизонтом

Наталья Лескова

Станет ли ядерная медицина альтернативой нынешних методов терапии и диагностики?

КАРДИООНКОЛОГИЯ

Пациент между двух огней

Анастасия Пензина

О пациентах-беспризорниках, врачебной этике и отношениях между онкологами и кардиологами — член-корреспондент РАН **Симон Мацкеплишвили**

АНТИСМЫСЛОВАЯ ТЕРАПИЯ

Обретение смысла

Лидия Дэцурт

Терапия, мишенью которой выступает РНК, достигла впечатляющего успеха

Пресечь прионную болезнь

Эрик Валлабх Миникель и Соня Миникель Валлабх

Если начать лечение до появления симптомов, есть надежда, что смертельное заболевание мозга удастся предотвратить

ЗООПСИХОЛОГИЯ

90 Звериная мощь птичьего разума

144

Онур Гонтиюркюн

Некоторые виды птиц умеют мастерить орудия и узнают свое отражение в зеркале. Как крошечный птичий мозг обеспечивает такой блестящий интеллект?

ЭКОЛОГИЯ

102 Что убивает монархов?

154

Гэбриэл Попкин

Казалось бы, все просто: монархов, любимых бабочек американцев, убивает гербицид; но новые данные указывают на возможное участие иных факторов

ФИЗИКА

112 Загадка подъемной силы

164

Эд Реджис

Никто не может точно объяснить, что удерживает самолет в воздухе



АРХЕОЛОГИЯ

118 Первая история

174

Кейт Вонг

Наскальные рисунки из Сулавеси — древнейший известный образец сюжетной живописи



ПАЛЕОАНТРОПОЛОГИЯ

Лицо из глубины времен

182

126

Кейт Вонг

Недавно найденный ископаемый череп может изменить семейное древо человечества

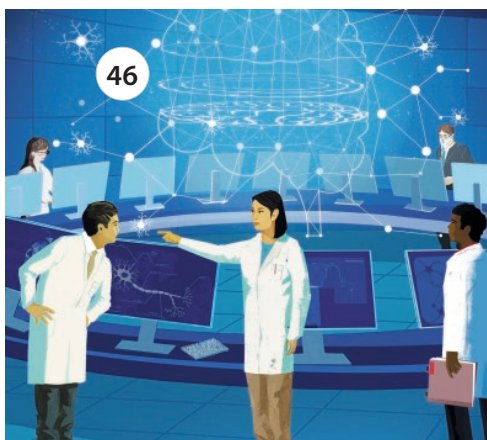
136 Разделы

От редакции

3

50, 100, 150 лет тому назад

101, 184



В мире науки

SCIENTIFIC
AMERICAN

Наши партнеры:



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.Е. Фортвов

Главный научный консультант:

президент РАН академик А.М. Сергеев

Ответственный секретарь:

О.Л. Беленицкая

Зав. отделом иностранных материалов:

А.Ю. Мостинская

Шеф-редактор иностранных материалов:

В.Д. Ардаматская

Зав. отделом российских материалов:

О.Л. Беленицкая

Выпускающий редактор:

М.А. Янушкевич

Обозреватели:

В.С. Губарев, В.Ю. Чумаков

Администратор редакции:

О.М. Горлова

Научные консультанты:

к.х.н. Р.А. Алиев; академик Н.И. Брико; член-корр. РАН С.Д. Варфоломеев; академик А.Г. Галстян; иностр. член РАН В.Л. Квинт; член-корр. РАН С.Т. Мацкеплишвили; академик А.М. Музафаров; проф. РАН Т.А. Нестик; академик В.П. Скулачев; к.ф.-м.н. В.Г. Сурдин; академик А.Г. Чучалин

Над номером работали:

М.С. Багоцкая, А.П. Кузнецов, С.М. Левензон, Н.Л. Лескова, А.И. Пензина, А.И. Прокопенко, О.С. Сажина, Н.Н. Шафрановская, С.Э. Шафрановский, А.В. Щеглов

Дизайнер:

Д.А. Гранков

Верстка:

А.Р. Гукасян

Корректур:

Я.Т. Лебедева

Фотографы:

И.Ф. Бадиков, Н.Н. Малахин, Н.А. Мохначев

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

В.Е. Фортвов

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:

ОАО «Можайский полиграфический комбинат», 143200, г. Можайск, ул. Мира, 93,
www.oaompk.ru, www.oaompk.pf, тел.: 8 (495) 745-84-28, 8 (4963) 82-06-85

Заказ № 0791

© 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.

ГЛОБАЛЬНЫЙ ВЫЗОВ НАУКЕ

Пандемия коронавируса, с которой сегодня столкнулось человечество, стала одним из самых серьезных вызовов для науки за последнее время. Ученые всего мира сосредоточили свои усилия на исследовании нового вируса, создании вакцины, поиске эффективных препаратов для лечения от COVID-19. Откуда взялся этот вирус? Почему его появление стало неожиданностью для всех стран мира? Как остановить его быстрое распространение? Как может обезопасить себя каждый из нас? Каковы психологические аспекты пандемии? На эти и многие другие актуальные вопросы отвечают ведущие российские ученые и врачи. Читайте об этом в материале «Российские ученые о коронавирусе: факты, гипотезы, прогнозы».

В статье «Пациент между двух огней» речь также идет о здоровье. Новая дисциплина кардиоонкология занимается кардиологическими проблемами онкологических больных, могущими возникать в процессе лечения злокачественной опухоли. Внедрение в нашей стране большинства инноваций и достижений мировой кардиологической науки поможет решать подобные проблемы.

В эпоху социальных сетей возникает соблазн оценивать наши отношения, основываясь на том, следят ли наши знакомые за нами в сети и ставят ли «лайки» нашим публикациям. Однако факты свидетельствуют о том, что мозг обладает собственным сложным аппаратом, который отслеживает наши общественные связи в координатном пространстве, похожем на карту. В главной статье американского контента «Социальные карты в мозге» описано, как когнитивная карта определяет не только физическое пространство, но и сложные социальные иерархии и их динамику.

Возможно, это вызовет удивление, но мы до сих пор не до конца понимаем, почему взлетают и садятся самолеты. Учителя физики отсылают нас к теореме Бернулли



и третьему закону Ньютона, однако ни то ни другое не дает исчерпывающего отчета о динамике происходящих процессов. Модели вычислительной гидродинамики помогают заполнить пробелы в нашем понимании. Читайте об этом в статье «Загадка подъемной силы».

Еще одной загадке посвящена статья «Первая молекула во Вселенной». Несколько последних важных открытий меняют наши представления о химии в космосе. Ученые наконец выследили давно предсказанную молекулу, называемую гидридом гелия, или HeH^+ , — как полагают, самое первое соединение, образовавшееся во Вселенной.

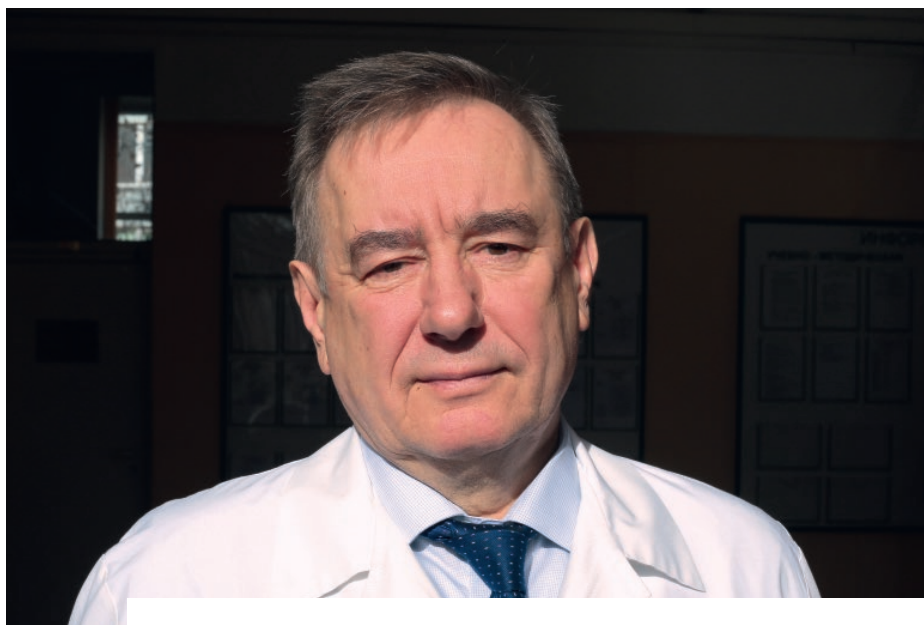
Наш мир постоянно меняется. Мы побеждаем одно, возникает другое. Мутгируют, эволюционируют, исчезают и появляются новые организмы. Ученые всегда будут искать ответы на новые вопросы. Это и есть одна из важнейших целей научного постижения реальности. ■

Редакция журнала «В мире науки /
Scientific American»



РОССИЙСКИЕ УЧЕНЫЕ О КОРОНАВИРУСЕ: *факты, гипотезы, прогнозы*

Пандемия *COVID-19* стала одним из самых серьезных вызовов для науки за последнее время. Ученые всего мира сосредоточили свои усилия на создании вакцины, поиске новых препаратов для лечения. Откуда взялся этот вирус? Почему его появление стало неожиданностью для всех стран мира? Как остановить его быстрое распространение? Как может обезопасить себя каждый из нас? На эти и многие другие вопросы отвечают ведущие российские ученые.



«Нельзя занижать значение инфекционных болезней»

Беседа с академиком Николаем Ивановичем Брико, директором Института общественного здоровья, заведующим кафедрой эпидемиологии и доказательной медицины Сеченовского университета, заслуженным деятелем науки РФ, главным эпидемиологом Минздрава России.

— **Николай Иванович, новая коронавирусная инфекция — далеко не первая из захлестнувших человечество. Бывали пандемии и пострашнее. Но эта, пожалуй, оказала наибольшее влияние на общественное мнение. В чем тут дело?**

— Это правда. Анализируя отношение людей к инфекционным болезням и, в частности, к этому варианту вируса, мы видим, что отклик огромный. И отношение людей особое. Казалось бы, это несопоставимо по летальности с лихорадкой Эбола, птичьим гриппом, SARS (ТОРС) и MERS, с «испанкой», которая унесла, по разным данным, от 50 до 100 млн человек, а это около 4% населения всего мира. Это огромные цифры. В случае COVID-19 все-таки бóльшая часть пациентов переносят вирус легко, малосимптомно или даже бессимптомно и только определенные группы находятся в зоне высокого риска. Но мы видим панические настроения. Могу сказать, что эпидемия слухов, зачастую недостоверных, ложных, мешает осуществлению профилактики коронавирусной инфекции.

— **Эпидемия слухов масштабнее, чем эпидемия вируса?**

— Применительно к нашей стране это даже специальные вбросы недостоверной информации. Скажем, нам пересылают информацию о том, что сегодня ночью вертолеты будут летать над Москвой и распылять специальные дезинфицирующие средства. Или что за ночь число инфицированных коронавирусом увеличилась на 20 тыс. человек. Какой-то странный ажиотаж, люди стали

скупать продукты, туалетную бумагу. С другой стороны, есть те, кто сознательно занижает роль инфекции, распространяет информацию, что на самом деле она ничем нам не грозит. Все это производит неприятное впечатление и, кажется, делается специально.

— **Зачем это делается?**

— Трудно сказать зачем. А вот кто распространяет ложную информацию, зачастую известно. К сожалению, здесь виноваты в том числе мои коллеги, медицинские работники, профессионалы, которые, казалось бы, должны максимально честно и доходчиво разъяснить ситуацию и способствовать тому, чтобы люди оценивали ситуацию здраво. Но среди них находятся и такие, которые рассказывают в СМИ, что никакой пандемии нет.

— **Может ли этот вирус быть созданным искусственно?**

— В целом это возможно. Сегодня за ограниченную сумму денег можно приобрести необходимые элементы и, найдя в интернете генетическую последовательность, синтезировать очень опасных монстров. Для этого не нужно даже быть специалистом. Вот что страшно. Поэтому нельзя умалять эту опасность. Однако вряд ли этот конкретный вирус был создан искусственно. Он почти полностью идентичен уже знакомым нам коронавирусам, повторяет их последовательность более чем на 80%.

— **Если это не искусственный вирус, почему он распространяется так быстро?**



«ИСПАНКА»
Испанский грипп был, вероятно, самой массовой пандемией гриппа за всю историю человечества. На фотографии — медсестры из Американского Красного Креста во временных палатах, оборудованных в Оклендской муниципальной аудитории, 1918 г.

— Да, слишком быстро. Обычно это требует более длительных пассажей. Но, думаю, это не может говорить в пользу его искусственного происхождения. Вирусы — вообще весьма загадочные субстанции, часто непредсказуемые. И ведут они себя по-разному. Могут очень быстро мутировать, обладают разной стабильностью. Много об этом вирусе нам еще предстоит выяснить.

— В качестве природного резервуара называли разных животных. Как на самом деле?

— Вне всякого сомнения, это летучие мыши, которые служат резервуаром очень многих вирусов в природе. От них вирус перешел к чешуйчатым млекопитающим — панголинам, которых китайцы употребляют в пищу и используют в народной медицине. Но, вполне возможно, заражение человеком произошло непосредственно от летучих мышей. Они выделяют вирус со своими секретами — мочой, фекалиями, а когда все это высыхает, через воздух попадает в дыхательные пути. Возможны и другие пути передачи. Их множество — воздушно-капельный, воздушно-пылевой, фекально-оральный, контактный через различные контаминированные вирусом предметы, через пищу...

— А через кровь, биологические жидкости?

— Через кровь, думаю, наверняка возможно. Вертикальный путь передачи от матери к ребенку также не доказан. Вместе с тем вирус оказывает влияние на течение беременности, ее исходы. Поэтому одна из мер профилактики в этом случае — кесарево сечение. Как правило, такие дети большей частью не инфицированы. Насчет полового пути передачи пока данных нет, хотя исключить его тоже нельзя.

— Николай Иванович, правда ли, что переболевшие этой инфекцией люди могут заболеть новой ее модификацией вновь даже в более тяжелой форме?

— Такие предположения есть. Но это новая инфекция, и мы пока мало знаем о патогенезе. Больше ориентируемся на предшествующие коронавирусы. С точки зрения эпидемиологии, это практически один в один SARS (ТОРС). Видимо, возможны повторные заболевания другим видом коронавирусной инфекции. Сейчас мы знаем, что существует более 40 видов коронавирусов. Четыре вида из них составляют 10–30% знакомых всем ОРВИ. Но сейчас появляются новые варианты, о которых мы раньше не знали. Они гораздо вирулентнее и опаснее. Какой иммунитет они будут обеспечивать, особенно последний коронавирус, пока неизвестно. Но есть данные, что все-таки формируется иммунитет, и повторных случаев практически нет. Хотя еще раз подчеркну: это данные не точные.

— Нужна ли вакцина от этого коронавируса? Ведь она появится не скоро, а пандемия бушует уже сейчас.

— Нужна. К сожалению, мы можем эффективно управлять инфекционными болезнями главным образом только через вакцины. Сейчас очень интенсивно работают над созданием вакцины во многих странах мира, и у нас в стране тоже есть несколько вариантов: инактивированные и ослабленные вирусные частицы, рекомбинантные вакцины, белковые и на основе РНК. Один из путей — использовать РНК вируса. Впрыснуть эту информацию, а на ее основе организм среагирует и будет вырабатывать белки, а на белки будет формироваться иммунный ответ. Но это пока не очень получается. Второй вариант — использовать аденовирус и в него внести генетический материал. В США Фонд Билла и Мелинды Гейтс финансирует проект создания вакцины против нескольких вариантов коронавируса. Сейчас мы много говорим об универсальной вакцине против гриппа. Она разрабатывается во многих странах, и у нас тоже пытаются ее создать, чтобы не каждый год отслеживать штамм, а сразу безошибочно бить в цель.

— И сейчас пытаются создать нечто подобное при коронавирусной инфекции?

— При коронавирусной инфекции примерно такой же путь, но белки здесь синтезируются искусственно, это не вирионы. Потом они собираются в один. Хочется верить, что получится создать такую вакцину, эффективную при всех известных видах коронавирусной инфекции.

— В этом случае ее можно будет включить в национальный календарь прививок?

— Надеюсь, что так и будет. Это позволит более эффективно воздействовать на саму инфекцию. Ведь, повторюсь, пути ее передачи многообразны. Это могут быть воздух, вода, канализация, вентиляция, а контролировать эти пути передачи довольно сложно. Воздействовать на воздух как путь передачи трудно, хотя уже сейчас ясно, что нужны такие меры, особенно в медицинских организациях, местах скопления людей. Это очень важная задача, и сейчас есть немало возможностей, новых разработок, приборов, которые можно использовать в присутствии людей. Но основа — это вакцинация. Какие группы вакцинировать, включать ли в национальный календарь — это другой вопрос, который тоже нужно обсуждать. Но разработка вакцины необходима, потому что именно этот вариант коронавируса через какое-то время может стать обычным сезонным заболеванием — как грипп, как острая респираторная вирусная инфекция. Многообразие вирусов увеличивается, поэтому и нам нельзя сидеть сложа руки.

— Как вы считаете, меры, которые принимаются государством, достаточны для того, чтобы остановить эпидемию в стране?

— По крайней мере, действия, которые сейчас совершаются, очень своевременны и правильны. Но, отслеживая динамику, допускаю, что меры должны быть жестче.

— В какой момент нужно объявлять жесткий карантин? Сколько должно быть заболевших?

— Это непростой вопрос. Важно не столько число заболевших, сколько экспоненциальный характер роста их числа и тяжесть их состояния. Если происходит резкое увеличение числа случаев, несомненно, нужны более решительные меры. Но мы сейчас видим, что такие меры осуществляются.

— Сейчас многие начали для профилактики принимать так называемые противовирусные препараты: арбидол, кагоцел, оциллококцидум. Как вы к этому относитесь? Есть в этом смысл?

— Самолечение и медицинская самопрофилактика к добру не приведут. В отношении указанных вами препаратов нет доказательств их эффективности. Я бы рекомендовал не принимать их, а больше сконцентрироваться на мерах неспецифической защиты. Если мы говорим об иммунитете, то это здоровый образ жизни, физическая активность, витамины, сон, выработка устойчивости к стрессам. А в отношении профилактических мероприятий — это регулярное промывание носа, зева изотоническими растворами соли. Важнее всего чистые руки. Недаром 15 октября каждый год мы отмечаем всемирный день чистых рук. Руки в быту, а в медицинских условиях особенно — это 50–70% всех внутрибольничных заражений. Поэтому и существуют определенные методики, разработанные ВОЗ, как правильно мыть руки. Плюс обработка антисептиками, перчатки. Перчатки не заменяют мытье рук. После снятия перчаток надо обязательно вымыть руки.

— И все же: существуют ли средства медикаментозной профилактики коронавирной инфекции?

— Есть определенные рекомендации, они изложены во временных рекомендациях, разработанных специалистами и размещенными на сайте Минздрава. Они постоянно обновляются. Вообще лечить вирусы — это дело очень сложное, поэтому мы и делаем упор на вакцины. Препаратов для их профилактики и лечения, по сути, нет, при коронавирной инфекции делаются попытки использовать средства, эффективные для лечения других вирусных инфекций, ВИЧ-инфицированных лиц и др.

— А почему удалось создать эффективные антибактериальные препараты, но невозможно создать такие же противовирусные?



ПАНГОЛИНЫ, или ящеры (Pholidota), — отряд плацентарных млекопитающих. По ряду особенностей близки к броненосцам и муравьедам.

— Так это же вирус. Он внутри клетки. Он там прячется. Его достать, воздействовать на него гораздо сложнее. Есть целый ряд препаратов, действие которых направлено на то, чтобы замедлить его репликацию, снизить скорость проникновения вируса в клетку. С антибактериальными препаратами все проще, хотя сейчас антибиотикорезистентность — это одна из глобальных проблем. И, боюсь, она скажется и в нынешней ситуации.

— Как вы думаете, когда ситуация с коронавирусом успешно разрешится?

— Сложно сказать. Очень многое зависит как от правительств разных стран, так и от врачей и простых граждан. Надеюсь, эта ситуация привлечет внимание общественности к инфекционным болезням, которые в нашей стране оказались в загоне. Сейчас все внимание оказалось сосредоточенным на хронических неинфекционных болезнях, а к нашим специальностям внимание недостаточное. Между тем инфекционные болезни опасны заразностью и непредсказуемостью. Они оказывают огромное влияние на возникновение и течение болезней дыхательных путей, системы кровообращения, нервной системы, на онкологические болезни... Сегодня известно, что 11 микроорганизмов вызывают онкологические заболевания. Появились данные о том, что микробные агенты играют роль в возникновении атеросклероза, диабета и многих других болезней. Поэтому сбрасывать со счетов инфекционные болезни ни в коем случае нельзя. Нам нужны грамотные эпидемиологи, инфекционисты, без них мы с грядущими проблемами не справимся. ■

Беседовала Наталья Лескова



«Нам необходима качественная лабораторная диагностика»

Один из ведущих мировых экспертов в области бронхолегочных заболеваний, президент Российского респираторного общества академик Александр Григорьевич Чучалин — о коварстве *COVID-19*, об особенностях пневмоний нынешнего года, о том, как не допустить масштабной эпидемии и какие меры принять каждому из нас, чтобы не заболеть.

— **Александр Григорьевич, есть ли для вас в поведении новой коронавирусной инфекции что-то новое и неожиданное?**

— В XXI в. это вторая пандемия после острой респираторной инфекции, которая в обиходе получила название «свиной грипп». И это вторая эпидемия, которая пришлось на коронавирус. Это, конечно, нечто новое, непрогнозируемое. Был научный прогноз, который касался в основном птичьего гриппа, предполагалось, какие возбудители будут циркулировать, и эти прогнозы сбылись. Тогда была высокая готовность контролировать эту вирусную инфекцию, и она оказалась успешной. А то, что случилось с коронавирусом в декабре 2019 г. и в последующие месяцы 2020-го, — такого прогноза ни у кого не было. В этом смысле — безусловно, неожиданность.

— **Как вы думаете, почему именно эта инфекция вызвала такой переполох во всем мире? Ведь это не первая инфекция, которая имеет тяжелые последствия.**

— Да, коронавирусная инфекция — это одна из наиболее распространенных инфекций у человека. Более 30% жителей разных стран, а в некоторых странах даже больше, переносят коронавирусную инфекцию. Это в основном касается тех, у кого развивается синдром острой простуды. Как правило, пик приходится на сентябрь-октябрь, когда люди возвращаются из отпусков. В этот период очень часто наблюдаются простудные заболевания. Если перевести в абсолютные цифры, то в России около 27 млн человек каждый год переносят коронавирусную инфекцию. Это данные только по обращаемости в лечебные учреждения Российской Федерации.

— **А ведь многие даже не обращаются!**

— Да, но все равно это очень большая цифра. Коронавирусы на втором месте среди циркулирующих в популяции. Но все это — другие коронавирусы, которые нам хорошо известны. Они поражают верхний отдел дыхательных путей. То, что произошло в 2002 г., затем в 2012 г. и сейчас (заметьте, с тем же интервалом в восемь-девять лет), в 2019–2020 гг., — это третья вспышка коронавируса, который в ряде случаев протекает значительно более тяжело и остро.

— **Чем отличаются пневмонии у COVID-положительных пациентов от обычных пневмоний?**

— У тех больных, которых я наблюдаю в Москве, в частности, в больнице в Коммунарке, вижу отличие этой пневмонии в ее коварстве. У человека нет признаков пневмонии, а есть признаки дыхательной недостаточности — невыраженная одышка в состоянии покоя, но при этом пониженные показатели насыщения ткани кислородом. Это называется десатурацией. Она падает у этих людей, не до катастрофических цифр, но падает. И когда мы проводим исследование компьютерной томограммы, выявляем пневмонии. Эти пневмонии мы не слышим, поэтому мы их называем афоничными. Более или менее устойчивый признак — лимфоцитопения (аномально низкое количество лейкоцитов в крови).

Итак, триада симптомов: лихорадка, сухой непродуктивный кашель, дыхательный дискомфорт. Из лабораторных тестов наиболее информативные два: первый — пониженное содержание лейкоцитов; второй — на компьютерной томограмме выявляются те изменения, которые характерны для пневмонии. Так ставится диагноз «пневмония», но он всегда требует дополнительной молекулярно-биологической диагностики.

— **Специалисты говорят, что нынешний недуг особенно опасен для лиц пожилого возраста. Однако мы получаем сведения, что могут тяжело заболеть люди средних лет. С чем это связано? Почему одни болеют тяжело, а другие — легко?**

— С особенностями течения болезни у пожилых все более или менее ясно. С возрастом человек теряет способность поддерживать врожденный иммунитет. И это основная



ТЕСТ НА АНТИТЕЛА
к коронавирусу нужен,
чтобы подтвердить или снять диагноз



ЛАБОРАТОРИИ,
исследующие коронавирус, должны
иметь лицензию для работы
с пробами II степени опасности

причина того, что именно пожилой контингент чаще всего встречается среди людей, болеющих тяжелыми осложненными формами коронавирусной инфекции. Ради справедливости нужно сказать, что это обычно протекает на фоне сопутствующих заболеваний, таких как артериальная гипертония, ишемическая болезнь сердца, хронические легочные заболевания; болезни, которые связаны с неврологической системой, и т.д. Это тоже надо учитывать: инфекция пришлось на организм уже не очень-то здоровый. Однако итальянские авторы сообщают, что на их популяции заболеваемость сместилась приблизительно на десять лет и контингент тяжелых пациентов теперь колеблется в пределах возраста 45–50 лет. Он стал очень уязвимым по перенесению коронавирусной инфекции.

— Почему же так происходит?

— Итальянский вариант имеет свои особенности. Сейчас трудно комментировать — у нас слишком мало фактов. Это лишь мои наблюдения. Но такое впечатление, и это подтверждают первые научные публикации, что итальянский геном вируса отличается от китайского. Так это или нет — требует доказательства. Но если это так, наверняка здесь и кроется ответ на ваш вопрос.

— Вы наблюдали в Коммунарке пациента 44 лет, который вернулся из Италии

в тяжелом состоянии, требовал длительной интубации и реанимационной помощи...

— Нет, он не был интубирован. Больной действительно был тяжелый, но мы его провели консервативно. А вот его отца, который от него заразился, уже пришлось интубировать.

— У них был итальянский вариант вируса?

— Да. Вероятно, именно поэтому он протекал так тяжело.

— С недавних пор, как вы знаете, больным с легкой формой COVID-19 разрешили находиться и лечиться дома. Как вы считаете, это правильное решение?

— Я думаю, это правильно. Если говорить о больнице в Коммунарке, то, не побоюсь этого слова, это одна из лучших больниц Европы — по своим организации, архитектуре, оснащению и блистательно работающему медицинскому персоналу. Но таких больниц больше нет. Она единственная на всю Москву. Не буду говорить о других городах. Поэтому держать в больнице всех людей с подозрением на коронавирус не просто бессмысленно, но и невозможно. Нет таких ресурсов. И не только в нашей стране. Многие страны перешли на то, чтобы легкие формы лечить в домашних условиях. Но для этого должна

работать система. Надо не просто взывать к людской сознательности, но и создавать все условия, чтобы люди могли проходить необходимые исследования амбулаторно, получать лечение, работать дома, не нуждаясь в самом необходимом.

— Вы говорили о ложноотрицательных тестах на коронавирус. Как вы думаете, почему это происходит?

— Это очень болезненная тема. Китай продемонстрировал всему миру, как гармонично решить эту проблему. Они подошли к ней со всех сторон: в организации, в образовании общества, в подготовке врачей и всей лабораторной медицины. Есть такое направление — лабораторная медицина. У нас с этим большая проблема. А ведь больному, у которого мы подозреваем эту инфекцию, нужно сдать не один анализ, а несколько. Есть анализы скрининговые, а есть более точные. Они дорогостоящие, и тут нужна более высокая квалификация специалистов. Китай показал всему миру и Всемирной организации здравоохранения, что надо в первую очередь сделать тесты. Без тестов проблему не решишь. Это очень важно, и мы видим путь, как это надо преодолевать. Для нас это некоторый вызов. Не только для нашей страны. Врачи в США, в частности в госпиталях штата Нью-Джерси, выдвинули очень серьезные упреки по организации лабораторной службы в стране. Наше общество, как вы знаете, более молчаливое, терпимое и терпеливое. Но для нас это очень острая проблема. Лабораторная служба перегружена до предела. И те возможности, которые у них сегодня есть, ограничены для решения нынешних проблем здравоохранения.

— Александр Григорьевич, я прочитала на официальных сайтах органов системы здравоохранения, что пациентам, которые будут лечиться от этой инфекции дома, будут рекомендованы противовирусные препараты — например, лопиновир/ритонавир, — которые ранее использовались для больных ВИЧ и СПИДом. Но при этом многие специалисты говорят о том, что коронавирусная инфекция — это один из видов острой респираторной инфекции, при которой вообще не рекомендуются противовирусные препараты. Зачем же легкие формы COVID-19 лечить противовирусными препаратами, да еще такими токсичными?

— Разделяю вашу озабоченность. Эта рекомендация идет вразрез с теми данными, которые накопил Китай. Китайские врачи подготовили специальный доклад

о неэффективности лопиновира, ритонавира, рибаверина у больных этой инфекцией. Я боюсь, что здесь прослеживаются финансовые интересы какой-то группы людей. Если исходить из накопленного опыта и говорить о лекарственных препаратах, то можно сказать, что наша санитарная служба подготовила очень хороший документ по экстренной профилактике и поддерживающей терапии у больных, инфицированных коронавирусом. Здесь применяются в основном те лекарства, которые оказались эффективны при лечении гриппа. Это группа ингибиторов нейраминидазы. У нас есть препараты с антивирусной активностью, и их надо разумно использовать.

— А что вы думаете о применении моноклонального антитела туцилизумаба для лечения больных с COVID-19?

— Это интересное исследование, которое провели китайские военные медики. Целевые клетки — *CD147*. Это клетки, обеспечивающие иммунный ответ, с которыми связана продукция определенных иммуноглобулинов. С этими клетками связывают также развитие сложных онкологических заболеваний — мастоцитоза, некоторых меланом, других опухолевых заболеваний. У этих лиц применили моноклональные антитела против *CD147*. Исследования показывают, что удастся выделить вирус из эпителиальных клеток, которые уже подверглись воздействию коронавируса. Эти уникальные данные они опубликовали в престижных научных журналах. Можно верить, что такая возможность есть. Инфекция, о которой мы с вами сейчас ведем беседу, стала стимулом к разработке большого количества новых препаратов. Сейчас в мире проводится более 80 клинических испытаний разных групп лекарственных препаратов. Применяются и стволовые клетки, и новое поколение пептидов, и моноклональные антитела, и многое другое. Почти каждый день мы слышим новые предложения. Мир активно настроен на то, чтобы увидеть эффективное лекарственное решение для профилактики и лечения этой инфекции.

— Александр Григорьевич, вы пульмонолог, специалист по заболеваниям бронхолегочной системы. Каковы особенности протекания этой вирусной инфекции у больных с бронхиальной астмой, с муковисцидозом, другими заболеваниями?

— Сопутствующие заболевания имеют большое значение. В большом массиве данных, которые сейчас обрабатываются с помощью искусственного интеллекта, — это

те люди, которые больше предрасположены к этой инфекции, чем те, кто таких заболеваний не имеет. Легочные хронические заболевания позволяют вирусу активнее внедряться, размножаться и поражать эпителиальный покров дыхательных путей. Поэтому таким людям сейчас надо проявлять повышенную осторожность.

— Мы говорили с вами ранее о развале системы здравоохранения в нашей стране. Как вы думаете, это будет сказываться на нынешней ситуации или, может быть, уже сказывается?

— Конечно, сказывается. Например, у нас в стране был Институт вирусологии, который долгие годы возглавлял ученый мирового уровня, лидер мировой вирусологии академик Д.К. Львов. Института фактически нет. Нет места работы академику Львову. Это тоже вызов. Это пощечина, откровенно говоря, тому здравоохранению, которое формировалось и формируется в настоящее время. Те же китайцы вложили очень большие средства именно в развитие вирусологии. Эта страна в течение двух недель решила вопрос идентификации вируса, описала его геномную структуру, быстро создала систему диагностики, протестировала разные лекарственные режимы и вышла из этой пандемии. Она показала всему миру такую возможность. Без ученых такую проблему решить нельзя. Наша страна, которая столь беспечно поступила по отношению к ученым, особенно вирусологам, сейчас расплачивается той ситуацией, которая есть.

— Можно ли что-то сейчас изменить к лучшему? Или уже поздно?

— Надеюсь, можно. Подрастает новое поколение врачей. Хорошо работают молодые ученые в «Векторе», некоторых других структурах. Но крайне важно сочетание молодости и мудрости ученых. И это не быстро достается. Сегодня президент РАН А.М. Сергеев поставил задачу максимально мобилизовать академическую науку. Появилось конкурсное исследование в области вирусологии. Этот конкурс начнет работать уже сейчас, в апреле-мае. Но нужно время, чтобы пришли новые данные, выросли новые ученые. Ректор МГУ В.А. Садовничий собрал ведущих ученых университета и тоже поставил эту задачу. Мы постараемся ликвидировать брешь, которую создала наша система здравоохранения, но, к сожалению, в один день это не делается. А ситуация такая, что действовать надо быстро.

— В социальных сетях увидела публикацию доктора, который в «Декатлоне»

приобрел маску для подводного плавания, с помощью 3D-печати сделал переходник на фильтр и в этой маске оперирует. Многие его коллеги в полном восторге и просят сделать такую же. Это означает, что уже сейчас не хватает такого рода медицинского оборудования?

— Много чего не хватает. Это крайне тревожный факт. Но в первую очередь нам не хватает мощности по лабораторной диагностике. Тут не помогут никакие самодельные приспособления. Хорошая лабораторная диагностика позволит рано ставить диагнозы и не доводить наших пациентов до тяжелого состояния. Не нужно будет супермашин для искусственной вентиляции легких, экстракорпоральной гемоксигенации. Надо идти на опережение, а оно связано с лабораторной медициной.

— Каков ваш прогноз развития ситуации в нашей стране?

— Я считаю, что у нас не будет итальянского сценария. Уверенность мне внушают хорошая организация санитарной службы, карантинная служба, которая была введена в стране главным санитарным врачом А.Ю. Поповой. Мне кажется, это эффективно. Я слежу за ситуацией в Италии, там работает много моих учеников. Италия оказалась полностью неподготовленной к тому, чтобы встретиться с такой инфекцией и эффективно с ней бороться. В России, мне кажется, это не должно повториться. По моим прогнозам, вспышка должна закончиться в мае — начале июня нынешнего года.

— Для того чтобы такой оптимистический прогноз оправдался, что должны делать наши читатели?

— Сам человек очень много может сделать. Генеральный директор ВОЗ сказал, что человеку нужно соблюдать пять правил. Первое: исключить рукопожатия. Второе: не обниматься. Третье: культурно чихать — закрыть нос, рот, чтобы капельки не вырывались наружу. Четвертое — носить маску.

— Носить маску всем или только заболевшим?

— В первую очередь, конечно, заболевшим и если вы оказываетесь в среде заболевших. Но если вы не уверены, кто болен, а кто здоров, — лучше маски надеть всем находящимся в общественных местах. Очень важно соблюдать дистанцию — один метр как минимум от одного до другого человека. Ну и, наконец, последний пункт, который очень важен: если вы заболели, у вас температура, оставайтесь дома, не идите на работу, в общественный транспорт, людные места, торговые



центры. Я бы к этому добавил шестой пункт — как правильно ухаживать за верхним отделом дыхательных путей. Нужно обязательно каждый вечер промывать свои носовые ходы, делать глубокое полоскание горла. Вирус проникает именно через эпителиальные клетки носа и глотки. И механическое удаление слизи, через которую мы избавляемся от этих погибших эпителиальных клеток, крайне важно. Уделите около пяти-семи минут гигиене верхнего отдела дыхательных путей — и шансов заболеть у вас будет заметно меньше.

— **Вы сами придерживаетесь всех этих рекомендаций?**

— Да, придерживаюсь. А еще я рекомендую принимать витамины групп А, Е и цинксо-держущую соль.

— **Мы все помним стихи Ярослава Смелякова: «Если я заболею, к врачам обращаться не стану, обращусь я к друзьям...» На самом деле все нужно делать ровно наоборот: позвать врачей, а друзей — ни в коем случае.**

— Коварство этой болезни в том, что часто она протекает очень мягко, в виде легкого недомогания, но раскрутка может наступить в течение нескольких часов. Очень важно не дать возможности болезни перейти в этот драматический сценарий. Вы верно подметили: первым пунктом в этом списке стоит обязательное обращение к врачу. А вот контакты с другими людьми нужно минимизировать. ■

Беседовала Наталия Лескова



«Наша цель — предотвратить развитие тяжелых осложнений»

Рассказывает академик Владимир Петрович Скулачев, директор Института физико-химической биологии им. А.Н. Белозерского МГУ, декан факультета бионженерии и бионформатики МГУ.

— **Владимир Петрович, в чем суть предлагаемой разработки?**

— Есть три основных подхода в спасении людей от вируса. Первый и самый действенный — разработка вакцины. Но, к сожалению, это путь не быстрый. Второй способ — противовирусные препараты, которые не дают вирусу войти в клетку или подавляют его репликацию внутри клетки. Это более универсальный путь, и уже есть подтверждения, что некоторые из имеющихся антиретровирусных препаратов могут здесь оказаться эффективными. Сейчас ведутся соответствующие клинические исследования.

Наш же подход принципиально иной. Дело в том, что вирус плох двумя вещами. Первая — его собственное размножение и гибель клеток из-за большой вирусной нагрузки. Второй аспект — наша собственная ответная реакция на заражение вирусом. И это происходит именно в тяжелых случаях, когда идет массовая гибель клеток легкого, в кровь выбрасываются обломки клеток и частицы вируса, что запускает реакцию, которая называется синдром системного воспалительного ответа, или сепсис.

Самая страшная часть септического шока не связана с патогеном. Это собственный ответ организма на то, что в нем появилось что-то лишнее. Вот почему реаниматологам

известен такой оксюморон, как асептический сепсис, когда бактерии уже убили антибиотиком или их вообще не было (так бывает, например, при травмах), но начинает развиваться точно такая же собственная ответная реакция, как при заражении крови. Как с этим бороться, не совсем понятно.

Тем не менее механизм этой реакции известен, ее основной элемент — это цитокиновый шторм. Цитокины — это молекулы воспаления, которые в огромном количестве вырабатываются разными клетками и выбрасываются в кровь в тот момент, когда наш организм находится в угрожающем состоянии.

— **Широко известна ваша гипотеза о том, что в организме имеется контрпродуктивная программа, нужная для эволюции вида, но вредная для отдельного организма. Каким же образом она могла пригодиться в этой ситуации?**

— Мы с моим сыном, верным помощником и соавтором Максимом Скулачевым уже писали в наших статьях, что септический шок — это типичный пример запрограммированной гибели организма — феноптоза. Сейчас же мы обратили внимание на то, от чего погибают тяжелые пациенты с COVID-19. Выяснилось, что один из важных элементов патогенеза — тот самый

ПНЕВМОНИЯ ПРИ COVID-19
имеет свою особенность, из-за которой ее замечают слишком поздно, важно вовремя ее распознать



цитокиновый шторм, системное воспаление, которое приводит к разрывке контактов между клетками эндотелия и сосудов, сосуды становятся более проницаемы для жидкостей, для клеток воспаления. Это довольно сложная система, хорошо известная биологам и врачам как страшный бич многих тяжелых пациентов. Лекарства от него нет. И вот тут у Максима появилась идея: нельзя ли использовать наши предыдущие разработки для борьбы с вирусом? Мне эта идея показалась интересной, и мы начали работать.

— **И к каким выводам вы пришли?**

— Есть данные, что для развития этого системного воспаления в клетках эндотелия сосудов необходимы свободные радикалы — активные формы кислорода из митохондрий. В данном случае мы не можем точно сказать, участвуют они как повреждающий агент, как яд, убивающий клетки, или просто как сигнальная система. Ведь в ряде случаев свободные радикалы используются как хорошо проникающие, массированные сигналы. Об этом мы продолжаем думать.

После введения нашего препарата более 70% мышей выживали, в то время как в контрольной группе наблюдалась стопроцентная смертность

Однако с точки зрения разработки лекарства это не так уж важно. Мы ведем исследования уже больше пяти лет, и на разных моделях они показывают, что митохондриальные антиоксиданты, в том числе наше вещество *SkQ1*, способны подавить эту воспалительную реакцию в эндотелии сосудов.

Идеологически это очень правильно. Если мы считаем, что *SkQ* работает как средство от фенотоза, запрограммированной гибели организма, то он вполне может работать как при медленном процессе вроде старения или хронических заболеваний, так и в острых случаях, таких как сепсис. Мы видели это на нескольких животных моделях, когда у мышей искусственно вызывали резкое увеличение концентрации цитокина воспаления — *TNF*, после чего животные обычно погибали. Но после введения нашего препарата более 70% мышей выживали, в то время как в контрольной группе наблюдалась стопроцентная смертность. На эту тему в 2017 г. вышла работа, сделанная нашим институтом в соавторстве с бельгийскими учеными из Гентского университета.

А сейчас, когда начала развиваться ситуация с коронавирусом, мы решили переориентировать нашу работу в этом направлении. Дело в том, что, как и при других опасных легочных инфекциях, самым тяжелым осложнением для пациентов становится острый респираторный дистресс-синдром (ОРДС) с отказом работы легких. Об этом говорилось в статьях об атипичной пневмонии (*SARS*) в 2003 г., несколько недель назад появились работы по *COVID-19*. ОРДС наступает в результате системного воспаления и цитокинового шторма. Соответственно, идея состоит в том, что наша молекула *SkQ1* может предотвратить развитие ОРДС у пациентов с *COVID-19*, у которых начала развиваться пневмония и прогнозируется тяжелое течение заболевания.

— **Как вы считаете, можно ли уже приступить к клиническим исследованиям, то есть попробовать *SkQ1* на больных *COVID-19*?**

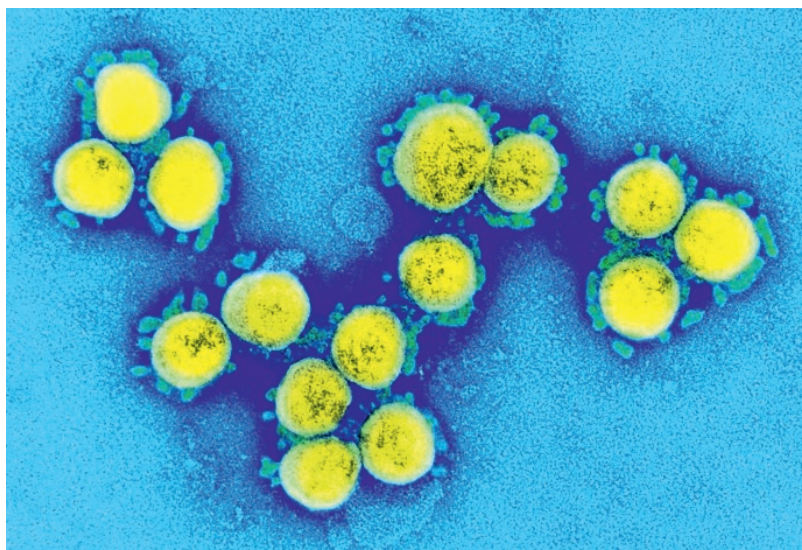
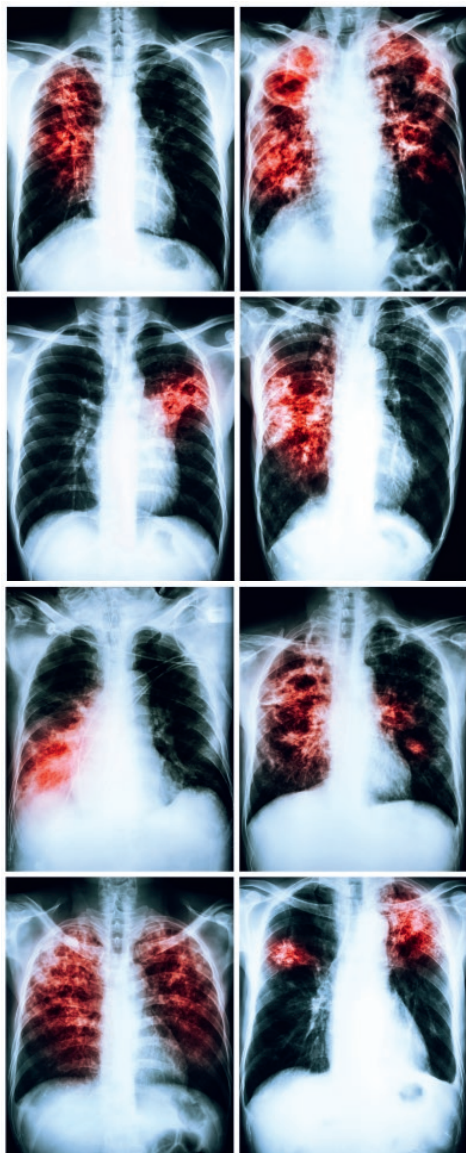
— Нет, так пока еще делать нельзя. Хотя все, что мы делали в последние годы с *SkQ1*, можно заложить в пакет документов, необходимых для получения разрешения на клиническое исследование. У нас уже есть прототип инъекционной лекарственной формы. Но нужно еще раз убедиться, что это безопасно. Параллельно мы пытаемся смоделировать эту ситуацию на животных. На эту работу нужно от двух месяцев до года.

— **Но вы же понимаете, что даже два месяца — это много в нынешних условиях. Препарат нужен срочно.**

— Надо строго доказать, что препарат безопасен и эффективен. Мы эту работу уже начали и делаем все возможное, чтобы как можно быстрее приступить к клиническим исследованиям. Успеем ли мы за два-три месяца? Не могу сейчас сказать, тут очень много звезд должно сойтись. В частности, не должно быть никаких негативных последствий введения препарата лабораторным животным. Я уверен, что это так, но моей уверенности недостаточно — нужны результаты испытаний.

Нам в первую очередь важен принцип «Не навреди». И мы, и эксперты Минздрава должны взвесить все положительные моменты и оценить риски, неизбежные при переходе нового лекарства в стадию клинических исследований. Тут нельзя заниматься самодеятельностью — на испытание надо получить разрешение. В спокойной ситуации на это нужно примерно полгода. Возможно, что в нашей стране, как и в других странах, препаратам против *COVID-19* будет предоставлен *fast track*. Ведь доклинические и клинические исследования придуманы не просто так. Без них невозможно дать ответ, помогает лекарство или нет. Надо проверить сто раз, а уже затем бросаться спасать наших пациентов. ■

Беседовала **Наталья Лескова**





«Нам на руку то, что любой вирус термически неустойчив»

О трех самых острых проектах нынешнего дня, вызовах, которые нам бросает коронавирус, и о том, насколько мы готовы на эти вызовы отвечать, — беседа с научным руководителем Института биохимической физики им. Н.М. Эмануэля членом-корреспондентом РАН Сергеем Дмитриевичем Варфоломеевым.

— **Сергей Дмитриевич, знаю, что у вас имеются актуальные предложения, связанные с нынешней коронавирусной инфекцией. О чем идет речь?**

— Главный фактор распространения вируса по Земле — система самолетного обеспечения человечества. Как следствие этого величайшего достижения мы имеем полную или почти полную гомогенизацию среды по вирусам. Много лет назад была сформулирована задача и начаты соответствующие исследования. По их итогам мы провели три крупные международные конференции, спонсируемые корпорацией *Boeing*. Вопрос ставился так: можно ли в течение нескольких минут выделить находящиеся в воздухе патогенные микроорганизмы и идентифицировать их с целью предупредить принимающую сторону о том, что им следует быть осторожными?

Поначалу казалось, что решить эту задачу невозможно. Сейчас она фактически решена. У нас на кафедре химической энзимологии химического факультета МГУ, которой я заведу уже более 35 лет, и в Институте биохимической физики им. Н.М. Эмануэля, где я научный руководитель, были проведены серьезные исследования на эту тему. И.Н. Курочкин, выдающийся наш исследователь, сделал систему, которая позволяет в течение десяти минут определить содержание патогенов в воздухе, в том числе различных вирусов. Эта разработка базируется на явлении, которое было открыто много лет назад. Называется оно *SERS* (*Surface-enhanced Raman spectroscopy*, «рамановская спектроскопия, увеличенная взаимодействием наночастиц»). Там можно в 10^4 раз увеличить сигнал. На этой основе сделан метод, который сегодня может быть применен. Конечно, он требует аппаратной доработки, внедрения, но я уверен, что он будет работать. Это главный фактор детекции вируса и, соответственно, борьбы с инфекцией.

Вторая разработка, не менее существенная и актуальная сейчас, связана с тем, что вирусы в отличие от клеток человека и животных термически

не защищены. У них нет механизмов защиты. Вирус гриппа погибает в течение пяти минут при температуре 56°C . Вирус ВИЧ при температуре 70°C в течение 20 минут в 100 раз понижает свою концентрацию в крови. Список можно продолжать долго. Все вирусы в той или иной степени температурно неустойчивы.

Благодаря работам, выполненным в Институте пульмонологии и на его клинической базе — в Городской клинической больнице им. Д.Д. Плетнева ДЗМ, — в дыхательной системе человека научились создавать условия, при которых вирус гибнет. Этой работой руководил академик А.Г. Чучалин, техническую часть обеспечивал выдающийся инженер А.А. Панин, а наш институт также принимал в этом активное участие. Создана уникальная аппаратура, которая прошла клиническую апробацию в стенах больницы, получив подтверждение эффективности и безопасности.

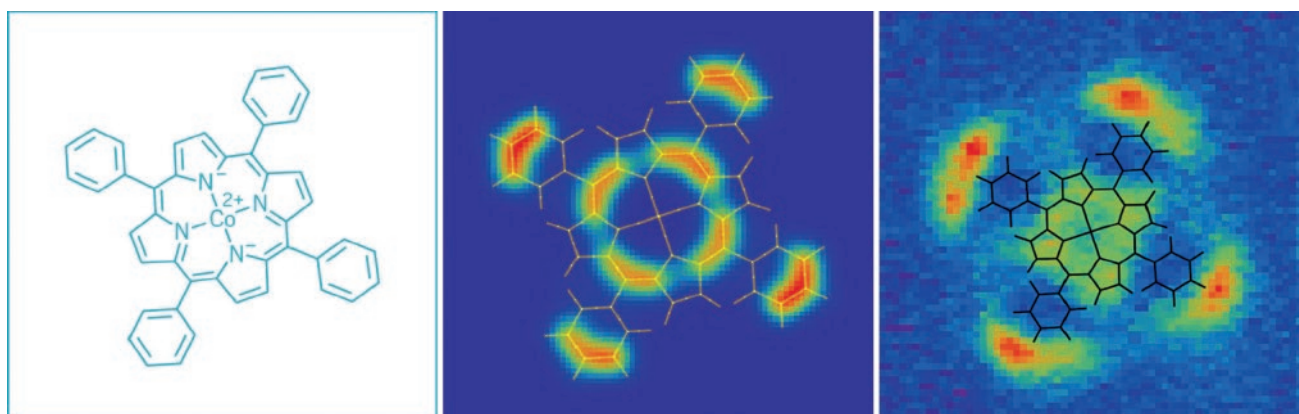
— **В чем суть работы этой аппаратуры?**

— Любое воспаление на уровне организма связано с повышением температуры. Повышение температуры до $40\text{--}41^\circ\text{C}$ в течение одного-двух дней драматически меняет концентрацию вирусов в крови человека. Мы только что закончили математическую модель, с помощью которой было показано, что за несколько минут при температуре в 70°C концентрация вирусов падает в 15–20 раз.

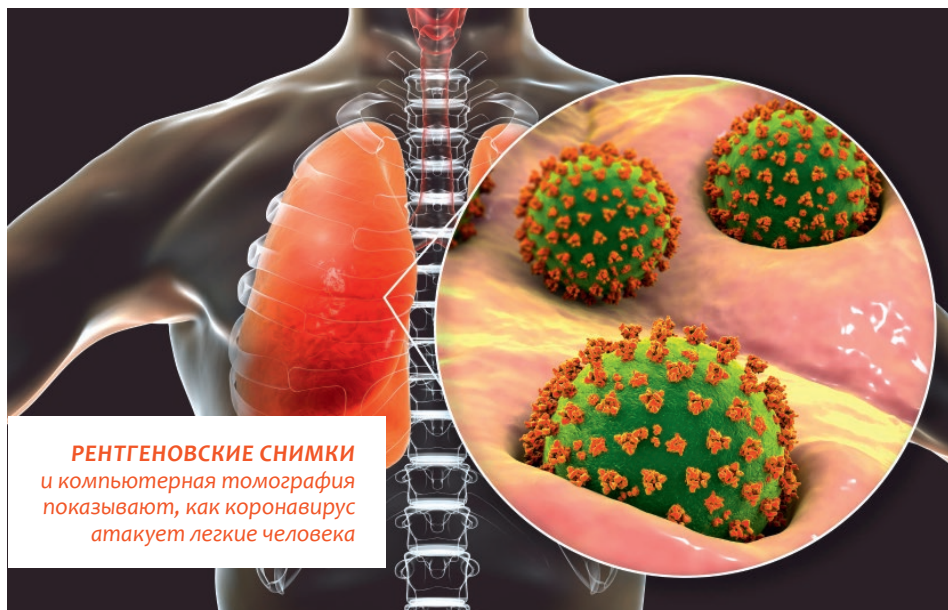
В течение ряда лет наши коллеги-врачи в стенах этой больницы успешно используют смесь гелия с кислородом, подогретую до $70\text{--}90^\circ\text{C}$, для дыхания человека. Технология термогелиокса (подогретой смеси гелия с кислородом) показывает высокую эффективность при целом ряде патологий, связанных с дыхательной недостаточностью. Это астма, ХОБЛ, состояния после инфарктов и инсультов, ряд патологий беременности, когда развивается дыхательная недостаточность матери и плода.

— **Почему возможна столь высокая температура без вреда для пациента?**

— Это связано со свойствами гелия. Он имеет более низкую теплоемкость и поэтому не обжигает



ПРИМЕР РАМАНОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ (SERS) для отображения колебательных режимов в одной молекуле порфирина



РЕНТГЕНОВСКИЕ СНИМКИ
и компьютерная томография
показывают, как коронавирус
атакует легкие человека

дыхательные пути. Ясно, что если вы будете в течение получаса дышать чистым воздухом с температурой 70–90° С, велик риск ожога дыхательных путей.

— Хотя в сауне температура поднимается почти до таких значений.

— Верно. Человечество интуитивно вырабатывает свои методы борьбы с болезнетворными микроорганизмами, и многие из них оказываются верными. Но вы не отправите в баню пациентов с последствиями инфаркта, инсульта, астмой или патологией беременности. А этот метод позволяет значительно улучшить их состояние, не нанося никакого вреда организму. Все дело в том, что высокие температуры разогревают кровь, за 20 минут сердце прокачивает ее через себя 15–30 раз, тем самым вы нарушаете устойчивость РНК вирусов, присутствующих в крови пациента. Это, на мой взгляд, принципиально новое решение, которое человечеству стоит взять на вооружение. Особенно это актуально сейчас, когда у нас появляется множество пациентов с тяжелыми формами пневмонии.

Особенность термического гелиокса состоит в том, что он позволяет расправлять легкие. Дело в том, что человек использует для дыхания всего 15–20% объема легких. А вдыхание этой субстанции позволяет включить весь объем легких. Кроме того, термогелиокс расширяет микрокапилляры во всех органах и тканях, он вообще благоприятный фактор для функционирования всего организма. В-третьих, если вы поднимете температуру этой субстанции до 70–90 градусов, то это дает серьезный шанс разрушить частицы белка, составляющие основу жизни вирусов, обитающих внутри ваших клеток. Их РНК от таких воздействий не защищены.

— Есть ли клинический опыт лечения с помощью этого метода вирусных заболеваний?

— До последнего времени не было. Но не так давно попробовали лечить термическим гелиоксом очень суровые осложнения гриппа. Результаты получены более чем обнадеживающие. Есть все основания полагать, что он покажет высокую эффективность и при коронавирусной инфекции и ее осложнениях.

— Как вы думаете, каким образом будет раз-

виваться ситуация с коронавирусом?

— У меня есть оптимистическое ощущение, что в течение ближайших полутора-двух месяцев пандемия пойдет на спад по очень простой причине: температура воздуха в зонах поражения будет подниматься до 25–30° С. Возникнет ситуация, неблагоприятная для размножения и распространения вируса. В наших условиях также будет играть роль инсоляция ультрафиолетом. Обычно вирус не может жить при нормальной температуре больше получаса. Хотя, конечно, нынешний коронавирус еще мало изучен и мы не совсем понимаем, как он себя поведет.

— Сейчас в Индии жарко, а эпидситуация по коронавирусу крайне тревожная.

— Это настораживает. С другой стороны, в Индии вообще очень нехорошая эпидобстановка. Плотность населения выше, чем в салоне самолета. Многие люди живут на улицах. Но, думаю, такие страны, как Италия и США, на фоне скорого потепления уже скоро почувствуют спад пандемии.

— Однако в нашей стране количество заболевших пока растет в геометрической прогрессии. Как вы думаете, можно ли на этом фоне широко применять термический гелий?

— И можно, и нужно. Эти аппараты стоят совсем небольших денег, их надо быстро делать в нужном количестве и применять во всех больницах, где есть такие пациенты. Сейчас существует несколько наиболее острых проектов, на осуществление которых надо бросить многие силы. Первый — создание вакцины. Второй — разработка систем, которые бы идентифицировали эпидемиологическую обстановку в том или ином регионе. Третий — внедрение технологии термического гелиокса. ■

Беседовала Наталья Лескова



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



КАК

COVID

МЕНЯЕТ ОБРАЗ БУДУЩЕГО

Наряду с вопросами о происхождении нового коронавируса множество вопросов вызывает то, как люди переживают это время и каким они видят свое будущее. О психологических метаморфозах, вызванных пандемией, — наша беседа с заведующим лабораторией социальной и экономической психологии Института психологии РАН профессором РАН Тимофеем Александровичем Нестиком.

ПСИХОЛОГИЯ

COVID-19





Профессор РАН Т.А. Нестик

— **Что такое «коллективный образ будущего»?**

— В отличие от индивидуального образа будущего коллективный образ — это разделяемые обществом цели, планы, сценарии их достижения, ожидания. Важная часть коллективного образа будущего — коллективные страхи, надежды, а также коллективные мечты, которые не предполагают свершения событий в ближайшей перспективе. Не будем забывать и об идеалах, которые никогда не будут реализованы полностью, но при этом сильно влияют на то, чего мы ждем от будущего.

Некоторые эксперты даже говорят о создании своего рода лимбической экономики — по аналогии с лимбической системой нашего мозга, отвечающей за эмоции. Ведь с социологической точки зрения коллективный образ будущего — это рынок страхов и надежд. И в него сейчас инвестируются огромные суммы денег со стороны как крупных технологических компаний, так и правительств.

— **Как формируется коллективный образ будущего в условиях пандемии?**

— В Институте психологии РАН создана группа специалистов, которая занимается проблемой пандемии. Часть исследований продолжаются, но уже есть некоторые результаты, согласно которым россияне с большей готовностью верят в то, что пандемия приведет к росту агрессии и социального неравенства.

Это согласуется с результатами предшествующих исследований, показывающих, что в России

тревога по поводу глобальных рисков тесно связана с неудовлетворенностью своим материальным положением, чувством социальной незащищенности, озабоченностью по поводу несправедливости в обществе.

Коллективный образ будущего во многом определяется уровнем доверия граждан социальным институтам. Однако исследования показывают, что в России лишь 27% граждан доверяют государству, при этом только треть россиян в принципе доверяют людям.

Для сравнения: в Китае 77% граждан доверяют государству, в Италии — 48%, в США — 45%. В большинстве стран мира в последние годы эксперты отмечают коллапс доверия к социальным институтам, но в России этот процесс выражен особенно сильно. Наш репрезентативный общероссийский опрос, проведенный совместно с ИГ «Циркон» в сентябре 2019 г., показал, что только 26% россиян считают, что в случае массового бедствия региональные и федеральные власти окажут поддержку всем нуждающимся.

Социальный пессимизм растет не только у нас. В развитых странах сокращается количество людей, уверенных, что их потомки будут жить лучше, чем они. Согласно результатам международных социологических исследований, большинство людей считают сложившуюся социальную систему несправедливой. Это приводит к тому, что прежний социальный договор разрушается. Именно

поэтому неожиданный кризис, спровоцированный пандемией, вызывает в первую очередь страхи, а не надежды.

Кроме того, страхи значительно легче распространяются среди населения. Американские исследования показали, что негативная и ложная информация в социальных сетях передается в несколько раз быстрее и с большим охватом, чем позитивная и достоверная. Коллективные страхи действительно быстро объединяют людей. Наши исследования показывают, что они в три раза проще по своему содержанию, чем мечты о будущем. Иными словами, задумываясь о коллективном будущем, мы мечтаем о разном, а боимся одного и того же. В результате СМИ и социальные сети превращаются в «фабрику тревоги», усиливающую и без того негативные психологические последствия пандемии.

При этом наше поведение в отношении глобальных рисков в значительной степени определяется так называемыми дескриптивными нормами — представлениями о том, как будут вести себя другие. И большинство участников серии исследований, которые мы сейчас проводим, не доверяют своим согражданам в том, что те будут соблюдать меры предосторожности и следовать правилам карантина.

Это может показаться парадоксальным, но, обсуждая в социальных сетях ситуацию с коронавирусом, мы запускаем самосбывающиеся пророчества. Это один из тех механизмов, которые обрушивают рынки. Когда мы ожидаем негативных изменений или боимся упустить ту или иную возможность, мы интерпретируем действия других людей — их высказывания в интернете или поведение в продуктовом магазине — как подтверждения наших худших опасений. А это, в свою очередь, провоцирует нас на действия, подстегивающие кризис. В этом смысле страхи, которые мы обсуждаем чаще, чем надежды, ведут нас как раз к тому, чего мы больше всего боимся.

— Каким вы видели коллективный образ будущего россиян до пандемии?

— Если говорить о горизонте планирования в нашей стране, то он очень короткий. Это показывают и наши исследования, и исследования наших коллег — экономистов и социологов. Речь идет о коротком инвестиционном цикле: длинные деньги — очень дорогие.

Свою жизнь подавляющее большинство планирует не дальше, чем на год. Но если говорить об образе будущего, то можно заметить некоторые закономерности. Когда мы задумываемся о долгосрочном будущем, мы склонны оценивать его оптимистически. И вообще, в сверхоптимизме как в когнитивном искажении есть эволюционный смысл, ведь он поддерживает в нас готовность шагать навстречу переменам.

Если взять исследования наших специалистов и коллег из Фонда общественного мнения, ВЦИОМ или «Левада-центра», то россияне, как правило, оценивают будущее России через 20–25 лет позитивно. Это классическая ситуация, когда нам очень сложно повлиять на настоящее, — мы пытаемся поддержать свою самооценку здесь и сейчас, открывая для себя воображаемые перспективы в отдаленном будущем. Однако существует и другой прием в противовес диспозиционному оптимизму: защитный пессимизм. Например, долгосрочное будущее оценивается позитивно, при этом ближайшее будущее — крайне негативно.

Если мы интерпретируем самоизоляцию как собственный выбор и возможность внести вклад в общее дело, нам легче строить планы, которые запускают позитивные самосбывающиеся пророчества

— О каком промежутке времени идет речь?

— Как правило, от года до пяти лет. По крайней мере, это те временные рамки, которые мы задавали в наших исследованиях. В целом опрошенные склонны более негативно оценивать ближайшее будущее, тем самым защищая себя от разочарования. Интересно, что люди, которые занижают свои ожидания относительно ближайшего будущего, могут быть не менее успешными в жизни. Они словно видят некую многовариантность будущего и чаще допускают равную вероятность развития различных сценариев, как позитивных, так и негативных. И такая стратегия, как мне кажется, достаточно конструктивна.

— В условиях пандемии и самоизоляции люди сильнее разобщены или, наоборот, пытаются сплотиться, больше общаться и поддерживать друг друга?

— На самом деле, даже находясь на самоизоляции, мы формируем наше будущее через постановку целей, планов, которые могут опираться, с одной стороны, на подход, при котором человек человеку волк, а с другой — на то, что вместе мы справимся с любыми бедами.

Эти две позиции разделяют оптимистов и пессимистов. Одно из наших исследований показало: оптимисты ожидают, что после пандемии наше

общество станет более морально зрелым, ответственным и организованным. Пессимисты, в свою очередь, уверены, что пандемия приведет к высокому социальному расслоению, еще большему контролю со стороны государства, большей разобщенности, закрытости общества, тревожности и подверженности манипуляциям.

Но главное различие между ними оказалось в том, что оптимисты в большей степени считают себя способными влиять на происходящее. Этим людям кажется, что от них действительно зависит скорость распространения вируса. Например, приняв решение остаться дома, они и правда спасают чью-то жизнь. Кроме того, оптимисты больше доверяют официальной информации, серьезно оценивают опасность коронавируса и поддерживают жесткие меры. Надо сказать, что у оптимистично настроенных людей ниже риск возникновения депрессивных состояний и уровень тревожности.

Если мы интерпретируем самоизоляцию как собственный выбор и возможность внести вклад в общее дело, нам легче строить планы, которые запускают позитивные самосбывающиеся пророчества. И, наоборот, чем в большей степени мы считаем себя жертвами обстоятельств, подстегиваем свое недоверие к власти и информации из официальных СМИ, тем больше наши планы будут провоцировать социальный коллапс.

Разумеется, люди в самоизоляции испытывают сильнейший стресс. Зарубежные исследования показывают, что люди, проводившие в самоизоляции больше десяти дней, значительно чаще страдали посттравматическими расстройствами. По разным данным, от 10 до 30% среди тех, кто находился на карантине, страдают потом от тревожных расстройств, депрессии, раздражительности, чувства вины, нарушения сна. Это вполне

сопоставимо с крупными природными бедствиями: до 45% тех, кто пережил подобные катастрофы, отмечают у себя симптомы посттравматического расстройства.

Что это значит в масштабах страны? Мы прогнозируем серьезный всплеск тревожных и депрессивных расстройств в ближайшие месяцы. К сожалению, они будут иметь длительный эффект. Даже после нескольких лет эти следы психологических травм останутся на нашем коллективном теле.

Во многом последствия будут зависеть от нас, от того, как мы поддерживаем друг друга в сложные времена. Значительно легче перенесут их те, кто увлечен делом, стремится заглянуть в будущее, ставит позитивные цели и использует обстоятельства как новые возможности.

— Как общество относится к государству в условиях пандемии?

— Сегодня тревожные сообщения в СМИ дополняются риторикой войны и чрезвычайного положения, которую используют политики и государственные деятели стран, столкнувшихся с коронавирусом. И отечественные, и зарубежные исследования указывают на то, что травмирующие события, природные бедствия увеличивают сдвиг к авторитарным и консервативным ценностям. Уровень доверия к руководителям, в частности к первым лицам, в такие периоды резко возрастает. Правда, этот сдвиг не бывает долгим, поскольку топливо мобилизации, сплочения перед лицом общей угрозы заканчивается, а все противоречия, существовавшие до кризиса, проявляются острее.

В нынешних условиях чрезвычайно опасным становится алармизм. Он основывается на ошибочном убеждении в том, что если люди не реагируют должным образом на угрозу, то нужно еще громче бить в набат и рисовать картину негативных последствий промедления более яркими красками. Именно в этой тональности ранее велось освещение ряда других глобальных рисков, в том числе угрозы изменения климата. Как наши исследования, проведенные при поддержке РФ, так и исследования зарубежных коллег показывают, что, несмотря на реальную опасность и растущую вероятность глобальных рисков, запугивание оказывается менее эффективной коммуникативной стратегией, чем позитивно сформулированные личные и коллективные цели, опора на соперничество и взаимную поддержку.

Негативные сообщения в СМИ и социальных сетях напоминают людям об угрозе смерти, экзистенциальных рисках. Растет запрос на жесткие, решительные меры, увеличивается готовность противопоставлять интересы своей группы и других, находящихся «где-то там» и несущих угрозу. Кроме того, тревога имеет

Самоисполняющееся, или самосбывающееся, пророчество (англ. *self-fulfilling prophecy*) — предсказание, которое косвенно влияет на реальность таким образом, что в итоге оказывается верным. Предсказание, которое выглядит истинным, но на самом деле не таково, может в значительной мере влиять на поведение людей (например, посредством страха) таким образом, что их последующие действия сами приводят к исполнению предсказания.

генерализованный характер и может концентрироваться на случайном информационном поводе, неосторожном высказывании представителей власти. Иными словами, алармизм усиливает ожидание быстрых действий и радикальность в их оценке со стороны граждан.

Психологические исследования показывают, что в состоянии тревоги управленческие команды, в том числе топ-менеджеры компаний и руководители в антикризисных штабах, становятся более конформными в отношении авторитетных мнений, чаще упрощают ситуацию и реже учитывают альтернативные точки зрения. В результате резко возрастает вероятность ошибки лидера. Растет приверженность ранее принятым решениям, тревога сковывает воображение и затрудняет поиск нестандартных путей выхода из ситуации. При этом снижается способность команды к оценке долгосрочных последствий своих действий. И это именно тогда, когда нужно готовиться к выходу из кризиса и движение на автомате, близорукость слишком дорого стоят. Иными словами, коварство алармизма в том, он создает иллюзию отсутствия необходимости разъяснений, но при этом загоняет в ловушку, когда допущенные второпях ошибки раскалывают общество и снижают социальное доверие.

Альтернативой алармизму должна стать логика позитивных целей, особенно в сообщениях СМИ и комментариях руководителей страны. Освещая события, важно обращать внимание на число спасенных жизней, примеры самоотверженности врачей, заботы граждан друг о друге, социальной ответственности.

Помимо этого нужны четкие непротиворечивые инструкции от исполнительной власти в сочетании с демонстрацией доверия к гражданам. Необходимо помогать людям планировать свою жизнь после кризиса, обсуждать будущее страны на публичных дискуссионных площадках. Важно продемонстрировать гражданам план действий, как государство будет действовать в ближайшие недели, месяцы. В таких условиях позитивные цели намного продуктивнее, чем призывы действовать в режиме военного времени.

— Проблеме национальной идентичности и национальной идее уделяется сейчас большое внимание. Влияет ли ее отсутствие на поведение граждан во время пандемии?

— О том, что России нужна национальная идея, говорят уже больше 20 лет. И, конечно, выработать ее можно, декларируя в определенных исторических документах. Но сложность здесь не только в том, что элиты не всегда готовы смотреть далеко вперед и договариваться о том, каким будет коллективный образ будущего, а в большей степени в том, что образ, спущенный сверху, может сильно противоречить ожиданиям самих россиян.



Слухи и фейковые новости в России и за рубежом спровоцировали рост панических настроений, заставляя людей скупать товары «про запас». На фото — пустые полки магазинов в Англии (взято с сайта Unsplash, фотограф Джон Кэмерон)

Это связано с серьезным разрывом между богатыми и бедными, со стремлением общества к социальной справедливости.

И это не только проблема России. Все дело в том, что в обществе, как правило, нет единого образа будущего. В действительности речь идет о конкурирующих образах и сценариях, которые крайне сложно согласовать. Чтобы это произошло, нужен определенный уровень социального доверия к другим социальным группам, социальным институтам и т.д. Я бы не стал суверенностью говорить о том, какой образ будущего нам сейчас

Когда мы вместе обсуждаем долгосрочное будущее, то важнее для нас не сам результат в виде каких-то картинок, а общий язык, который мы выработаем, чтобы быстрее сверять ориентиры. Это тот самый социальный капитал, который позволяет людям быть более жизнеспособными в условиях быстрых изменений

необходим. Но каким бы он ни был, он совершенно точно будет защищать нашу самооценку.

Вспомните картины будущего писателей или художников-фантастов в 60–70-е гг. XX в. Они все наполнены оптимизмом не только технологическим, но и социальным. Еще 20 лет назад, согласно их идеям, мы должны были построить города на Луне. Но этого не произошло, и во многом из-за того, что общество перестало верить в эффективность социальной системы.

Но все-таки я верю в процессы, которые формируются снизу — когда группа активистов или экспертов представляет интересы разных, а лучше всех заинтересованных сторон, вырабатывает образ будущего для каждого региона, профессии, отрасли и т.д. Если в ходе такого рода обсуждений мы станем больше доверять друг другу, то будущее станет для нас более отчетливым, и при этом мы будем толерантны к неопределенности.

Исследования наших коллег из Института социологии РАН указывают на рост числа россиян, ощущающих одиночество. В свою очередь, наши исследования показывают: чем меньше социальных категорий, к которым человек может себя отнести, тем сложнее ему ответить на вопрос «Кто я такой?» и тем труднее заглядывать в будущее

Три года назад мы совместно с Агентством стратегических инициатив провели эксперимент — измерили отношение к будущему среди участников серии мозговых штурмов, посвященных перспективам развития российских отраслей и регионов. По сравнению с контрольной группой, не участвовавшей в этой работе, их образ будущего не стал отчетливее. Но чем менее предсказуемым им казалось будущее России, тем более оптимистично они смотрели вперед. И произошло это за счет роста доверия друг к другу: как бы ни сложились обстоятельства, мы вместе найдем решение.

Главный вывод исследования состоит в том, что когда мы вместе обсуждаем долгосрочное будущее, то важнее для нас не сам результат в виде каких-то картинок, а общий язык, который мы выработаем, чтобы быстрее сверять ориентиры. Это необходимо, чтобы эффективнее договариваться о дальнейших шагах и планах, если что-то пойдет не так. Это тот самый социальный капитал, который позволяет людям быть более жизнеспособными в условиях быстрых изменений.

К сожалению, исследования наших коллег из Института социологии РАН указывают на рост числа россиян, ощущающих одиночество. В свою очередь, наши исследования показывают: чем меньше социальных категорий, к которым человек может себя отнести, тем сложнее ему ответить на вопрос «Кто я такой?» и тем труднее заглядывать в будущее.

Интересно и то, что мы, а также наши американские коллеги, изучавшие пользователей соцсетей, определили: чем более разнообразной оказывается сеть контактов человека (чем больше в нее входит людей из разных профессиональных, территориальных, возрастных и иных групп), тем чаще он задумывается о будущем и тем больше его беспокоит будущее коллективное.

Именно поэтому сегодня так важна эмпатия, которая поддерживает наши общие надежды, позволяет нам вплетать наши замыслы в ткань планов других людей.

— В каком направлении сегодня движется психологическая наука и психологическая практика? Есть ли у них точки пересечения?

— Они не могут не пересекаться, хотя в России особенно остро чувствуется противоречие между опытом и фокусом интересов психологов-практиков и психологов-исследователей. Иногда и те и другие обнаруживают пропасть в подходах к пониманию тех или иных явлений.

Чтобы выявить представления российских психологов о будущем психологической науки и практики, мы провели множество интервью и экспертных опросов. С одной стороны, мы видим стремление вернуться от частных эмпирических моделей к построению целостной теории личности, к решению фундаментальных проблем. С другой стороны, заметен тренд использования новых методов как в психологических исследованиях, так и в области психологической диагностики.

Прежде всего, речь идет о больших данных. Российские психологи пока еще не почувствовали это в полной мере, но большие данные радикально меняют социальные науки. Данные, регистрируемые нашими цифровыми устройствами, обеспечивают точную картину реального поведения человека.

Например, уже сейчас мы можем увидеть эту динамику не только в масштабах онтогенеза, то есть

развития личности, но и в масштабах поколений, оценивая по лингвистическим маркерам изменения картины мира, или увидеть психологическое эхо исторических событий, которые происходили 100–200 лет назад.

Существуют ряд характеристик личности, которые с помощью анализа подобных цифровых следов (например, кликов, постов в социальных сетях) можно определить не хуже, чем с помощью классических опросников. Это сильно меняет не только академическую психологию, но и психологическую практику. Меняется сама бизнес-модель подобных психологических услуг.

Раньше мы это представляли как визит к психоаналитику в кабинете с кушеткой. Сегодня все больше таких консультаций проходят онлайн. Кроме того, скоро с разрешения клиента практические психологи смогут оценивать выраженность тревоги и депрессии с помощью автоматизированного анализа постов в социальных сетях, данных с его смартфона и т.п. Все это делает психологические услуги более доступными и превентивными: если мы дадим на это свое согласие, психологи смогут связаться с нами по собственной инициативе, работая на опережение.

Более того, появляются боты-психотерапевты — системы искусственного интеллекта, которые могут помочь проанализировать эмоциональное состояние, сложную ситуацию, справиться с панической атакой и пр. И эти базовые приемы когнитивно-поведенческой терапии в какой-то степени приносят облегчение.

Развитие подобных технологий может изменить ситуацию с психологической помощью в России, поскольку у нас действительно заметно некоторое недоверие к психологам. Конкурентами психолога становятся шаман или гадалка. И распространение цифровых сервисов может помочь некоторой части наших соотечественников более точно оценивать свое психологическое состояние и своевременно обращаться за психологической помощью к экспертам.

Подлинное решение проблемы происходит только в отношениях человека с другими людьми. Как мне кажется, будущее подобных систем как раз в том, чтобы служить посредниками в понимании нами друг друга, в выстраивании доверительных отношений. Но они должны создаваться совместно математиками и психологами. Цифровые технологии должны быть сопряжены с гуманитарными.

— Как современному человеку сохранить свое психологическое здоровье, особенно в самоизоляции?

— Иногда, оказавшись в сложной ситуации, мы понимаем, что многое зависит не от нас. Но как минимум 50% обстоятельств складываются из наших действий. И в этой половине, условных 50% содержатся залог нашей уверенности в том,

что мы можем влиять на ситуацию, а также ценность нашего накопленного опыта.

Есть ряд исследований, проведенных известным американским социальным психологом Филипом Зимбардо. Результаты говорят о том, что наше отношение к прошлому, настоящему и будущему может быть в разной степени сбалансировано. Парадоксально, но этот баланс сильнее всего определяется не будущим, а отношением к прошлому, способностью ценить даже травмирующий или негативный опыт, собственную историю, историю своей страны, историю своей семьи. И, конечно, это дополняется «редонистическим настоящим», вниманием к моменту «здесь и сейчас», к осознанному настоящему, к готовности радоваться общению с друзьями.

И я хотел бы пожелать нам всем владеть этой способностью к децентрации — умением менять фокус зрения, смотря на ситуацию сквозь призму собственных прошлого, настоящего и будущего.

Мне кажется, что человечество выживет благодаря доверию друг к другу, способности ставить амбициозные цели, надежде и умению находить решения для сложных задач

Мне кажется, что человечество выживет благодаря доверию друг к другу, способности ставить амбициозные цели, надежде и умению находить решения для сложных задач.

Расскажу о довольно любопытном эксперименте. Одной группе испытуемых предложили провести воображаемую мышь по бумажному лабиринту, спасая от угрозы — воображаемой совы. А другой — провести мышку к сыру, то есть позитивной цели. После испытания участникам предложили пройти тест на креативность. На 50% более креативными были те, кто преследовал позитивную цель и вел мышку к сыру.

В этом, как мне кажется, и кроется ответ на вопрос, что поможет нам в условиях кризиса. Нам поможет способность доверять друг другу и спокойнее относиться к неопределенности, ставить те цели, которые срабатывают как самосбывающиеся пророчества, объединяя нас и развивая в нас готовность помогать и сопереживать друг другу. ■

Беседовала Анастасия Пензина



СОЦИ- АЛЬНЫЕ

КАРТЫ В МОЗГЕ

Нейронные сети, отслеживающие наше положение в пространстве и времени, могут участвовать в определении наших взаимоотношений с людьми

Мэттью Шафер и Даниэла Шиллер

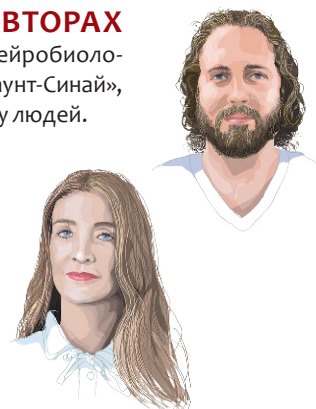
Мы часто слышим, что в жизни не бывает коротких путей, но мозг, даже крысиный, устроен таким образом, что полностью игнорирует подобные идеи. По сути, этот орган — прибор для поиска кратчайших путей.

Первые сведения о том, что мозгу свойственно искать альтернативные маршруты, были получены в 1948 г Эдвардом Толманом (Edward Tolman) из Калифорнийского университета в Беркли. Он провел необычный эксперимент, в котором голодная крыса бежала по круглому столу к темному узкому коридору.

ОБ АВТОРАХ

Мэттью Шафер (Matthew Schafer) защитил диссертацию по нейробиологии в Медицинской школе Айкана при Медицинском центре «Маунт-Синай», занимается нейронными механизмами социального познания у людей.

Даниэла Шиллер (Daniela Schiller) — доцент нейробиологии и психиатрии в Медицинской школе Айкана при Медицинском центре «Маунт-Синай». Она изучает нейронные механизмы эмоционального контроля, необходимого для адаптации к постоянно меняющейся среде.



Она поворачивала налево, затем направо, затем снова направо и спешила к узкой полоске света в дальнем конце, где, наконец, находила пищу. Выбора не было. Крыса должна была передвигаться по единственному доступному извилистому пути, и так продолжалось раз за разом в течение четырех дней.

На пятый день, когда крыса снова побежала прямо через стол в коридор, она наткнулась на стенку — путь был перекрыт. Животное вернулось обратно и принялось искать другие варианты. За ночь круглый стол стал похожим на солнце: вместо одной дорожки там было 18 радиальных лучей, которые надо было исследовать. Углубившись на несколько сантиметров в некоторые коридоры, крыса выбрала коридор № 6, который вел прямо к еде.

Может показаться, что в спонтанном выборе кратчайшего пути нет ничего необычного, но с точки зрения психологов-бихевиористов того времени, крыса совершила потрясающее навигационное достижение. Ведущие представления об обучении животных в то время заставляли рассматривать поведение крысы в лабиринте как результат формирования простых ассоциаций между стимулом и реакцией. Когда стимул

из окружающей среды стабильно сопровождается успешной реакцией, то образующие эту ассоциацию нервные связи усиливаются.

Таким образом, мозг уподобляли телефонному коммутатору, поддерживающему только проверенные связи между входящими звонками от наших органов чувств и исходящими сигналами к мышцам. Однако с помощью такого поведенческого коммутатора нельзя было объяснить способность выбрать кратчайший путь сразу же, без предварительного обучения. Срезание пути и многие другие наблюдения в этой области подтверждали альтернативную точку зрения, согласно которой в процессе обучения в мозге животного формируется карта. Толмен — сторонник этой точки зрения — ввел термин «когнитивная карта».

Согласно представлениям Толмена, мозг делает нечто большее, чем просто закрепляет прямые ассоциации между стимулами. Ведь такие ассоциации часто бывают непрочными, устаревшими из-за изменений в окружающей среде. В течение десятилетий, прошедших со времен толменовского эксперимента, психологи выяснили, что мозг создает, хранит и использует когнитивные карты. Эти модели позволяют нам ориентироваться

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Каким образом разные животные, от крыс до людей, интуитивно находят короткий путь, передвигаясь из одного места в другое? В мозге были обнаружены когнитивные карты, которые отображают окружающую среду и помогают животным выбирать наиболее подходящие маршруты.
- Когнитивные карты мозга запечатляют не только физическое пространство. Когнитивные модели окружающей среды могут быть жизненно важны для таких психических явлений, как память, воображение, умозаключения и абстрактные рассуждения.
- Появляются доказательства того, что когнитивные карты могут использоваться для отслеживания динамики социальных отношений: насколько далеки или близки люди друг к другу, где их место в групповой иерархии.

Уступить дорогу абстрактному

Карты упрощают мир, переводя огромное количество сенсорных и когнитивных данных в формат, который можно использовать для ориентации в физическом пространстве, выявляя короткие и обходные пути, позволяющие быстрее добраться до места назначения. Такие карты, созданные активностью

клеток и предназначенные для прокладывания пути в пространстве и времени, могут представлять понятия разной степени абстрактности — начиная с простого узнавания и заканчивая сложной системой, отражающей социальную иерархию и близость отношений.



в окружающей среде, несмотря на сложные изменяющиеся условия, и обеспечивают гибкость, когда мы срезаем путь или, наоборот, идем в обход. Голодная крыса в эксперименте Толмена, по-видимому, запомнила расположение пищи, определила угол идущего к ней пути и выбрала маршрут, который наиболее вероятно привел бы ее к цели. Проще говоря, она должна была построить мысленную модель окружающей среды.

Создание моделей или карт распространяется не только на физическое пространство. Мысленные карты могут лежать в основе многих наших наиболее «человеческих» способностей, таких как память, воображение, умозаключения, абстрактное мышление и даже понимание социальных взаимодействий. Исследователи начали выяснять, как когнитивные карты фиксируют близость взаимоотношений между людьми и положение в социальной иерархии. Так как же на самом деле мозг создает карты, позволяющие нам ориентироваться в окружающем мире?

Карта пространства

Первые представления о нейронных механизмах когнитивных карт появились в 1970-х гг. Джон О'Киф (John O'Keefe) из Университетского колледжа Лондона вместе со своим студентом Джонатаном Достровским (Jonathan Dostrovsky) изучали гиппокамп у грызунов и описали особую разновидность нейронов, активизирующихся, когда мыши находятся в определенном месте пространства. Когда животное двигалось, некоторые из этих нейронов срабатывали в одном конкретном месте, а другие включались, когда мышь перемещалась в другую точку, как если бы эти клетки специализировались на отслеживании положения животного в пространстве. По тому, в какой последовательности

активировались «клетки места», ученые могли восстановить траекторию перемещения грызуна. В последующие десятилетия были выполнены работы, подтвердившие существование клеток места у других животных, в том числе у человека. Оказалось, что у клеток есть много разновидностей и каждая из них вносит свой уникальный вклад в кодирование пространственных представлений в мозге.

Группа исследователей под руководством бывших приглашенных сотрудников О'Кифа Эдварда и Мей-Бритт Мозер (Edvard Moser, May-Britt Moser) описала в энторинальной коре, расположенной по соседству с гиппокампом, нейроны, похожие на клетки места. Они также срабатывали, когда животное находилось в определенных местах. Однако в отличие от клеток места каждая из этих клеток активировалась в нескольких местах на равных расстояниях друг от друга. Места активности координатных нейронов (или, как их часто называют, клеток-решеток) образовывали сетку из равносторонних треугольников. Работая как координатное пространство, данные клетки возбуждались, когда животное оказывалось в вершинах треугольников. Открытие этих клеток вызвало бурное оживление, поскольку становилось понятно, как мозг управляет ориентацией в пространстве. Клетки места и координатные нейроны могли бы обеспечить возможность определения положения в пространстве, расстояния и направления. Такие навигационные инструменты необходимы для построения когнитивных карт. (О'Киф и супруги Мозер за открытие клеток места и координатных нейронов получили в 2014 г. Нобелевскую премию по физиологии и медицине).

Для создания карты может пригодиться самая разнообразная информация, и гиппокампально-энторинальная система кодирует большую ее



Клетки места и координатные нейроны

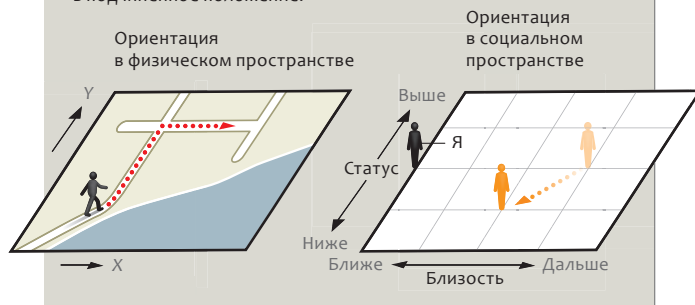
Клетки места определяют, где находится животное. Каждая клетка срабатывает, когда животное попадает в область, соответствующую определенному участку на когнитивной карте. Координатные нейроны активируются, когда животное проходит по вершинам треугольников, образующих сетку, наложенную на мысленную карту. Активность координатных нейронов помогает животному рассчитать направление и пройденное расстояние.

Когнитивные карты для физического и социального

Мозг формирует представление о друге или враге, объединяя различные социальные характеристики, которые берет из воспоминаний о положении человека. Как показывает исследование, эта информация затем может использоваться, чтобы поместить человека в определенное место социальной иерархии и увидеть, где он находится по отношению к другим.

Переход к социальным картам

«Дойдя до угла, поверните направо и продолжайте движение». Карта физического пространства создается благодаря работе клеток места и координатных нейронов. Но мозг может использовать эти клетки и для создания социальных карт: знакомый может стать ближе, но при этом перейти в подчиненное положение.



часть. Например, местоположение цели: когда животное приближается к нужному объекту, некоторые нейроны в гиппокампе активируются в зависимости от направления и расстояния до него. Эти клетки увеличивают частоту сигналов по мере того, как животное приближается к цели.

В процессе участвуют и другие клетки. Специальная популяция нейронов кодирует местоположение подкрепления в различных условиях, обеспечивая сигнал, направляющий движение животного (представьте себе крестик, обозначающий положение клада на пиратской карте). Другие клетки отслеживают скорость и направление, работая как внутренние спидометры и компасы, и вычисляют параметры движения животного в среде. Специальные клетки, сигнализирующие о положении ориентиров в окружающем пространстве, помогают исправлять ошибки в траектории. Кроме того, у карты должны быть края — клетки, которые становятся активнее, когда животное приближается к краю карты.

Понятно, зачем людям такое количество разных типов клеток: мозг должен знать местоположение дома и работы, стен и тупиков, ближайшего магазина. До сих пор неясно, как вся информация объединяется в упорядоченную карту, но все эти клетки, по-видимому, обеспечивают отдельные элементы для нейронной картографии.

Однако гиппокампально-энторинальная система — не просто картограф, а карты — не только способ определить свое положение в пространстве. С помощью карт происходит активное планирование. Когда крыса подходит к развилке в знакомом лабиринте, она притормаживает, а клетки места активируются, проигрывая разные варианты, как если бы животное обдумывало каждый из них.

У людей происходят сходные процессы. Были проведены исследования, в процессе которых участники должны были ориентироваться в виртуальной среде, в то время как активность их мозга регистрировалась с помощью фМРТ. Оказалось, что гиппокамп активировался в соответствии с рассмотрением и планированием маршрутов в пространстве.

Формирование планов происходит и во время сна. Последовательная активизация клеток места может повторяться во сне, чтобы воспроизвести прошлое или представить будущее. Если бы мы не имели возможности смоделировать новое поведение, нам пришлось бы изучать множество реальных вариантов, прежде чем выбрать, какое действие совершить. Мы были бы строгими эмпириками, способными действовать только на основе прямых наблюдений. Однако автономное моделирование позволяет нам представить себе разные варианты, не опробуя их непосредственно.

SOURCES: «SCIENTIFIC BACKGROUND: THE BRAIN'S NAVIGATIONAL PLACE AND GRID CELL SYSTEM.» BY OLE KIEHN AND HANS FORSSBERG, WITH ILLUSTRATIONS BY MATTHIAS KARLEN; NOBELPRIZE.ORG; «NAVIGATING SOCIAL SPACE.» BY MATTHEW SCRAWFER AND DANIELA SCHILLER, IN NEURON, VOL. 460, OCTOBER 4, 2018

Мысленное путешествие во времени

Время и пространство неразрывно связаны между собой. Трудно говорить о времени, не используя пространственные метафоры: время «утекает» по мере того, как мы «движемся» сквозь него, мы смотрим «вперед» в будущее и оглядываемся «назад» в прошлое. Та же самая гиппокампально-энторинальная система отслеживает перемещения во времени. В работе, выполненной в лаборатории покойного Говарда Эйхенбаума (Howard Eichenbaum) в Бостонском университете, в гиппокампально-энторинальной системе были выявлены нейроны, кодирующие ход времени у животных. Клетки времени срабатывают в определенной последовательности, но не отслеживают его течение так, как это делают обычные часы. Они отмечают временной контекст — например, растягивают или сокращают продолжительность активации, если меняется продолжительность задания. Некоторые клетки времени кодируют и пространство тоже. На самом деле в мозге физическое и временное пространства могут быть связаны.

Открытие роли этих участков мозга для восприятия пространства и времени не было полной неожиданностью. Психологи давно подозревали это. В 1953 г. Генри Молисон (Henry Molaison) провел двустороннее удаление гиппокампа, чтобы избавить его от чрезвычайно сильных, опасных для жизни эпилептических припадков. Операция успешно прекратила приступы. Но случай Молисона, которого потом десятилетиями называли просто «пациент Г. М.», стал одним из самых известных в истории нейробиологии.

Молисон помнил почти все, что происходило с ним до операции, — знакомых людей, культурные и политические события. Однако он практически утратил способность формировать новые эксплицитные воспоминания. Тем не менее некоторые типы обучения и памяти остались неповрежденными: после достаточной тренировки он все еще мог научиться некоторым новым навыкам. Однако информация о новых людях, фактах и событиях сразу же терялась.

Обследуя Молисона, нейробиологи выяснили, что гиппокамп играет важную роль в формировании эпизодической памяти, которая фиксирует факты и события. Исследование роли гиппокампа в эпизодической памяти развивалось в значительной степени параллельно изучению его участия в картировании пространства.

Открытие роли гиппокампа и энторинальной коры в пространственной ориентации и эпизодической памяти было важно как минимум по нескольким причинам. Работа по пространственной ориентации у грызунов — это первый случай, когда нейронные корреляты были найдены для когнитивной функции высокого порядка, а не для простых сенсорных процессов. Случай Молисона

показал, что существует множество типов памяти, которые обеспечиваются хотя бы отчасти разными нейронными структурами, причем гиппокамп играет главную роль в формировании и хранении новых эпизодических воспоминаний. Данные открытия позволяли предположить, что в основе эпизодической памяти могут лежать механизмы ориентации в пространстве и времени. Вероятно, лучше всего такое объединение функций объясняется с помощью теоретической конструкции, предложенной Толменом несколько десятилетий назад. И эпизодическая память, и ориентация в пространстве могут быть проявлениями способности мозга формировать и использовать когнитивные карты.

Карты не отображают мир точно, во всей его сложности. Они показывают расстояния и направления между точками и что где расположено, сокращая сумасшедшее количество информации реального мира до простого, легко читаемого формата, полезного для эффективной, пластичной навигации

Карты не отображают мир точно, во всей его сложности. Скорее, они показывают отношения — расстояния и направления между точками и что где расположено. Карты сокращают сумасшедшее количество информации реального мира до простого, легко читаемого формата, полезного для эффективной, пластичной навигации. Упомянутые ранее типы клеток (среди прочего клетки места, координатные нейроны, граничные клетки) способны объединять такие связанные элементы в когнитивную карту, которую затем могут считать другие области мозга, чтобы управлять «навигацией» для принятия адаптивного решения. Подобное картирование позволяет выстраивать взаимоотношения логически, даже если организм не сталкивался с ними напрямую. Оно позволяет мысленно срезать путь, выходя за пределы наблюдаемых пространства и времени. На самом деле

умозаключение с использованием абстрактных понятий может зависеть от некоторых из этих же нейронных механизмов.

В одной из работ в этом новом направлении исследователи Александра КонстантINESКУ (Alexandra Constantinescu), Джилл О'Рейли (Jill O'Reilly) и Тимоти Беренс (Timothy Behrens) из Оксфордского университета попросили участников выучить ассоциации различных символов с силуэтами птиц, имеющих разную длину шеи и ног. Например, птица с длинной шеей, но короткими ногами могла быть связана с изображением колокольчика, тогда как птица с короткой шеей и длинными ногами была связана с плюшевым мишкой. Таким образом создавалось двумерное ассоциативное пространство. Хотя при нейровизуализации разрешение было недостаточным, чтобы выявить в мозге человека отдельные координатные нейроны, активность энторинальной коры во время тестирования на усвоение ассоциаций напоминала активность работающих координатных нейронов.

Возможно, мы хорошо обучаемся потому, что способны строить модели окружающего мира так, что одна и та же система карт может лежать в основе навигации в пространстве и времени, формирования умозаключений, памяти и воображения

В более ранних работах, осуществленных Кристианом Доуллером (Christian Doeller) из Института когнитивистики и нейробиологии Общества Макса Планка в Лейпциге и Нилом Берджессом (Neil Burgess) из Университетского колледжа Лондона, было уже показано, что при перемещении в виртуальном лабиринте наблюдается схожая активность в энторинальной коре. Подобная организация информации с помощью координатной сетки очень эффективна для отображения как физических, так и абстрактных взаимоотношений. Она повышает предсказуемость связей между точками пространства или понятиями, что позволяет быстрее определять их взаимоотношения. Как и в физическом пространстве, подобная организация информации позволяет быстрее выявлять связь между идеями, аналогиями, стереотипами, от таких умозаключений могут даже зависеть некоторые аспекты творчества.

Картирование людей

Переход от физического к абстрактному затрагивает и представления о социальных взаимоотношениях. Различные фрагменты знаний о другом человеке образуют концепцию этого человека. Когда мы видим чье-то фото или слышим или видим имя, активируются одни и те же клетки гиппокампа независимо от сенсорных деталей стимула: в качестве примера стоит вспомнить знаменитый «нейрон Дженнифер Энистон», описанный Ицхаком Фридом (Itzhak Fried) из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе и его коллегами. Эти клетки гиппокампа отвечают за концепцию конкретных людей.

Другие клетки гиппокампа отслеживают физическое положение людей и называются клетками социального места. В эксперименте Давида Омера (David Omer) из Еврейского университета в Иерусалиме, Нахума Улановского (Nachum Ulanovsky) из Института им. Вейцмана в Реховоте и их коллег летучие мыши наблюдали за тем, как другие летучие мыши перемещаются по простому лабиринту, чтобы получить подкрепление. Наблюдавшие должны были просто смотреть и учиться у перемещающихся, а затем им позволялось преодолеть тот же маршрут, чтобы получить то же подкрепление. В процессе наблюдения клетки гиппокампа активировались в соответствии с положением перемещающейся летучей мыши.

В таком социальном запоминании участвуют нейронные сети в определенных отделах гиппокампа (в частности, в так называемых полях CA1 и CA2). Искусственная стимуляция (или подавление) этих участков гиппокампа усиливает (или ослабляет) способность животного узнавать других сородичей. У людей при повреждении гиппокампа часто сохраняется память на конкретные лица, но могут быть утрачены представления о том, с каким поведением это лицо связано. Гиппокамп не просто запоминает лицо или какие-то другие личные особенности, но связывает воедино различные социальные свойства.

С помощью гиппокампа отслеживается также социальная иерархия: например, требования начальника и коллеги могут восприниматься по-разному и иметь разный вес. Пространственные свойства иерархии иллюстрируются распространяемыми метафорами: человек может попытаться «подняться по социальной лестнице» или «посмотреть сверху вниз» на кого-то менее статусного. Значение имеют и другие факторы. Родственная близость, общие цели группы, память о помощи и обидах — все это влияет на социальную близость или дистанцию. Человеческие взаимоотношения можно представить в виде системы координат в социальном пространстве, где по одной оси — иерархия, а по другой — степень близости.

В последнее время наша лаборатория развивает эту идею. Мы показали, что гиппокамп организует социальную информацию в виде карты, так же как он это делает для других пространств. Для проверки данной гипотезы мы использовали ролевую игру, где люди взаимодействовали с персонажами мультфильмов, в то время как мы сканировали их мозг.

По сюжету игры участники только что переехали в новый город и должны были общаться с вымышленными персонажами, чтобы обеспечить себе работу и жилье. Участники принимали решения, как им себя вести с определенными персонажами. Можно было потребовать, чтобы им оказали услугу, продемонстрировав таким образом свою силу, или подчиниться предъявляемым требованиям. При следующем контакте надо было решить — обняться ли, продемонстрировав свою расположенность, или сохранять дистанцию. На основе этих решений мы поместили каждого из персонажей в соответствующее место координатного пространства — в зависимости от его могущества и близости. Для каждого взаимодействия мы проводили линию или вектор от участника к персонажу. Таким образом мы картировали развитие взаимоотношений в виде путей в социальном пространстве и рассчитали углы и длину социальных векторов.

Сопоставляя активность мозга участника с углом и длиной векторов при каждом решении, мы искали нервные сигналы, которые отслеживали эту информацию. Активность в гиппокампе отражала направление от участника к определенному персонажу. То, с какой точностью активность гиппокампа фиксировала социальные координаты, соответствовало социальным навыкам участников, о которых они сами сообщали. Эти данные позволяют предположить, что гиппокамп отслеживает социальную динамику так же, как физическое положение, кодируя отношения между точками в многомерном пространстве. И, возможно, гиппокампально-энторинальная система участвует в упорядочивании информации из любых областей.

Многие вопросы о социальных картах мозга пока остаются без ответов. Как эта система взаимодействует с другими областями мозга? Например, в нашем исследовании с ролевой игрой мы обнаружили, что кора задней части поясной извилины, также участвующая в формировании пространственных представлений, отслеживает длину социальных векторов, работая как измерительная линейка для «социальной дистанции». Кроме того, в областях мозга, связанных с гиппокампально-энторинальной системой и активирующихся вместе с ней, был обнаружен сигнал, похожий на активность координатных нейронов. Вероятно, эти области мозга вместе образуют сеть с общими функциональными свойствами.

По мере роста числа исследований возникают и вопросы о клиническом применении. Можно ли объяснить психические нарушения повреждением процессов картирования? Кроме того, подобную организацию процессов в мозге можно использовать для разработки искусственного интеллекта. Хорошо сконструированные внутренние модели мира могут сыграть важную роль при создании более интеллектуальной техники.

Возможно, мы хорошо обучаемся потому, что способны строить модели окружающего мира так, что одна и та же система карт может лежать в основе навигации в пространстве и времени, формирования умозаключений, памяти и воображения и даже отслеживания социальной динамики. Мир наполнен физическими и абстрактными взаимоотношениями. Карты городских улиц и когнитивные карты взаимосвязанных понятий помогают нам осмысливать окружающий мир путем извлечения, упорядочивания и хранения взаимосвязанной информации. Когда на знакомой улице появляется новое кафе, его легко разместить на уже существующей карте пространства. Новые понятия можно связать со старыми идеями. А новое знакомство может внести изменения в наше социальное пространство.

С помощью карт мы можем, оставаясь в безопасности, мысленно, проигрывать разные возможности и делать предсказания. Мысленный поиск более простого решения может основываться на том же механизме, что и способность объехать дорожную пробку. Мы пока только начали выяснять различные свойства и возможности этой системы. Когнитивные карты не только помогают нам найти кратчайший путь в физическом пространстве — они позволяют нам ориентироваться в жизни. ■

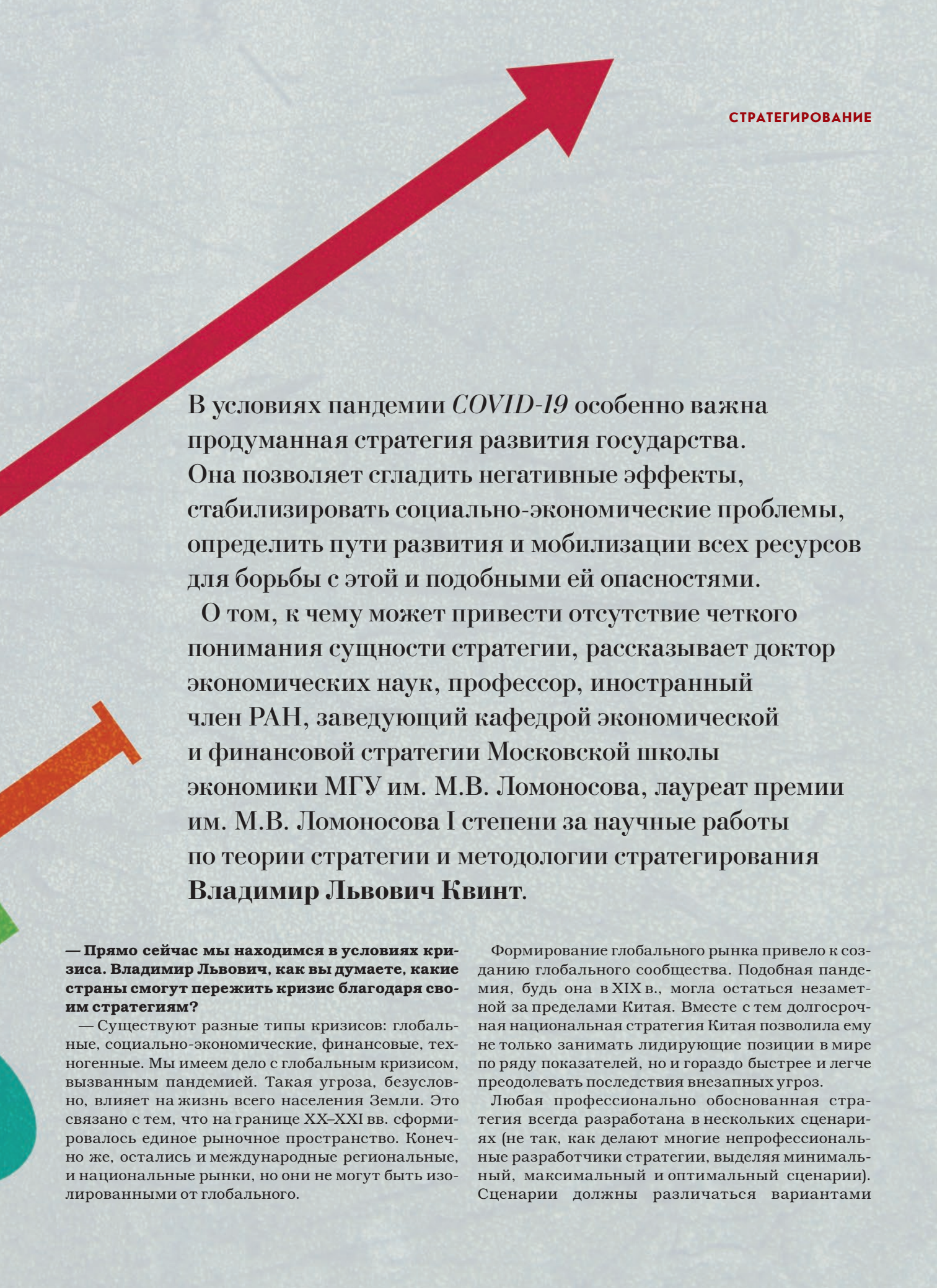
Перевод: М.С. Багоцкая

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Мозер М.-Б., Мозер Э. Где я? Куда я иду? // ВМН, № 3, 2016.
- Social Place-Cells in the Bat Hippocampus. David B. Omer et al. in Science, Vol. 359, pages 218–224; January 12, 2018.
- Navigating Social Space. Matthew Schafer and Daniela Schiller in Neuron, Vol. 100, No. 2, pages 476–489; October 24, 2018.
- What Is a Cognitive Map? Organizing Knowledge for Flexible Behavior. Timothy E.J. Behrens et al. in Neuron, Vol. 100, No. 2, pages 490–509; October 24, 2018.
- Navigating Cognition: Spatial Codes for Human Thinking. Jacob L.S. Bellmund et al. in Science, Vol. 362, Article No. eaat6766; November 9, 2018.

The background features several thick, colorful lines in shades of yellow, orange, blue, red, green, and teal. These lines are styled as zigzags or step functions, with some ending in arrowheads pointing in various directions. The overall composition is dynamic and suggests movement and progress.

**«СТРАТЕГИЯ —
ЭТО ФИЛОСОФИЯ
УСПЕХА»**



В условиях пандемии *COVID-19* особенно важна продуманная стратегия развития государства. Она позволяет сгладить негативные эффекты, стабилизировать социально-экономические проблемы, определить пути развития и мобилизации всех ресурсов для борьбы с этой и подобными ей опасностями.

О том, к чему может привести отсутствие четкого понимания сущности стратегии, рассказывает доктор экономических наук, профессор, иностранный член РАН, заведующий кафедрой экономической и финансовой стратегии Московской школы экономики МГУ им. М.В. Ломоносова, лауреат премии им. М.В. Ломоносова I степени за научные работы по теории стратегии и методологии стратегирования **Владимир Львович Квинт**.

— Прямо сейчас мы находимся в условиях кризиса. Владимир Львович, как вы думаете, какие страны смогут пережить кризис благодаря своим стратегиям?

— Существуют разные типы кризисов: глобальные, социально-экономические, финансовые, техногенные. Мы имеем дело с глобальным кризисом, вызванным пандемией. Такая угроза, безусловно, влияет на жизнь всего населения Земли. Это связано с тем, что на границе XX–XXI вв. сформировалось единое рыночное пространство. Конечно же, остались и международные региональные, и национальные рынки, но они не могут быть изолированными от глобального.

Формирование глобального рынка привело к созданию глобального сообщества. Подобная пандемия, будь она в XIX в., могла остаться незамеченной за пределами Китая. Вместе с тем долгосрочная национальная стратегия Китая позволила ему не только занимать лидирующие позиции в мире по ряду показателей, но и гораздо быстрее и легче преодолевать последствия внезапных угроз.

Любая профессионально обоснованная стратегия всегда разработана в нескольких сценариях (не так, как делают многие непрофессиональные разработчики стратегии, выделяя минимальный, максимальный и оптимальный сценарий). Сценарии должны различаться вариантами



Иностраный член РАН,
профессор В.Л. Квинт

приоритетов, взаимозаменяемых в зависимости от заранее предусмотренного широкого спектра вероятных стратегических опасностей и перспектив возникновения новых возможностей.

Очевидно, что пандемия серьезно повлияет на весь мир. И подготовленными оказались те страны, которые разрабатывали стратегию на случай чрезвычайных ситуаций. Такой документ должен быть одним из первых разделов любой профессионально разработанной стратегии, и он безусловно необходим каждому лидеру. В нынешних условиях карантина и самоизоляции замедляется производство, снижаются темповые и абсолютные величины ВВП, растет уровень безработицы и, как следствие, бедности.

Стратег должен заранее оценивать возможные последствия, а главное — продолжительность кризисов, вызванных массовыми эпидемиями, которых в истории человечества было немало. Но, что не менее важно, каждая новая угроза, даже такая страшная, как пандемия, для кого-то создает новые возможности. Так, сейчас производители некоторых медицинских технологий, средств защиты и фармацевтических препаратов переживают бум востребованности на всем глобальном рыночном пространстве. Выигрывают те производители, которые имели в своих стратегиях сценарии возможного возникновения пандемии.

— **Что ждет Россию?**

— Я не специалист в сфере эпидемиологии, чтобы судить о степени жесткости столкновения нашего государства с коронавирусом. Надеюсь, что к осени эпидемическая ситуация начнет улучшаться.

— **Будем надеяться, что ваше пророчество сбудется. Владимир Львович, что такое**

стратегия? Почему она важна для государственного устройства и управления?

— Ответов на данный вопрос можно дать несколько — в виде как строгих формулировок, так и более популярных сентенций. Для широкого круга читателей вашего журнала могу предложить следующее определение: стратегия — это путеводитель к выверенным приоритетам и целям через хаос будущего и неизвестного. Это мудрость, умноженная на точно выбранный вектор атаки с оценкой ресурсной ограниченности.

Как и все науки, теория стратегии берет свое начало в философии. Однако первоначально стратегия развивалась именно благодаря военным лидерам: Сунь-цзы, Гаю Юлию Цезарю и византийскому императору Маврикию. В своих книгах и записках они оставили нам практические рекомендации, многие из которых имеют глубокий стратегический смысл.

В начале XX в. стратегия получила новое рождение в сфере бизнеса. В наши дни она активно развивается применительно к государственному руководству и экономическому управлению.

Использование методологии стратегирования помогает выверять векторы движения к целям и ориентирам, которые намечают стратегические лидеры. Глава государства, региона или корпорации может и сам определить направление движения в будущее, если он обладает стратегическим мышлением, богатой интуицией и не полностью занят оперативным руководством. Однако опираясь на теорию стратегии или используя рекомендации профессиональных стратегов, он примет наиболее эффективные решения, неожиданные для конкурентов и опасные для противников.

— **Какие знания нужны стратегу?**

— И стратеги, и лидеры нуждаются в специальных профессиональных знаниях методологии стратегирования. Кстати сказать, деятельность стратега проистекает из таких древних «профессий», как предсказания и пророчества. Видение будущего величайших из них, их прозрения и рекомендации были результатом уникальной интуиции, принятием решений на грани сознания и подсознания, на грани рационального и иррационального. Эволюция практики постижения будущего постепенно в течение столетий и десятилетий сформировала различные исследования о нем. Но лишь развитие прикладной математики и появление методов статистики в XVIII–XIX вв. привели к созданию такой науки о будущем, как прогнозирование, на основе которой получило развитие и планирование.

Стратегирование же как новый научный инструмент обоснования движения в будущее способствовало выработке наиболее эффективных долгосрочных решений, детальное воплощение в жизнь которых как раз и реализуется через планирование. Стратегирование придает прогнозам большую практическую значимость, а планы благодаря стратегии направляются на реализацию наиболее важных и обоснованных приоритетов и целей.

В этой связи хочу подчеркнуть, что стратеги никогда не должны пренебрегать интуицией. Но нельзя и слепо на нее полагаться, поскольку стратегические решения принимаются, как я уже говорил, как раз на грани рационального и иррационального, когда наряду с глубоким изучением теории стратег полагается и на интуицию.

Экономическая природа теории и практики стратегирования связана с тем, что стратегия всегда должна быть обеспечена необходимыми видами ресурсов. Стратегия без ресурсов — это набор добрых пожеланий, маниловщина. И сегодня такие стратегии, к сожалению, встречаются все чаще, а в России практически доминируют. Важная составляющая стратегии — выбор правильного ориентира. Представьте ситуацию: лидер повел за собой десятки или сотни тысяч людей к ложной цели. Ресурсы будут потрачены напрасно, а последователи придут к краю пропасти.

Еще один, и важнейший, фактор стратегии — своевременность. Наиболее эффективно, а иногда и жизненно важно достигать намеченной цели в нужный момент времени — не раньше и не позже. Когда появляется новое изобретение, а спроса на него еще нет, не стоит ожидать, что оно выйдет в массовое производство. Стратег может способствовать тому, что технологическое новшество появится именно к моменту первых импульсов востребованности.

— Как это возможно?

— В процессе стратегирования изучаются тренды: глобальные, отраслевые, региональные, корпоративные. Они различаются не только по качеству,

по факторам и сферам жизни, на которые они воздействуют, но и по степени зрелости. Одни характеризуются высокой фазой зрелости, вторые затухают, а другие только зарождаются. И стратег, как астроном, должен первым выявить возникновение тренда.

Какая страна или корпорация всегда будет впереди? Та, чьи ученые, стратеги или лидеры первыми заметят новый тренд и смогут на его основе осуществить разработку инновационных технологий, обеспеченных всеми необходимыми ресурсами — трудовыми, материальными, финансовыми, инфраструктурными.

— Как сегодня успешно реализовывать стратегии, когда мир непостоянен и непредсказуем?

— Для этого существует мониторинг стратегии, анализ ее реализации в изменяющихся внешних и внутренних условиях, уточнение ориентиров под влиянием новых возможностей и неожиданных угроз. Например, в Китае благодаря великому стратегу Дэн Сяопину была утверждена разработанная им к 1976 г. стратегия на столетний период. Она до сих пор реализуется. Сейчас руководители Коммунистической партии Китая сократили период реализации столетней стратегии до 2068 г. и одновременно начали подготовку к реализации уже разработанной стратегии на 200 лет. Каждые три месяца проходит пленум ЦК КПК, на котором подводят итоги предыдущего этапа реализации стратегии и вносят нужные уточнения. Но основные элементы стратегии — ее главные ориентиры, приоритеты и вектор направленности — не меняются.

Важно, что любая стратегия призвана реализовывать глубинные ценности объекта стратегирования, анализировать их и систематизировать в сформулированных интересах, в конечном счете способствующих повышению качества жизни людей. Это относится и к стране, и к региону, и к предприятию, и к отдельно взятому человеку. У каждого из нас одна жизнь. А как можно жить, не оценив, чем ты хочешь заняться, к каким ориентирам направить свой путь, используя свои способности и конкурентные преимущества, стоит ли твоя жизнь этого или нужно посвятить себя чему-то другому?

— Вы отметили, что в российской практике не отражается четкое понимание сущности стратегии и многие документы, названные стратегиями, на самом деле нельзя считать ими. Почему так случилось?

— Во многих странах сущность стратегии не отражается в тех документах, которые называются стратегиями. Да откуда им взяться, профессиональным стратегам, если, например, в России до сих пор нет образовательного стандарта по подготовке специалистов в этой сфере теории и практики — экономистов-стратегов?

На мой взгляд, Министерству науки и высшего образования давно пора утвердить соответствующий образовательный стандарт, поскольку все крупные, и даже многие средние предприятия, региональные правительства и федеральные министерства имеют департаменты стратегии, но люди, работающие там, не могли получить необходимую профессиональную подготовку в сфере стратегирования.

МГУ стал первым в стране вузом (и пока единственным), где утверждена магистерская программа «Экономическая и финансовая стратегия». В течение двух лет магистранты Московской школы экономики МГУ изучают 35 дисциплин по этой программе.

Из-за нехватки профессиональных стратегов государственным органам предлагаются для утверждения несостоятельные документы. Например, в 2008 г. Правительством РФ была утверждена Стратегия-2020 (официальное название — Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года). Некоторые цели были опубликованы на первой полосе «Российской газеты»: к 2020 г. средняя заработная плата россиянина должна составлять \$2,7 тыс. в месяц. Задумайтесь: среди ваших знакомых сейчас много тех, кто в среднем зарабатывает \$2,7 тыс. в месяц?

В этом документе также указано, что к 2020 г. «доля инновационной продукции должна возрасти до 25–35%». Однако в 2018 г., согласно данным Федеральной службы государственной статистики, «удельный вес инновационных товаров, работ, услуг в общем объеме отгруженных товаров, выполненных работ, услуг по Российской Федерации составил 6,5%». Для сравнения: доля этой продукции в России в 2007 г. была 5,5%. То есть за 11 лет рост данного показателя составил всего лишь 1%.

Очевидно, что стратегия разрабатывалась без должной методологии. В ней были утверждены ориентиры, которые не имели под собой ресурсов — интеллектуальных, технологических, материальных, финансовых.

Что значит «создать продукцию инновационного характера»? В первую очередь, необходимо обучить людей. На это нужно время: пять-шесть лет бакалавриата и магистратуры и три-четыре года аспирантуры. Этого создатели документа не учли. В России падают удельные показатели финансирования науки. Откуда в таком случае ждать продукции инновационного характера в большинстве отраслей российской экономики?

— Вы занимаетесь развитием теоретических и методологических основ стратегирования в России. Видите ли вы результаты своей работы?

— Вот уже 48 лет моя профессиональная жизнь посвящена теории и практике стратегирования. Мне довелось участвовать в разработке комплексных программ экономического развития Сибири, Дальнего Востока, Арктики, научно-технического прогресса Красноярского края и других. Многие из этих программ были утверждены на национальном уровне. Мне удалось поработать над стратегиями с коллегами в Албании, Болгарии, Бразилии, Великобритании, Монголии, США, Узбекистане и в других странах.

Десять лет назад ректор МГУ академик В.А. Садовничий поручил мне возглавить Центр стратегических исследований Института математических исследований сложных систем МГУ, где мы с коллегами работаем над важнейшими стратегиями России и зарубежных стран. Например, нами была разработана Стратегия развития водоснабжения и водоотведения Санкт-Петербурга, которая успешно реализуется и сегодня. Санкт-петербургский водоканал обеспечивает северную

В.Л. Квинт (справа)
на панельной дискуссии
с нобелевским лауреатом
Эдмундом Фелпсом (слева).
Директор шведского
Исследовательского
института индустриальной
экономики Магнус Хенрексон
комментирует полемику.
Стокгольм, Швеция, 9 октября
2013 г.



столицу России чистой водой — основным источником здоровья населения. До того как в Санкт-Петербурге были внедрены новые технологии очистки воды, в городе доходило до 147 случаев заболеваний вирусным гепатитом а сейчас — менее шести случаев на 100 тыс. и в основном не по причине качества воды.

Этот опыт пригодился моим коллегам и мне в разработке Стратегии водоснабжения, водоотведения и водного баланса Узбекистана, где существуют серьезные проблемы с качеством воды и водоотведением.

— Вы помогаете руководителям отраслей, регионов и стран. С какой главной проблемой они сталкиваются, прежде чем обратиться к вам за помощью?

— Чаще всего проблема в том, что не работают доморощенные стратегии, выполненные руководителями, бухгалтерами, экономистами; все они прекрасные специалисты, но не в сфере стратегирования, не обладают действенной методологией стратегирования. Есть и другой вариант, когда стратегия подготавливается не для ее воплощения в жизнь — неважно, качественная она или нет, — а для отчетности. Такие стратегии обычно пылятся на полках.

Мне повезло сотрудничать с выдающимися лидерами государств и компаний со стратегическим складом ума, такими, например, как глава *General Electric* Джек Уэлч, который использовал стратегию как рабочий документ и все текущие решения рассматривал через призму ее реализации.

Стратегия — это всегда результат взаимодействия с лидерами. Но зачастую проблема связана с нехваткой специалистов. Например, региональная стратегия никогда не будет реализована, если она никак не учитывает интересы тех корпораций, предприятий, которые функционируют в этом регионе, а также интересы его жителей. В результате стратегия повисает в воздухе. А между тем и региональная, и национальная стратегии всегда реализуются на уровне производителей товаров и услуг.

Наконец, все лидеры предприятий, регионов и стран всегда испытывают дефицит ресурсов, и профессионально подготовленная стратегия позволяет даже с небольшими, но сконцентрированными на важнейших приоритетах ресурсами достигать значимых и даже великих целей.

— Вас часто называют предсказателем. В свое время вы сделали несколько интересных предположений, которые оказались пророческими. На какие показатели вы обращаете внимание, когда формулируете те или иные утверждения?

— Прежде всего, я анализирую планы, декларируемые программы и цели. Я пытаюсь выяснить, насколько эти цели обеспечены ресурсами. Многое может рассказать стоимость единицы производимого национального или регионального продукта,

или продукта той или иной компании. Если затраты на производство продукта ниже, чем его стоимость на рынке, дела компании в порядке. Но если на производство одного рубля продукции тратят ресурсов на два рубля, такая компания не доживет до понедельника.

Помимо этого, необходимо следить за динамикой важнейших экономических показателей. Один из них — валовой внутренний продукт. Впервые этот индикатор был предложен в 1934 г. Саймоном Кузнецом, который в 1971 г. был удостоен Нобелевской премии.

Будущее любого объекта стратегирования нужно оценивать с точки зрения достижения не декларируемых, а реальных результатов. Если государство, регион или предприятие ставят цели, которые им не по карману, это приводит к разрухе. Подобные стратегии показывают свою ущербность, а лидеры, их предлагающие, — свою недалекость. Поэтому стратегия так опасна для политического лидерства: ведь она может указать на конкретные ошибки и несостоятельность целей и ориентиров. С другой стороны, обоснованная стратегия как практика и методология дает любому лидеру исключительно действенное оружие достижения побед даже с самыми ограниченными ресурсами.

Стратегия — это философия успеха. Она всегда ориентирована на победу. Между тем стратегия — очень тонкое дело. Ведь большая часть ее элементов и документов всегда конфиденциальны. Древнекитайский стратег Сунь-цзы, живший в VI–V вв. до н.э., говорил, что выиграть сто сражений из ста — это второе лучшее, выиграть у планов противника — это наилучшее. Но как осуществить такое, если вы не знаете эти планы? Поэтому значительная часть стратегии всегда должна быть неизвестна конкурентам и противникам.

В подобной ситуации лидеры сталкиваются с дилеммой. С одной стороны, сущность реализуемой стратегии должна быть скрыта мраком неизвестности от конкурентов и противников, а с другой — лидеру для успеха нужно пробуждать энтузиазм людей, показывая им те ценностные ориентиры, интересы и чаяния, которые стратегия позволит превратить в реальность их жизни.

Россия нуждается в новом динамизме. Преподаватели и ученые особенно в этот период призваны стремиться воспитывать у студентов, магистрантов и аспирантов ориентацию не на инерционность вялого развития, а на стратегически обоснованный курс тотального превращения науки в локомотив экономического процветания. В силу этого стратегия как новая наука, новое образовательное направление и новая профессия исключительно востребована и эффективна. ■

Беседовала Анастасия Пензина



Неявные механизмы обучения мозга

Нейробиологи описали несколько необычных клеточных механизмов, которые участвуют в формировании памяти

Дуглас Филдс

Наши представления о том, как полуторакилограммовый кусок плоти, расположенный между ушами, способен обучаться, восходят еще к классическим экспериментам И.П. Павлова, в которых было показано, что собака обучается выделять слюну в ответ на звук колокольчика. В 1949 г. психолог Дональд Хебб использовал павловское правило образования ассоциативной связи, чтобы объяснить, как могут обучаться нейроны мозга. Хебб предположил, что когда два нейрона возбуждаются вместе, одновременно передавая импульсы, то связывающие их синапсы усиливаются. Если это происходит, имеет место обучение. В случае с собакой это означало бы, что мозг теперь знает, что за звуком колокольчика немедленно последует выдача еды. Отсюда возникла часто цитируемая фраза: «Нейроны, которые возбуждаются вместе, связываются друг с другом».

Предположение подтвердилось, и с тех пор были описаны многие молекулярные подробности процесса, происходящего в синапсах при обучении. Однако не все наши воспоминания возникают вследствие получения подкрепления или наказания, и на самом деле большинство событий забываются. Даже когда нейроны возбуждаются вместе, иногда они не связываются друг с другом. Что именно мы сохраним в памяти, зависит от нашей эмоциональной реакции на происходящее, степени новизны, места и времени, уровней нашего внимания и мотивации, а также того, как мы обработали эти мысли и ощущения во время сна. Фиксация на изучении синапсов дала нам очень упрощенное представление о том, как происходит обучение и формируются воспоминания.

Оказывается, простого усиления синапса недостаточно для того, чтобы

ОБ АВТОРЕ

Дуглас Филдс (R. Douglas Fields) — руководитель отдела развития и пластичности нервной системы в Национальных институтах здоровья США, автор книги «Электрический мозг: как новые открытия в области мозговых волн позволяют читать мысли, рассказывают, как надо обучаться, и помогают измениться к лучшему» (*Electric Brain: How the New Science of Brainwaves Reads Minds, Tells Us How We Learn, and Helps Us Change for the Better*, 2020).



сформировать память, за исключением самых простых рефлекторных цепочек. Для создания цельного воспоминания необходимы обширные изменения во всем мозге. Вспоминаете ли вы разговор с гостями во время вчерашнего ужина или используете двигательные навыки, когда, например, едете на велосипеде, миллионы нейронов в разных отделах мозга должны объединить свою активность, чтобы воспроизвести цельное воспоминание, содержащее эмоции, образы, звуки, запахи, события и другой сохраненный опыт. Поскольку наше воспоминание включает в себя множество компонентов, оно должно использовать разные клеточные механизмы, а не только изменения в синапсах. Поэтому шел поиск новых способов передачи, обработки и хранения информации в мозге, обеспечивающих процесс обучения. За последние десять лет нейробиологи пришли к выводу, что в записи фактов и событий для последующего извлечения и воспроизведения участвует не только покрывающее наши полушария снаружи «серое вещество», известное публике по многочисленным рисункам в учебниках и детских комиксах. Оказывается, для обучения также важны и области, находящиеся в глубине, под серой складчатой корой. Происходящие там процессы были недавно описаны в моей и в некоторых других лабораториях, и это поможет найти новые способы лечения психиатрических заболеваний и нарушений развития, при которых страдает способность к обучению.

Если простого изменения силы синапсов недостаточно, то что же происходит внутри вашего мозга, когда вы выучиваете что-то новое? Методы магнитно-резонансной томографии (МРТ) позволяют исследователям увидеть, что творится внутри черепа, и рассмотреть структуру мозга человека. При внимательном изучении МРТ-снимков

выяснилось, что мозг людей с высокоразвитыми профессиональными навыками отличается по своему строению. Например, у музыкантов слуховая кора толще, чем у других. Сначала исследователи решили, что такие особенности строения подталкивают людей стать выдающимися кларнетистами или пианистами. Однако последующие работы показали, что именно обучение меняет структуру мозга.

Строение мозга изменяется не только от постоянных сенсомоторных упражнений, таких как игра на музыкальных инструментах. Нейробиолог Богдан Драгански (Bogdan Draganski), который сейчас работает в Лозаннском университете в Швейцарии, вместе со своими коллегами показал увеличение объема серого вещества в мозге у студентов-медиков в процессе подготовки к экзаменам. Такое изменение могло быть вызвано многими клеточными причинами, например появлением новых нейронов или ненервных клеток глии. Тот же эффект мог быть получен за счет сосудистых изменений или разрастания и удаления отростков нейрона — аксона и дендритов. Важно, что эти структурные изменения в мозге появлялись намного быстрее, чем ожидалось. Янив Ассаф (Yaniv Assaf) из Тель-Авивского университета показал, что для структурных изменений в такой области мозга, как гиппокамп, неопытным игрокам достаточно проехать 16 гоночных кругов в компьютерной видеоигре. Понятно, почему изменения происходят именно в этой области мозга: гиппокамп отвечает за пространственное обучение и навигацию. Однако в других исследованиях Ассаф и независимо от него Хайди Йохансен-Берг (Heidi Johansen-Berg) из Оксфордского университета неожиданно обнаружили непредвиденные изменения в других областях мозга, в том числе в белом веществе, лишенном и тел нейронов, и синапсов.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

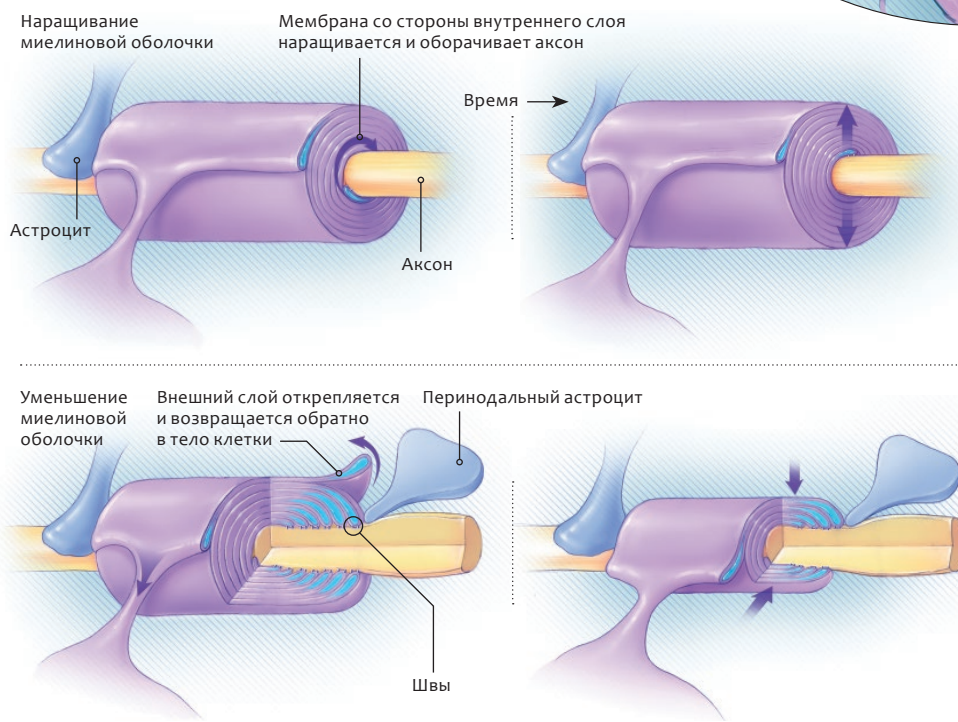
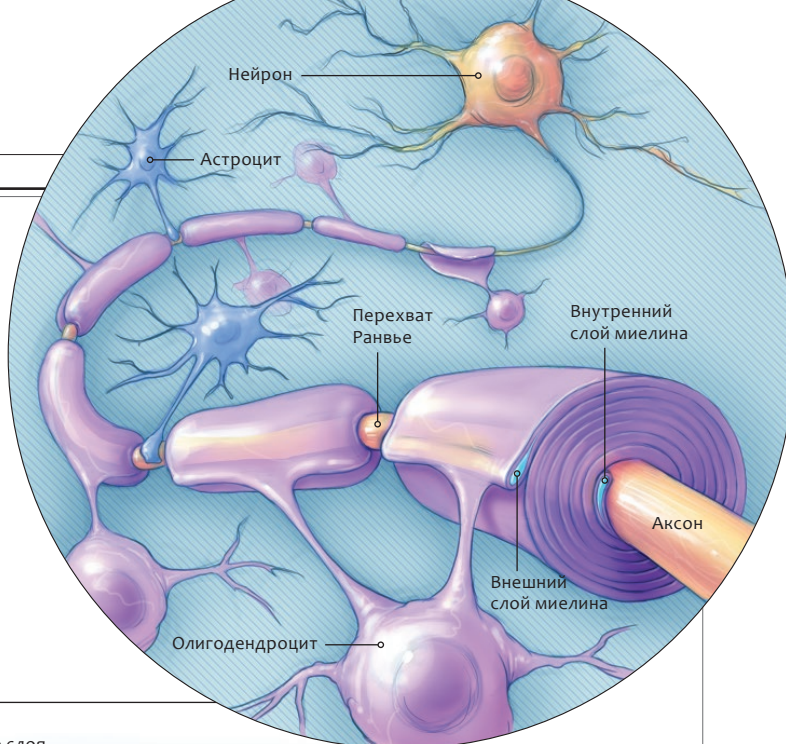
- Считается, что обучение происходит на уровне синапсов — в местах соединений нейронов. Однако синапсы сами по себе могут обеспечить сохранение только самых простых рефлексов.
- Для обучения и памяти должна объединяться информация из множества разных областей мозга. При этом изменяется физическая структура миелина — оболочки, изолирующей отростки, которыми связываются нейроны.
- Миелин, в свою очередь, играет важную роль в регуляции скорости передачи информации по нейронным цепочкам.

Роль белого вещества

В учебниках по нейробиологии говорится, что когда происходит обучение, меняются синапсы — места соединений нейронов. Однако, по новым данным, изменения происходят также и в миелине, той части белого вещества, которая формирует оболочку вокруг длинных отростков (аксонов), отходящих от тела нейрона.

Рабочие клетки

Изолирующая оболочка состоит из миелина — белого жироподобного вещества, контролирующего скорость, с которой импульс распространяется по аксону. Клетки олигодендроциты обхватывают аксон и обматывают его миелином, а в некоторых случаях и снимают обмотку. Небольшие промежутки в миелиновой оболочке (перехваты Ранвье) содержат ионные каналы, которые создают нервный импульс. Еще одни клетки — перинодальные астроциты — останавливают выделение тромбина, удаляющего миелин (не показано).



Оборачивание и разворачивание нейрона

Олигодендроциты начинают окружать слоями миелина электрически активные аксоны. От степени миелинизации зависит скорость прохождения сигнала по аксону: более толстые оболочки обеспечивают более быструю передачу. Фермент тромбин разрезает нити, связывающие миелин и мембрану аксона, а перинодальный астроцит останавливает этот процесс, чтобы получить нужную толщину. Различия в толщине миелина обеспечивают одновременный приход сигнала из разных мест в точку передачи, и таким образом выполнение новой задачи улучшается.

Глубокое обучение

Исследователи ожидали обнаружить изменения, вызванные обучением, в коре больших полушарий, поскольку именно этот трехмиллиметровый наружный слой порождает сознание. Однако под внешним слоем лежат миллиарды плотно упакованных пучков нервных волокон, похожие на пряжу под кожаной оболочкой бейсбольного мяча. Именно они соединяют нейроны серого вещества в нервные цепочки.

Волокна называются белыми, потому что они покрыты жироподобным веществом миелином, который обеспечивает электрическую изоляцию и ускоряет проведение нервных импульсов в 50–100 раз. Травмы и заболевания, повреждающие белое

вещество, — важная область исследований, но до недавнего времени возможная роль миелина в процессах обучения и памяти практически не обсуждалась.

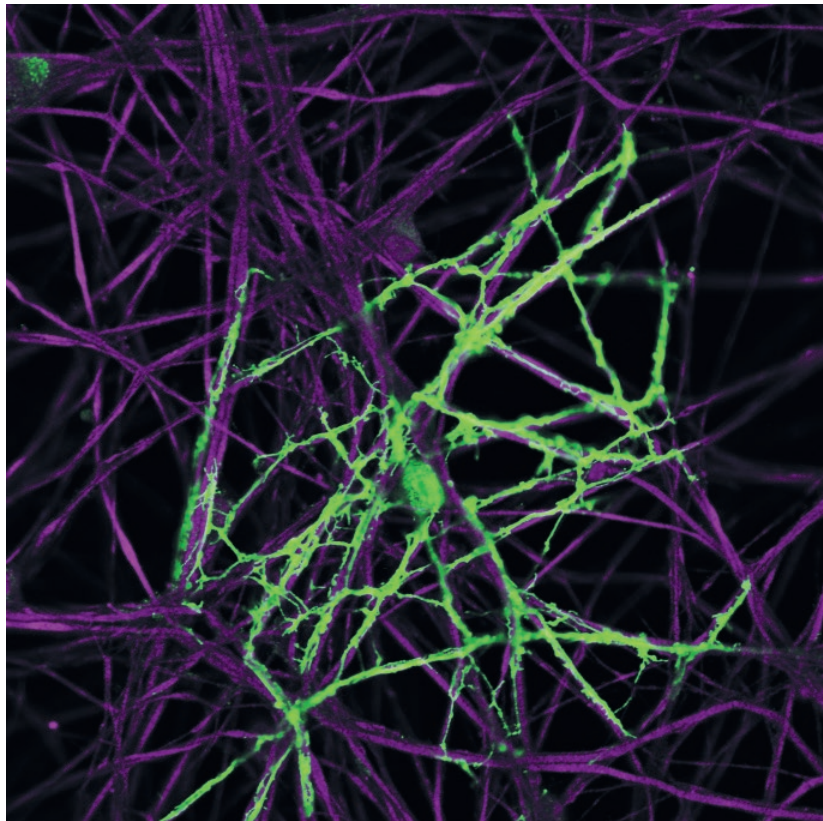
В последнее десятилетие исследователи стали находить различия в белом веществе при сканировании мозга специалистов с разными навыками, например тех, кто очень хорошо считает или читает. У опытных гольфистов и жонглеров по сравнению с новичками также изменяется белое вещество, кроме того, объем белого вещества связан даже с уровнем IQ. Если за обработку информации отвечает только усиление синаптических связей в сером веществе, то каким образом обучение может влиять на внутримозговую проводку?

В моей лаборатории мы изучали изменения, происходящие в синапсах и в других местах мозга в процессе обучения, и получили предположительный ответ на этот вопрос. Мы начали искать что-то за пределами синапса потому, что большинство существующих препаратов для лечения неврологических и психиатрических заболеваний действуют на синаптическую передачу, а нам требуются более эффективные препараты. Ограничившись синапсами, мы лишаемся возможности найти лучшее лечение для деменций, депрессии, шизофрении и посттравматического стрессового расстройства (ПТСР).

В начале 1990-х гг. моя лаборатория в Национальных институтах здоровья и другие начали исследовать возможные способы того, как глия может реагировать на поток информации в нервной цепочке и изменять характеристики нейронов для улучшения передачи. Накопленные с тех пор экспериментальные данные свидетельствуют, что все типы глиальных клеток реагируют на нейронную активность и могут менять передачу информации в мозге. Одно из самых удивительных открытий касалось миелина.

Миелиновая оболочка образована слоями клеточной мембраны, обернутой вокруг аксона, подобно изолянту вокруг электропровода. За эту обмотку в головном и спинном мозге отвечают олигодендроциты — глиальные клетки, похожие на осьминогов. В теле и конечностях эту задачу выполняют похожие на колбаски шванновские клетки. Множество олигодендроцитов обхватывают аксон и наматывают миелин в месте обхвата. Это похоже на то, как руки бейсболистов обхватывают бит, определяя, какая команда бьет первой. В узком зазоре между двумя сегментами миелиновой оболочки расположена голая мембрана аксона с большим количеством ионных каналов, которые отвечают за создание электрического импульса. Такие участки называются перехватами Ранвье, они служат биоэлектрическими ретрансляторами, которые передают импульс по аксону от перехвата к перехвату. Скорость передачи импульсов возрастает по мере утолщения миелиновой оболочки, поскольку это лучше предотвращает падение напряжения. Кроме того, чем уже перехваты Ранвье, тем быстрее передается импульс, так как уменьшается площадь мембраны, на которой должны открыться ионные каналы, создавая электрический ток.

Такие заболевания, как рассеянный склероз или синдром Гийена — Барре, приводят к серьезным нарушениям здоровья, поскольку при этом разрушается миелиновая оболочка и нарушается



Олигодендроцит (зеленый) готовится окружить аксон (фиолетовый) миелиновой оболочкой

проведение нервных импульсов. Однако мысль, что миелин под воздействием нервных импульсов может регулярно изменяться, до недавнего времени не получала широкого распространения. Даже если структура миелиновой оболочки может меняться, как и почему это улучшает знания и навыки?

Объяснение пряталось на самом видном месте. Оно опирается на старый постулат о нейронах, которые возбуждаются вместе и связываются между собой. В любой сложно устроенной информационной или транспортной сети важную роль играет время прибытия — вспомните о пропущенной пересадке из-за опоздания рейса.

Как же тогда скорость передачи в каждом звене человеческого мозга синхронизируется столь точно, что каждый импульс приходит именно тогда, когда необходимо? Мы знаем, что электрические импульсы в одних аксонах распространяются со скоростью медленной ходьбы, а в других — со скоростью гоночного автомобиля. Сигналы от двух аксонов, приходящие на один нейрон, служащий точкой переключения, не смогут совпасть, если время их прихода не будет оптимизировано так, чтобы скомпенсировать расстояние от источника импульса и разную скорость распространения по аксону.

Поскольку миелин — это наиболее эффективный способ ускорить передачу импульсов, миелинизация аксонов способствует оптимальной передаче информации по сети нейронов. Если олигодендроциты чувствуют сигналы, идущие по нейронным цепочкам, и реагируют на них, то обратная связь от аксонов может контролировать образование миелиновой оболочки и регулировать скорость передачи импульсов. Но как глиальные клетки улавливают нервные импульсы, распространяющиеся по аксону?

Передача сигналов

За последние 20 лет нашей лаборатории и некоторым другим удалось выявить множество нейромедиаторов и других сигнальных молекул, которые сообщают глиальным клеткам о наличии электрической активности в аксоне и стимулируют образование миелиновой оболочки. Наши эксперименты показали, что, когда аксоны возбуждаются, нейромедиатор выбрасывается не только в синапсе, но и по всей длине аксона. Мы обнаружили, что «щупальца» похожих на осьминогов олигодендроцитов проверяют оголенный участок аксона в поисках выделившихся во время электрического возбуждения нейромедиаторов. Когда одно такое щупальце находит активно работающий аксон, оно формирует точечный контакт, обеспечивающий коммуникацию между аксоном и глиальной клеткой. Олигодендроцит начинает синтезировать миелин и обматывает его вокруг аксона в области контакта.

В одном эксперименте мы в клеточной культуре дали олигодендроцитам на выбор электрически активные аксоны и аксоны, обработанные ботулотоксином, предотвращающим выброс нейромедиаторов. Олигодендроциты выбирали электрически активные аксоны в восемь раз чаще. Так что, возможно, когда человек учится играть «К Элизе», по мере занятий его оголенные аксоны окружаются новой миелиновой оболочкой или утолщается уже существующая, что увеличивает скорость передачи информации по сети нейронов в мозге. Новый миелин затем виден на МРТ как изменение в трактах белого вещества в тех областях мозга, которые отвечают за музыкальные способности.

Несколько лабораторий недавно подтвердили, что потенциал действия — сигнал, распространяющийся по аксону, — стимулирует образование миелиновой оболочки на этих открытых участках. В 2014 г. лаборатория Мишель Монье (Michelle Monje) в Стэнфордском университете показала, что оптогенетическая стимуляция (возбуждение нейронов с помощью лазера) увеличивает миелинизацию в мозге мыши. В том же году лаборатория Уильяма Ричардсона (William Richardson) в Университетском колледже Лондона выявила, что если заблокировать образование нового миелина,

то мышцы медленнее обучаются бегать в колесе, где удалили несколько перекладин. Исследователи из лаборатории Дэвида Лайонса (David Lyons) в Эдинбургском университете и из лаборатории Брюса Эппела (Bruce Appel) в Колорадском университете в Денвере наблюдали с помощью конфокального микроскопа формирование миелиновой оболочки у живой рыбки данио. Когда исследователи блокировали выделение из аксона маленьких пузырьков с нейромедиаторами, часто первые слои миелина сползали и олигодендроциты оставались весь процесс.

Мы вместе с коллегами, в том числе с Дайсуке Като (Daisuke Kato) и другими сотрудниками различных японских институтов, показали, что миелин способствует обучению, обеспечивая одновременное поступление электрических импульсов по аксону в моторную кору, которая контролирует движения. Мы тренировали генетически модифицированных мышей с нарушенной миелинизацией дергать за рычаг для получения подкрепления. Оказалось, что такое обучение увеличивает миелинизацию в моторной коре.

Мы зарегистрировали нервные импульсы с помощью электродов и обнаружили, что у мышей с нарушением миелинизации в моторной коре потенциалы действия были менее синхронизированы. Затем мы заставили нейроны разряжаться синхронно, запуская импульсы в нужное время с помощью оптогенетики. После этого грызуны с нарушением миелинизации выполняли нужные действия очень умело. Когда-нибудь менее инвазивные формы стимуляции мозга могут стать эффективной терапией для лечения неврологических и психиатрических расстройств, связанных с нарушением миелинизации.

Однако, несмотря на эти недавние открытия, стимуляции аксонов для усиления миелинизации не всегда хватает для обеспечения нового обучения. Мы не можем синхронизировать приход импульсов в важные точки, просто ускорив сигнал. Должен быть способ замедлить сигналы, которые приходят в эти точки слишком рано.

Уже сформированная миелиновая оболочка аксона должна управляемо становиться толще или тоньше для ускорения или замедления импульса. До наших исследований никто не мог объяснить, каким образом миелин может истончаться, кроме как вследствие повреждений при болезни. Наши последние работы выявили еще один способ, как глиальные клетки участвуют в пластичности нервной системы.

Перехват Ранвье окружают другие клетки глии, которые называются астроциты. У них много функций, но большинство нейробиологов обычно не обращают на них внимания, потому что эти клетки не могут обмениваться с другими электрическими импульсами. Удивительно, но открытия

последнего десятилетия показали, что астроциты, расположенные рядом с синапсом, способны регулировать передачу сигнала, выделяя или поглощая нейромедиаторы. Однако до недавнего времени исследователи миелина игнорировали существование особого типа астроцитов, которые контактируют с аксоном в перехватах Ранвье.

Так как же перинодальные астроциты способствуют уменьшению миелиновой оболочки? Эти клетки помогают разрезать «швы», как человек, решивший перекрыть одежду. Миелиновая оболочка прикрепляется в области перехвата Ранвье по спирали. Под электронным микроскопом эти соединения похожи на швы, расположенные по спирали, нити которых представляют собой комплекс из трех молекул клеточной адгезии. Наш анализ состава данного комплекса показал, что одна мо-

Миелиновая оболочка важна для оптимального режима передачи импульсов. Ее деградация у пожилых людей — одна из основных причин возрастного снижения когнитивных способностей и затрудненного обучения новым вещам

лекула, нейрофасцин-155, может расщепляться с помощью специального фермента тромбина, что приводит к уменьшению толщины миелина.

Тромбин синтезируется в нейронах, но кроме того поступает в мозг из сосудов. По мере того как миелин отслаивается от аксона, перехваты Ранвье становятся крупнее. Наружный слой миелина прикреплен к аксону рядом с перинодальным астроцитом. Когда миелин отслаивается от аксона, его наружный слой уходит обратно в олигодендроцит, и толщина оболочки, таким образом, уменьшается. И увеличение области перехвата, и уменьшение толщины оболочки приводят к замедлению скорости передачи импульсов.

Мы обнаружили, что перинодальный астроцит может выделить белок-ингибитор, тормозя тромбин, и тем самым контролировать расщепление нитей, сшивающих миелин с аксоном. Мы провели эксперимент с генетически модифицированными мышами, астроциты которых выделяли меньше ингибитора. Когда мы проанализировали их нейроны под микроскопом, то увидели, что миелиновая оболочка стала тоньше, а перехваты Ранвье

шире. С помощью усилителя мы зарегистрировали нервные импульсы и скорость их распространения и обнаружили, что такое уменьшение толщины миелиновой оболочки привело к замедлению передачи импульсов в зрительном нерве на 20%, что ухудшило зрение мышей. Мы смогли вернуть все обратно, введя препарат, тормозящий действие тромбина, который используется для лечения сосудистых заболеваний.

Наши эксперименты подтвердили новую гипотезу, что изменения толщины миелиновой оболочки — это форма нервной пластичности, которая регулируется добавлением или убиением миелина. При этом добавочные слои миелина не образуются поверх уже существующих, как это было бы в случае изоляции проводов, поскольку в этом случае ножки олигодендроцитов запутались бы. Напротив, новая изоляция добавляется через внутренний слой, который, как змея, обвивается вокруг аксона. В то же время наружный слой может отслаиваться с помощью перинодального астроцита. Толщина миелиновой оболочки не постоянна, она отражает контролируемое астроцитом динамическое равновесие между добавлением слоев вокруг самого аксона и отслоением наружных слоев.

Мозговые ритмы

Оптимальное время прихода потенциалов действия в точки переключения важно для усиления синапсов, поскольку это позволяет подобрать временные параметры так, чтобы нейроны возбуждались одновременно. Однако миелиновая пластичность может участвовать в работе нервных цепочек и в процессе обучения и другим способом — настраивая частоты мозговых колебаний. Не всякая активность в мозге берет свое начало от сенсорного входа. Часто она возникает из самого мозга — как при наличии сознания, так и без него. Такая внутренняя активность представлена ритмами разной частоты, которые распространяются по мозгу, подобно тому как вибрация от работающего на определенной скорости двигателя заставляет разные детали автомобиля дребезжать на своих резонансных частотах.

Считается, что эти мозговые ритмы, или колебания, играют ключевую роль в объединении нейронов из разных отделов мозга, что важно для сортировки и передачи информации. Например, они связывают нейронную активность в префронтальной коре, которая отвечает за смысловое значение, и гиппокампе, который отвечает за пространственную информацию. Такая связь позволяет быстро узнать знакомое лицо коллеги на работе, но она же затрудняет распознавание того же человека в незнакомом месте.

Более важно то, что по мозговым ритмам и их частоте определяют различные фазы сна, нужные

для длительного запоминания. В течение дня все произошедшее с нами накапливается, а во время сна эта информация воспроизводится и сортируется, определяется, что сохранить, а что удалить. Сортировка происходит в зависимости от того, как данная информация соотносится с другими воспоминаниями и эмоциями, по которым можно определить, полезна ли она будет в будущем или нет. Считается, что ключевую роль в процессе консолидации памяти играют соответствующие колебания мозговой активности. А для синхронизации мозговых ритмов критично важна скорость передачи импульса.

Точно так же, как два ребенка, качаясь на балансирующих качелях, должны точно рассчитать время, когда надо отталкиваться ногами, так и популяции нейронов, генерирующих ритмическую активность, должны правильно подобрать задержку в передаче сигнала, чтобы колебания проходили синхронно по всему мозгу. Для волновой активности мозга важна пластичность миелиновой оболочки, поскольку за счет правильной скорости проведения импульса ритмическая активность двух связанных областей мозга поддерживается на одной частоте.

Данный вывод основывается на математическом моделировании фундаментальных физических законов распространения волн, проведенном мной вместе с коллегой по Национальным институтам здоровья Синишей Паевичем (Sinisa Pajevic) и Питером Бассером (Peter Basser). В 2020 г. у этой теории появилось экспериментальное подтверждение, которое сделал Патрик Стедман (Patrick Steadman) вместе со своими коллегами из лаборатории Пола Франкланда (Paul Frankland) в Торонтском университете. Исследователи, используя генетически модифицированных мышей, у которых можно было временно выключить процесс миелинизации, показали, что образование нового миелина необходимо для того, чтобы обучить животных бояться опасной обстановки и запоминать расположение безопасных мест. Более того, ученые обнаружили, что при таком обучении во время сна синхронизируется ритмическая активность гиппокампа и префронтальной коры. Выключение образования нового миелина снижает синхронизацию, вызывая нарушение памяти, которое можно встретить и у людей, неспособных связать страх после травматического события с соответствующим контекстом.

Обучение и выполнение любых сложных задач основывается на скоординированных действиях многих нейронов в разных областях мозга и требует, чтобы сигналы передавались по этой сети с оптимальной скоростью. Миелиновая оболочка важна для оптимального режима передачи импульсов, однако у пожилых людей наблюдается потеря миелина в коре больших полушарий. Эта

деградация — одна из основных причин возрастного снижения когнитивных способностей и затрудненного обучения новым вещам.

Представьте, как задержки в передаче информации отражаются на междугородней телефонной связи. Точно так же задержка в передаче сигналов в мозге может приводить к когнитивным нарушениям и дезорганизованному мышлению у людей с такими расстройствами, как, например, шизофрения. И действительно: нарушения в ритмической активности мозга наблюдаются при многих неврологических и психиатрических заболеваниях. Например, изменения в белом веществе отмечаются при болезни Альцгеймера.

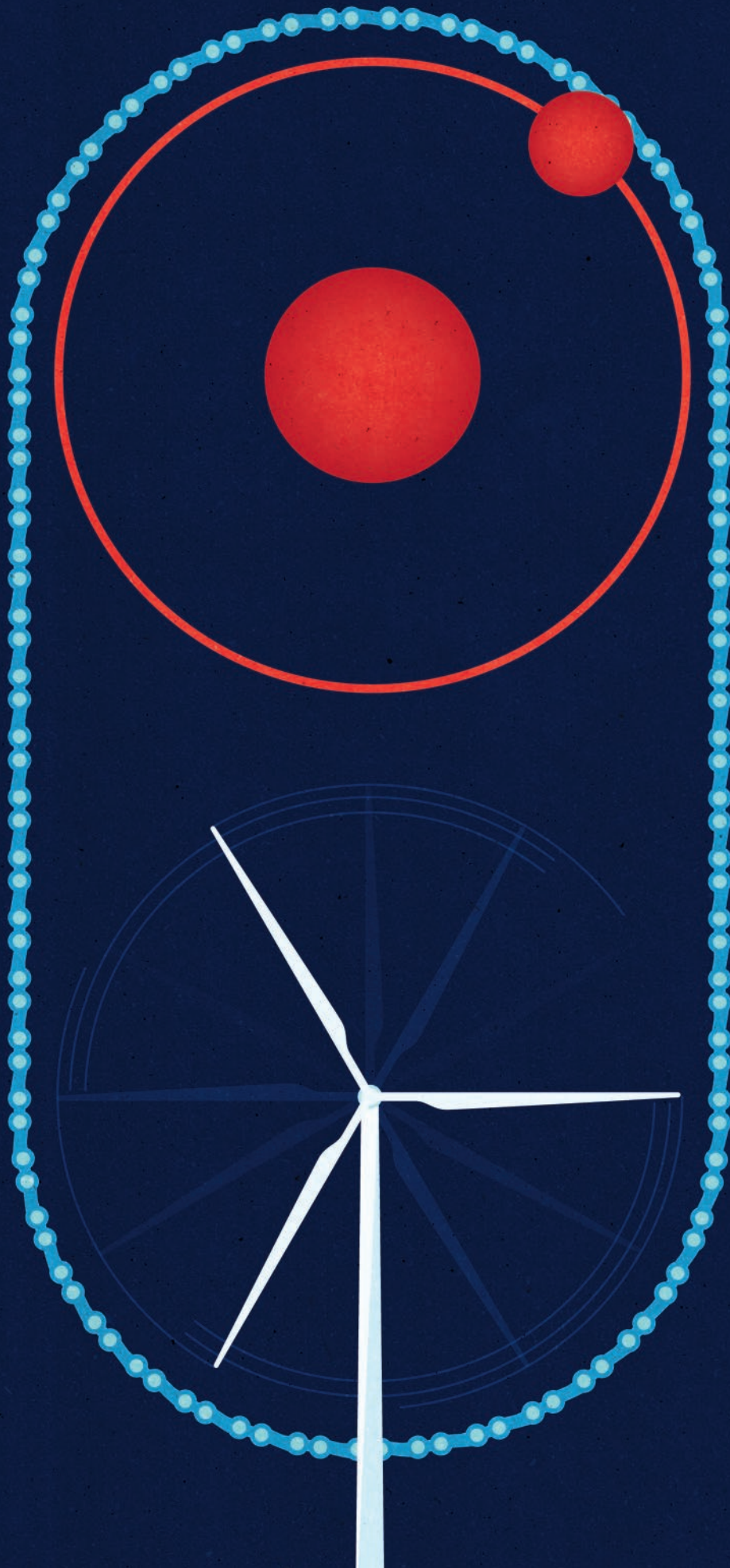
Препараты, контролирующие производство миелина, могут открыть новые возможности для лечения таких заболеваний. А поскольку миелинизация вовлечена во множество различных форм нейронной активности, то для исправления возрастных когнитивных нарушений и других расстройств может быть полезен целый ряд методик, таких как когнитивный тренинг, биологическая обратная связь и лечебная физкультура. В недавнем исследовании пожилых людей Чжон Хе Юн (Jung-Hae Youn) и его коллеги из Южной Кореи продемонстрировали, что память улучшается за десять недель соответствующих тренировок. Томография показала увеличение плотности трактов белого вещества в лобной доле у той группы, которая занималась тренировкой памяти.

Под влиянием этих новых представлений стали изменяться наши взгляды на работу мозга в целом. Миелин, который долгое время рассматривали как пассивную изолирующую оболочку аксонов, теперь считается важным компонентом обучения, регулирующим скорость, с которой сигналы проходят по нейронным цепочкам. Отважившись выйти за пределы синапса, мы дополняем базовые представления о синаптической пластичности другой информацией, чтобы получить полную картину происходящего в мозге во время обучения. ■

Перевод: М.С. Багоцкая

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Филдз Д. Вещественность белого вещества // ВМН, № 6, 2006.
- A New Mechanism of Nervous System Plasticity: Activity-Dependent Myelination. R. Douglas Fields in *Nature Reviews Neuroscience*, Vol. 16, No. 12, pages 756–767; December 2015.
- Regulation of Myelin Structure and Conduction Velocity by Perinodal Astrocytes. Dipankar J. Dutta et al. in *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, Vol. 115, No. 46, pages 11,832–11,837; November 13, 2018.
- Disruption of Oligodendrogenesis Impairs Memory Consolidation in Adult Mice. Patrick E. Steadman et al. in *Neuron*, Vol. 105, No. 1, pages 150–164.e6; January 8, 2020.



ЭНЕРГЕТИКА



КАК РЕШЕНИЕ

Водородная энергетика могла бы вернуть себе
прежнее место в качестве важной составляющей
при полном переходе на возобновляемые
источники энергии

Питер Фэйрли

ОБ АВТОРЕ

Питер Фэйрли (Peter Fairly) — писатель из Виктории, провинция Британская Колумбия (Канада), освещает вопросы энергетики и окружающей среды, автор статьи «Создание "умных" сетей электропередачи» (ВМН, № 8–9, 2018).



ВОДОРОД, ПОСТУПАЮЩИЙ ПО ТРУБАМ, ПРОЛОЖЕННЫМ ПОД УЛИЦАМИ

Каппель-ла-Гранд, помогает обеспечивать энергией 100 домов в этом небольшом городке на севере Франции. В конце короткой боковой дороги рядом с центром города внутри небольшого металлического ангара новый электролизер расщепляет воду, используя электроэнергию от ветровых и солнечных электростанций, для производства «возобновляемого» водорода, который вводится в природный газ, уже поступающий по трубопроводу. За счет замещения части ископаемого топлива водородом выбросы углекислого газа от печей, водонагревателей и плит в городке снижаются на 7%.

Система Каппель-ла-Гранд — это экспериментальная лаборатория на месте, созданная парижской энергетической компанией *Engie*. Компания ожидает, что в связи с продолжающимся снижением стоимости электролизеров и электроэнергии от возобновляемых источников масштабы использования энергии водорода значительно увеличатся. Если прогнозы *Engie* верны, то подача водорода вместе с газом по местным газораспределительным сетям могла бы ускорить переход от ископаемого топлива к «чистой» энергетике.

Компания *Engie* в этом не одинока. Еврокомиссия отводит «возобновляемому» водороду главную роль в своей концепции полного прекращения выбросов парниковых газов к 2050 г. Растет интерес и со стороны промышленных гигантов. Предполагается, что начиная со следующего года все новые турбины для электростанций, произведенные на территории ЕС, должны быть готовы к сжиганию смеси

водорода с природным газом, а изготовители заявляют, что к 2030 г. будут сертифицированы турбины, предназначенные для 100% водорода. Тем временем европейские сталепромышленники проводят эксперименты, в которых «возобновляемый» водород используется в качестве топлива — заместителя угля в доменных печах.

Идея использования водорода для производства энергии может показаться знакомой, и так оно и есть. Почти столетие назад знаменитый британский генетик и математик Джон Бердон Сандерсон Холдейн предсказал конец эры ископаемого топлива и наступление новой эпохи, в которой ведущую роль будут играть «огромные электростанции», выкачивающие водород. Такое представление стало очень популярным в начале этого века. В 2002 г. в книге футуриста Джереми Рифкина «Если нефти больше нет... Кто возглавит мировую энергетическую революцию?» предсказывалось, что водород

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Планы стран по переходу на обеспечение электроэнергией исключительно за счет возобновляемых источников не смогут успешно осуществиться до тех пор, пока не будет произведена полная перестройка энергосистем, в том числе и топливных.
- Дополнительная энергия Солнца и ветра может использоваться для питания электролизеров, превращающих воду в водород, который транспортируется по трубопроводам и опять превращается в электричество при необходимости.
- Водород можно запасать в резервуарах и подземных хранилищах, создавая сеть, обеспечивающую энергией промышленность и резервные электросети.



Электроды внутри электролизера расщепляют молекулы воды на кислород (слева) и водород (справа); высота электродов — 1 см

послужит катализатором для новой промышленной революции. Энергию Солнца и ветра будут использовать для расщепления неограниченного ресурса — воды. Побочный продукт такого процесса — безвредный кислород, а полученный водород будет применяться для производства электричества и тепла, а также для обеспечения энергией промышленности.

В 2003 г. президент США Джордж Буш в своем послании конгрессу «О положении страны» объявил о начале крупной исследовательской кампании стоимостью \$1,2 млрд, в рамках которой автомобили, работающие на водородных топливных элементах, должны были бы стать обычным явлением в течение жизни этого поколения. Топливные элементы в гаражах могли бы также использоваться в качестве резервного источника для обеспечения электричеством домов. Несколько месяцев спустя журнал *Wired* опубликовал статью о том, как водород может спасти Америку (эта фраза вынесена в заголовок) за счет ликвидации зависимости от «грязной» импортируемой нефти.

Однако громкие заявления о быстром прогрессе не оправдались. В центре внимания в качестве экологически чистого транспорта оказались более дешевые и быстро усовершенствуемые автомобили

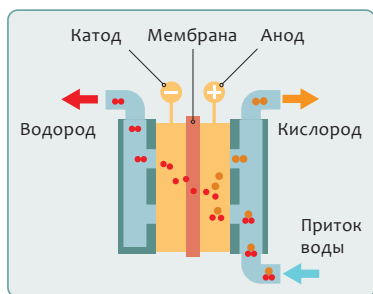
на аккумуляторах. В 2009 г. администрация Барака Обамы отодвинула работы по водороду на второй план. Первый секретарь по энергетике в администрации Обамы, физик и нобелевский лауреат Стивен Чу (Steven Chu), объяснял, что водородная технология просто не готова и, возможно, топливные элементы и электролизеры никогда не станут рентабельными.

Тем не менее исследования не прекратились, и даже Чу теперь признает, что некоторые препятствия постепенно устраняются. Система в Каппель-ла-Гранд — это пример проекта небольших масштабов, но во всем мире, особенно в Европе, начинают создаваться десятки все более крупных сооружений. Как недавно отмечалось в отчете Международного энергетического агентства, «использование водорода в настоящее время получает беспрецедентную поддержку со стороны правительств и бизнеса, и число реализуемых проектов по всему миру быстро растет».

На этот раз интерес к водороду обусловлен стремлением снизить выбросы углекислого газа от электросетей и тяжелой промышленности, а не от транспорта. «Каждый из тех, кто занимается созданием моделей энергетики, очень серьезно задумывается о снижении выбросов парниковых

Обеспечение энергосистемы

В ветреные или солнечные дни излишки электроэнергии можно направить на питание электролизеров (слева), расщепляющих воду на водород и кислород. Водород можно запастись, и, если объемы производства электроэнергии от возобновляемых источников в безветренные или темные дни уменьшаются, газ можно применять в качестве топлива для турбины (внизу), генерирующей электричество, для бесперебойного обеспечения электроэнергией. Такой водород также можно непосредственно использовать в промышленности как топливо и исходное сырье вместо ископаемого топлива или «серого» водорода, который в настоящее время производится из природного газа.



Электролизер

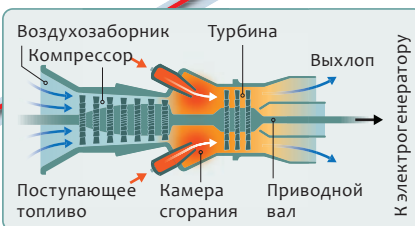
Электричество создает водород

Электролизеры устроены по-разному. В одной из наиболее распространенных систем молекулы воды взаимодействуют с анодом, расщепляясь на молекулы кислорода и ионы водорода. Кислород выбрасывается в воздух, а ионы водорода проходят сквозь полимерную мембрану к катоду, где они взаимодействуют, образуя молекулы газообразного водорода, который направляется в хранилище.

Хранилище водорода

Водород создает электричество

Когда в энергосистеме возникает потребность в электроэнергии, запасенный водород подается к газовой турбине. Он впрыскивается в камеру сгорания, где смешивается со сжатым воздухом и воспламеняется, создавая поток газа под высоким давлением, который, поступая на лопатки турбины, вызывает ее вращение, а вал турбины, в свою очередь, приводит во вращение генератор, вырабатывающий электрический ток.

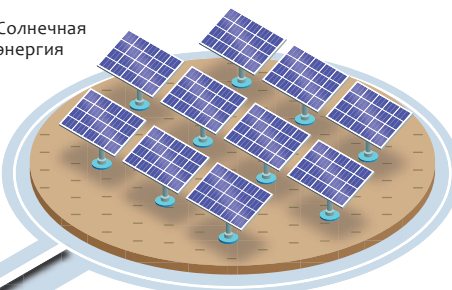


Газовая турбина

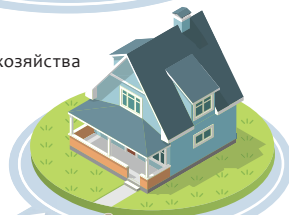
Энергия ветра



Солнечная энергия



Домашние хозяйства



Промышленность



Электрическая сеть



газов», — говорит Том Браун (Tom Brown), возглавляющий группу по моделированию энергосистем в Институте технологий в Карлсруэ. Города, отдельные штаты и целые государства составляют планы по снижению выбросов CO_2 почти до нуля к 2050 г. или раньше, в основном путем перехода на электричество, вырабатываемое за счет энергии ветра и Солнца.

Но в этой стратегии есть две проблемы, часто замалчиваемые. Во-первых, существующие электросети не обладают достаточной мощностью, чтобы справиться с большим количеством энергии от возобновляемых источников, необходимой для исключения электростанций на ископаемом топливе. Во-вторых, все равно будут нужны резервные электростанции на случай долгих периодов пасмурной или безветренной погоды. В настоящее время такой резерв обеспечивается газовыми, угольными и атомными электростанциями (АЭС), за счет которых операторы энергосетей легко могут увеличить или снизить объемы подачи энергии, чтобы сбалансировать перепады, связанные с возобновляемыми источниками.

Водород может играть ту же роль, говорят его сторонники. Когда ветрено и солнечно, электролизеры могут использовать часть этой энергии для выработки водорода, который будет запасаться действительно «на черный день». А потом топливные элементы или турбины будут опять превращать накопленный водород в электричество для поддержания тока в сетях.

Резкое сокращение выбросов CO_2 также означает, что необходимо найти замену топливу в таких сегментах экономики, где невозможно просто подключиться к большой сетевой розетке, — например, когда речь идет о тяжелом транспорте. Кроме того, требуется замена сырья для химических веществ и материалов, основу которых в настоящее время составляют нефтепродукты, уголь и природный газ. «Слишком много людей заблуждается, полагая, что электрификация — единственное необходимое решение проблемы [с выбросами парниковых газов]», — говорит Джек Брауэр (Jack Brouwer), эксперт по энергетике из Калифорнийского университета в Ирвайне, уже более двух десятилетий разрабатывающий способы решения проблем с загрязненным воздухом в своем регионе. По его словам, «многие из наших государственных агентств и регуляторов оказались вовлечены», не задумываясь о проблеме с хранением энергии или с обеспечением промышленности топливом.

Способен ли «возобновляемый» водород сделать работоспособными электросети на основе экологически чистой энергии? Будет ли он подходящим решением для промышленности? Некоторые сделали ставку на водород, даже не зная, возможно ли быстрое увеличение масштабов его использования и будет ли это по карману.

Темные штили

В нескольких странах, сделавших серьезную ставку на замену угля и природного газа энергией Солнца и ветра, уже наблюдаются признаки напряжения. В Германии за счет возобновляемых источников обеспечивается около 40% объема электроэнергии, хотя и с огромными перепадами. В некоторые дни на долю ветряных и солнечных установок приходится более 75% объема производства электроэнергии по всей стране, а в другие — всего 15%. Операторы энергосетей спрашивают с такими пиками и провалами, регулируя обеспечение электроэнергией за счет работающих на ископаемом топливе и гидроаккумулирующих электростанций и АЭС, а также больших аккумуляторов. Кроме того, ветряные и солнечные электростанции все чаще вызывают скачки напряжения больше, чем могут выдержать перегруженные линии электропередачи (ЛЭП), поэтому операторы энергосетей вынуждены отключать некоторые возобновляемые источники, а это приводит к убыткам, которые только в 2017 г. составили 1,4 млрд евро (\$1,5 млрд).

Стоимость электролизеров — возможно, наиболее серьезная проблема для будущего водородной энергетики. Чтобы добиться успехов в промышленности, себестоимость производства водорода нужно снизить с \$4 за килограмм до \$2 или еще меньше

Возникает еще более серьезная проблема: как государства будут справляться после планируемого постепенного прекращения работы электростанций на ископаемом топливе (а также АЭС в Германии)? Как операторы энергосетей будут обеспечивать потребителей светом в темные и безветренные периоды? Немецкие разработчики моделей энергосистем придумали термин для такого отсутствия энергии от возобновляемых источников: *Dunkelflauten*, «темные штили». Метеорологические исследования показывают, что энергосетям в США и Германии придется компенсировать *Dunkelflauten*, длящиеся до двух недель.

Бороться с «темными штилями» можно было бы с помощью более мощных сетей электропередачи



Инженеры в Гамбурге проверяют трубы, по которым транспортируется водород, полученный с помощью энергии от возобновляемых источников

за счет подачи электричества на большие расстояния и даже через континенты: из тех областей, в которых в определенный день ветрено и светит яркое солнце, туда, где наблюдаются штиль и облачность. Однако расширение сетей — тяжелая утомительная работа. В Германии расширение ЛЭП, сталкивающееся с общественными протестами, намного отстает от графика. В США такая же оппозиция препятствует получению разрешений на строительство новых ЛЭП.

Из-за *Dunkelflauten* некоторые эксперты считают использование энергии ветра и Солнца рискованным. Например, моделирование энергосетей, выполненное в 2018 г. разработчиками из Массачусетского технологического института, показывает экспоненциальный рост издержек по мере приближения к полному переходу на энергию от возобновляемых источников. Такой результат получается, поскольку, по предположениям разработчиков, понадобится установка больших дорогостоящих аккумуляторов, которые необходимо все время держать заряженными, несмотря на то что их, возможно, будут использовать лишь несколько дней или даже часов в году.

Группа ученых из Калифорнии в 2018 г. пришла к такому же выводу, выяснив, что за счет энергии ветра и Солнца даже при наличии крупных линий электропередач и аккумуляторов можно лишь примерно на 80% обеспечить потребности США в электричестве. Входящий в исследовательскую группу Кен Калдейра (Ken Caldeira), климатолог из Института Карнеги, при обнародовании результатов исследования сказал, что, несомненно, будут нужны и другие источники энергии.

Некоторые европейские эксперты говорят, что исследования в МТИ и Калифорнии слишком узконаправленны. Несколько десятилетий европейские исследователи рассматривали проблему в более широком ключе, принимая во внимание не только электросети, но полный спектр энергии, используемой в современном обществе. В исследованиях «комплексных энергетических систем», начатых Бентом Серенсеном (Bent Sørensen), физиком из Университета Роскилле, и продолженных другими датскими учеными, используется сочетание моделей для электросетей, газораспределительных сетей природного газа и водорода, транспорт-

ных систем, тяжелой промышленности и систем центрального отопления.

Модели показывают, что взаимодействие этих секторов обеспечивает оперативную гибкость, и водород — эффективный способ добиться этого. Согласно этой точке зрения, электросети исключительно на основе энергии от возобновляемых источников можно было бы с успехом применять, причем без резкого удорожания, наблюдаемого в моделях МТИ, если использовать водород для накопления энергии на случай «темных штилей».

В некоторых исследованиях, проведенных в США, исключается накопление энергии в виде водорода, потому что на данный момент это дорого. Однако, по словам других разработчиков, такой подход имеет изъяны. Например, во многих исследованиях энергосистем, опубликованных лет десять назад, недооценивались возможности солнечной энергетики из-за ее дороговизны в то время. Такое допущение оказалось ошибочным, если принимать во внимание, насколько упала стоимость солнечной энергии с тех пор. В европейских моделях, например в модели Брауна, при расчетах наиболее дешевых способов прекращения выбросов углекислого газа учитывается ожидаемое снижение стоимости. Выясняется, что цена «возобновляемого» водорода снизится за счет роста числа электролизеров.

Прежде всего, модели предполагают увеличение масштабов применения электролизеров, для того чтобы заменить водород, который производят из природного газа на химических и нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ) с использованием разных технологических процессов. По данным

Международного энергетического агентства, при производстве «серого» водорода (как его называют специалисты по энергетике) по всему миру ежегодно выбрасывается более 800 млн т CO_2 — столько же, сколько составляет суммарный объем выбросов парниковых газов в Великобритании и Индонезии вместе взятых. Замена «серого» водорода на возобновляемый резко сокращает выбросы CO_2 от тех производств, где водород используется. Водород частично может заменить природный газ и дизельное топливо, потребляемое тяжелыми грузовиками, автобусами и поездами. Несмотря на то что топливные элементы пытаются составить конкуренцию аккумуляторам для легковых автомобилей, возможно, выгоднее использовать их для более тяжелого транспорта. Разработчик грузовых автомобилей из *Nicola Motor Company* говорит, что тягачи с прицепом, запускаемые компанией в серийное производство, в зависимости от оснащения и различных факторов транспортировки будут преодолевать от 800 до 1200 км на заполненном топливном элементе.

Если бы промышленность и тяжелый транспорт перешли на «возобновляемый» водород, появились бы региональные распределительные сети, которые также могли бы обеспечивать экологически чистым газом электростанции для резервного снабжения электроэнергией. Так и происходит в моделях комплексных энергосистем: по мере роста производства и потребления «возобновляемого» водорода развиваются массовые распределительные сети, которые месяцами хранят ценный газ в больших резервуарах или подземных емкостях (что во многом напоминает хранение природного газа в настоящее время), и это гораздо дешевле, чем накопление энергии в аккумуляторах. Браун говорит: «Как только вы признаете, что водород важен для других секторов [экономики], вы получаете долговременное хранение для энергетического сектора как своего рода побочный продукт».

Такая перспектива появляется в моделях Кристиана Брейера (Christian Breyer) из Лаппеэнрантского технологического университета (ЛТУ-Университета) в Финляндии. Команда Брейера совместно с Группой по наблюдению за энергетикой, международной группой ученых и парламентариев, опубликовала в 2019 г. новейший сценарий полного перехода на энергию от возобновляемых источников, согласно которому для обеспечения бесперебойного электроснабжения в периоды самых тяжелых «темных штилей» будут запускаться электростанции, сжигающие накопленный водород. «Это последняя надежда, — считает Брейер. — Без таких больших турбин у нас не будет стабильной энергосистемы в определенные периоды в году».

В модели Брейера в электричество вновь превращается менее половины энергии ветра и Солнца, необходимой для производства и накопления

водорода, и это большие потери, а водородные турбогенераторы задействованы не чаще, чем несколько недель в год. Однако малая эффективность превращения водорода в электричество не связана с большими затратами, поскольку этот путь используется нечасто. По словам Брейера, такая схема — наиболее выгодное решение с экономической точки зрения для энергетической системы, находящейся не в лучшем состоянии, и не особенно зависит от того, в каком количестве электросетей используются электростанции на природном газе. «Десятилетиями существуют электростанции, которые запускают всего лишь раз в несколько лет», — говорит Брейер.

Перепрофилированные трубопроводы

Несмотря на то что в настоящее время экологически чистый водород производится мало, Европа делает ставку на водород для снижения выбросов CO_2 от энергетической системы. По прогнозам Еврокомиссии, доля возобновляемых источников в энергообеспечении Европы будет расти и превысит 80% в 2050 г., причем более 50 ГВт (мощность примерно 20 АЭС) будет обеспечиваться за счет электролизеров. Страны — члены ЕС также ставят собственные цели. Франция требует, чтобы в промышленности, потребляющей водород, к 2022 г. доля «возобновляемого» водорода составляла 10%, а к 2027 г. — от 20 до 40%.

Поставленных целей будет трудно достичь, если не проводить политику поддержки предпринимателей, для того чтобы фирмы начали массовое производство электролизеров. Можно начать с подачи водорода через газопроводы вместе с газом, поскольку в этом случае используется уже существующая инфраструктура. Долгое время инженеры считали, что молекулярный водород (состоящий из самых малых молекул и обладающий высокой реакционной способностью) будет деградировать или улечиваться из существующих газопроводов. Однако недавние исследования показывают, что без утечек или повреждения таких труб к газу можно примешивать 20–25% водорода (от общего объема). Европейские страны разрешают смешивание, и фирмы в Италии, Германии, Великобритании, а также в других странах на многих участках добавляют водород, который помогает обеспечивать потребителей топливом для нагревателей, плит и других устройств. Для этого не требуется изменений, поскольку содержание водорода остается ниже 25%.

Компания *Engie*, по словам менеджера проекта Элен Пьер (Hélène Pierre), уже более года осуществляет смешивание в Каппель-ла-Гранд без всяких инцидентов или протестов. Элен рассказывает, что завоеванию поддержки со стороны общественности способствует широкомасштабный мониторинг, демонстрирующий, что в домах,

использующих смесь, более чистый воздух; как отмечает Пьер, добавление водорода улучшает процесс сжигания газа в устройствах и снижается уровень загрязняющих веществ, таких как угарный газ, образующийся при неполном сгорании природного газа.

Следующая волна европейских проектов по использованию «возобновляемого» водорода может стимулировать производство водорода в больших масштабах. Промышленные консорциумы во Франции и Германии стремятся получить финансирование и разрешения на электролизеры мощностью 100 МВт, которые в десять раз крупнее самых больших из уже действующих. Два проекта, предусматривающие использование огромных электролизеров в целях развития региональной водородной экономики в районе Лингена, города на северо-западе Германии, где расположены два НПЗ, конкурируют за предоставление правительственной поддержки. Один проект, в котором участвует крупная компания *Enertrag* и несколько крупнейших немецких энергетических и инженерных фирм, мог бы стать образцом общенациональной водородной сети. В этом проекте учитываются преимущества существующей газовой инфраструктуры, но не за счет смешивания. Суть в том, чтобы репрофилировать резервные газопроводы для доставки возобновляемого водорода на местные НПЗ, а также на электростанцию и даже на планируемую станцию по заправке транспорта на топливных элементах. «Мы хотим построить газовую сеть на стопроцентном водороде», — говорит Фрэнк Хойнеман (Frank Heunemann), управляющий компанией *Nowega*, оператором региональной сети газоснабжения и одним из партнеров проекта.

Nowega может многократно использовать некоторые пустые трубопроводы, поскольку в регионе существуют две сети газоснабжения: по одной транспортируется стандартный природный газ, представляющий собой почти чистый метан, а другая была построена для доставки местного природного газа с высоким содержанием сероводорода, и водород может сделать некоторые стальные трубы хрупкими. *Nowega* постепенно прекращает поставки местного газа, оставляя незаполненными стальные трубы, которые, по словам Хойнемана, должны выдерживать любое взаимодействие с водородом. Европейский поставщик электроэнергии *RWE* построит главный электролизер консорциума и планирует частично сжигать производимый водород на электростанции Лингена. Инженерный гигант *Siemens* намерен оптимизировать одну из четырех газовых турбин электростанции для того, чтобы она могла работать на чистом водороде.

Консорциум также рассматривает возможности расширения сети. Линген находится в 48 км

от соляных каверн, созданных для хранения природного газа. Было бы логично, если следующим шагом станет запасание части производимого в Лингене водорода в одной из каверн на глубине более 1 тыс. м, говорит Хойнеман. (В Техасе и Великобритании водород в основном уже хранится в подземных полостях.)

Nowega также предусматривает создание сети трубопроводов протяженностью 3,2 тыс. км, которая бы охватывала большинство сталелитейных и нефтеперерабатывающих заводов, а также химических производств Германии. Основу плана составляет репрофилирование газопроводов, которые первоначально были предназначены для транспортировки бытового газа с высоким содержанием водорода. Такой газ производился из угля — распространенная практика в Европе до 1960-х гг. Как говорит Хойнеман, трубопроводы, исторически справлявшиеся с 50% водорода, должны также подходить для использования стопроцентного водорода.

Неопределенное будущее

Растущий интерес Европы к «возобновляемому» водороду отнюдь не уникален. Япония планирует за несколько десятилетий перейти к «обществу на водороде», и с 2014 г. это главная цель государственной политики в области энергетики. В соответствии с одной из первых поставленных целей Японии, демонстрирующей технологическую эффективность импорта водорода, в 2020 г. начинается доставка «серого» водорода танкерами из Брунея, небольшой богатой газом страны на острове Калимантан (Борнео). В Австралии соперничающие политические партии разрабатывают планы экспорта водорода в Японию. В декабре 2019 г. министры энергетики австралийских штатов и территорий приняли национальную стратегию в области использования водорода, а правительство объявило о комплексе мер, направленных на стимулирование развития водородной энергетики, стоимостью 370 млн австралийских долларов (\$252 млн).

Даже в США наблюдаются признаки возобновления интереса к водороду. Федеральное правительство вновь определяет цели для водородных технологий, некоторые фирмы в сфере энергетики инвестируют в такие технологии, а некоторые штаты предлагают поддержку. Лидером может стать Лос-Анджелес. В соответствии с программой «Новый "зеленый" курс Лос-Анджелеса», изложенной мэром Эриком Гарсетти в апреле 2019 г., к 2030 г. город должен на 80% обеспечиваться электричеством за счет возобновляемых источников, а к 2050 г. — на 100%. Мэр рассказал о планах по созданию солнечных энергоцентров и строительству новой электростанции на природном газе, для того чтобы город был обеспечен резервным источником

электроэнергии. Такую электростанцию можно было бы перевести на сжигание «возобновляемого» водорода: в настоящее время по газопроводам протяженностью около 125 км на НПЗ региона уже транспортируется «серый» водород. Топливные элементы составляют конкуренцию аккумуляторам в планах по переводу на новое топливо почти 16 тыс. грузовиков, доставляющих грузы в порты. Использование водорода вместо дизельного топлива в грузовиках могло бы значительно улучшить состояние неба над Лос-Анджелесом, в настоящее время затянутого дымкой.

По словам Брауэра, целому штату следует более глубоко задуматься об энергетике, когда речь идет о снижении выбросов CO_2 . По оценкам Национальной лаборатории им. Лоуренса в Беркли, в Калифорнии к 2025 г. ежегодные потери потенциально возможной энергии от возобновляемых источников будут составлять 8 ТВт·ч — это энергия, которую, по словам Брауэра, штату следовало бы накапливать в виде водорода для снижения выбросов от НПЗ и обеспечения возрастающей потребности в электричестве во время периодов летней жары.

Другие эксперты согласны с тем, что водород может послужить связующим звеном. В недавнем исследовании группа экспертов *Energy Futures Initiative* («Инициативная группа "Будущее в области энергетики"»), возглавляемая физиком-ядерщиком Эрнестом Моницем (Ernest Moniz), ранее работавшим в МТИ и бывшим вторым секретарем по энергетике в администрации Барака Обамы, призывает Калифорнию использовать «огромную ценность» возобновляемого водорода и других видов низкоуглеродного топлива. Исследователи пришли к выводу, что без этого Калифорнии, возможно, не удастся достичь целей по прекращению выбросов диоксида углерода.

Целый ряд потенциальных проблем по-прежнему могут останавливать масштабное развитие инфраструктуры водородной энергетики в Калифорнии, Европе и во всем мире или чинить ему препятствия. Одна из нерешенных проблем — опасения общества. Водород очень легко воспламеняется, и происходят несчастные случаи. Прошлым летом из-за неисправной задвижки произошел взрыв водорода на норвежской заправочной станции для автомобилей на топливных элементах. Бетонные взрывозащитные стены минимизировали повреждения, однако в репортажах СМИ сразу же задался вопросом о том, переживет ли водородная энергетика такое происшествие. В ноябре 2019 г. губернатор Калифорнии Гэвин Ньюсом попросил Комиссию по коммунальным услугам штата ускорить закрытие подземного сооружения для хранения газа, из-за которого четыре года назад в связи с продолжавшейся четыре месяца утечкой газа пришлось эвакуировать тысячи семей.

Все варианты энергоснабжения имеют свои риски, и оппозиция общества часто усложняет путь к безуглеродной энергетике. Во многих местах общественность не в восторге от атомной энергетики, ЛЭП или ветровых турбин. Тем не менее стоимость электролизеров — возможно, наиболее серьезная проблема для будущего водородной энергетики. Для того чтобы начать замену «серого» водорода в промышленности, себестоимость производства «возобновляемого» водорода должна снизиться с \$4 или больше за килограмм (затраты в настоящее время) до \$2 или меньше. Некоторые исследования показывают, что это, возможно, произойдет к 2030 г., если цены на электролизеры продолжат падать, как в течение последних нескольких лет.

Исследования также демонстрируют, что модель водородной энергетики не может реализоваться без стимулов со стороны правительства. В своем недавно опубликованном отчете Международное энергетическое агентство отмечает, что водородной энергетике нужна такая же правительственная поддержка, какая оказывалась на ранних стадиях внедрения ветровой и солнечной энергетики — отраслей, которые теперь ежегодно привлекают более \$100 млрд инвестиций по всему миру. Такие примеры, по мнению агентства, демонстрируют, что «политика и технологические инновации способны создать чистые энергетические отрасли во всем мире».

Возможно, появятся усовершенствованные технологии. На рынок выходит новый класс электролизеров — твердооксидные электролизеры, которые производят почти на 30% больше водорода, чем преобладающие в отрасли (их использует и компания *Engie*) электролизеры с протонообменными мембранами. Стивен Чу — высказывавший сомнения бывший секретарь по энергетике, а ныне профессор Стэнфордского университета — работает над новым электролизером, в котором используются более тесное размещение составных элементов и другие уловки для более быстрого производства водорода с меньшими затратами энергии. По словам Чу, подобные изменения могут сыграть «огромную роль в стоимости эксплуатации». И это еще одна причина, говорит Чу, почему он стал относиться к водороду более лояльно. ■

Перевод: С.М. Левензон

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Hydrogen Roadmap Europe. Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking, February 2019.
- The Future of Hydrogen: Seizing Today's Opportunities. Technology Report. International Energy Agency, June 2019.



АСТРОХИМИЯ

ПЕРВАЯ МОЛЕКУЛА во Вселенной

Ученые обнаружили во Вселенной загадочные молекулы. С этих соединений, как предполагают, в космосе и началась химия

Райан Фортенберри

ОБ АВТОРЕ

Райан Фортенберри (Ryan C. Fortenberry) — доцент физической химии Миссисипского университета и бывший научный сотрудник NASA. В его исследованиях квантово-химические модели используются для предсказания того, как молекулы поглощают свет, что позволяет находить их в космосе.



II

Первые «атомы» во Вселенной были вовсе не атомами — это были всего лишь ядра, которые еще не обзавелись своими электронами. Простейшее ядро — это ядро обычного водорода, голый протон без всяких наворотов. Когда в результате Большого взрыва родилась Вселенная, энергия зашкаливала. Все постоянно со всем сталкивалось. Протоны и нейтроны часто сталкивались между собой, и иногда образовывались более крупные ядра, такие как ядра дейтерия (состоящие из протона и нейтрона), а также ядра гелия с двумя протонами и двумя нейтронами. Образовывались и другие комбинации протонов и нейтронов, но, поскольку свойства атома определяются числом его протонов, все эти другие конгломераты были, в сущности, просто различными видами ядер водорода, гелия и, в мизерном количестве, лития.

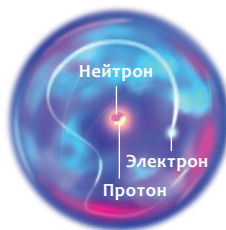
Из этих троих гелий был первым, кто начал образовывать «настоящий» атом. Атом — это не просто ядро, он должен обладать электронами. Ядра гелия были первыми, собравшими вместе полный комплект электронов. Почему не водород и не литий? Ну, потому что гелий — первый благородный газ в периодической таблице, первый атом с достаточным числом электронов, чтобы полностью заполнить свою электронную оболочку. Таким образом, если электроны служат разменной монетой химии, то гелий — главный воришка в периодической таблице. В современной лаборатории для того, чтобы украсть электрон у гелия, требуется больше энергии, нежели для любого другого элемента. А чтобы

оторвать второй электрон, энергии необходимо вдвое больше, чем на первый. В ранней Вселенной, когда ядра гелия начали находить электроны, они заполняли «закрома» своих электронных оболочек гораздо раньше, чем могли начать их ловить ядра водорода, и задолго до того, как появилось достаточное количество ядер лития, чтобы собрать все три из необходимых им электронов.

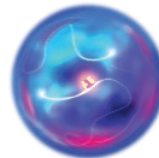
Остальное вещество во Вселенной в то время в основном все еще состояло из одиноких протонов, которые стали ощущать влияние отсутствия электрона.



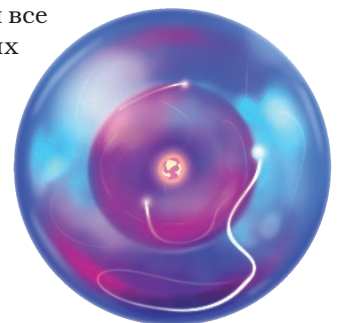
Водород
Ядро: один протон



Дейтерий
Ядро: один протон
и один нейтрон



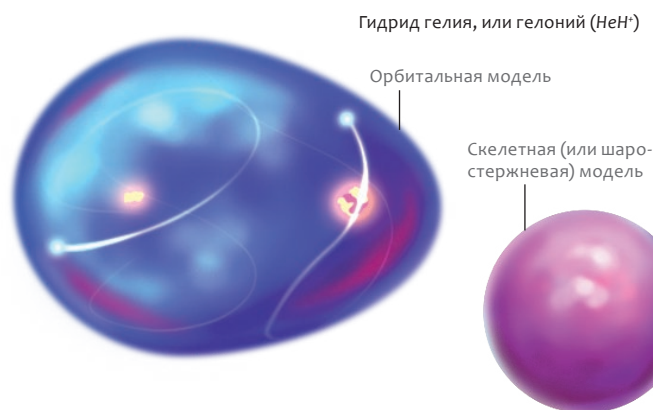
Гелий
Ядро: два протона
и два нейтрона



Литий
Ядро: три протона
и четыре нейтрона

Атомы показаны здесь в виде орбитальных моделей, раскрывающих их субатомные компоненты. На следующих страницах мы изображаем молекулы — соединения двух или более атомов, — используя традиционные модели, где шары представляют собой атомы, а стержни — электроны, которыми они связаны.

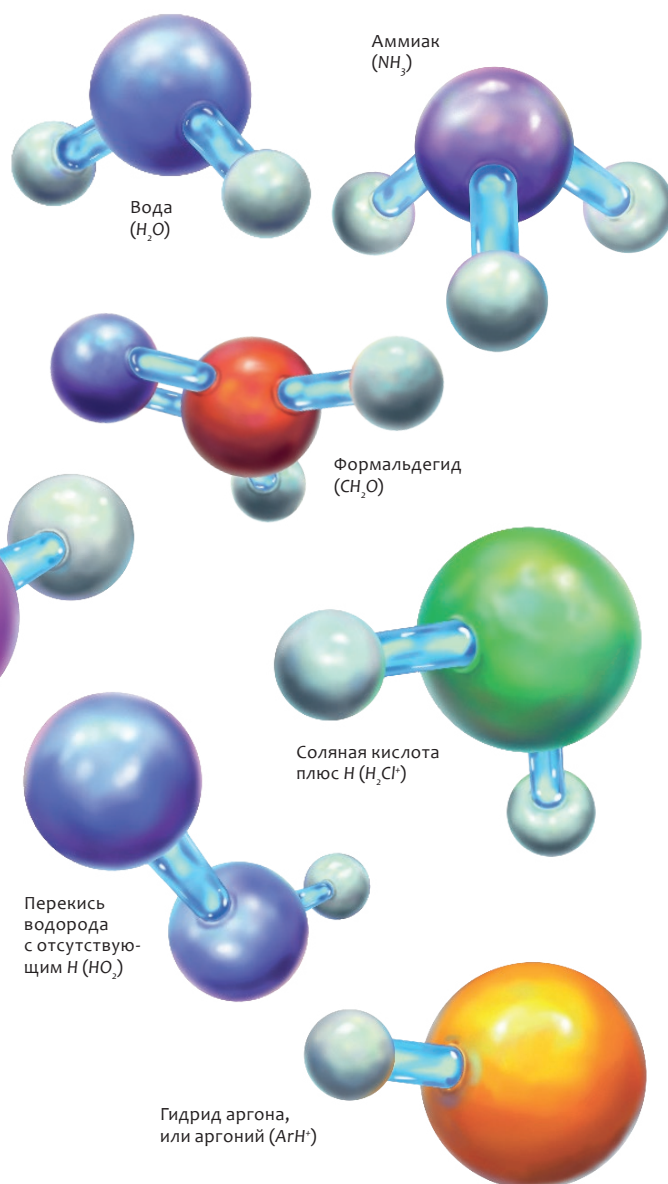
Они начали замедляться и занялись поисками партнеров с противоположным зарядом, чтобы стать электрически нейтральными. Но самым поймать электроны было трудно, поэтому протоны обратились к гелию, у которого уже имелось некоторое их количество. Хотя гелий не склонен делиться, он продолжал постоянно сталкиваться с настойчивыми ядрами водорода. Это давление в результате столкновений с ядрами водорода в конце концов заставило некоторые атомы гелия поделиться своими электронами с протонами. Так образовались первые химические связи. Это новое соединение гелия и водорода, получившее название «гидрид гелия», или «гелоний» (HeH^+), и стало самой первой молекулой (в сколь-нибудь стабильном количестве) во Вселенной.



То, что гелий был первым элементом, образовавшим химическое соединение, стало неожиданностью, поскольку в наш век считается, что гелий — самый последний в списке элементов, желающих образовать соединение с другими, — насыщенный благородный газ, у которого электронная оболочка полностью укомплектована. Однако в ранней Вселенной гелий был единственным игроком на поле, единственным банком, обладающим возможностью давать займы электроны.

Эта гипотеза уже много десятилетий имела под собой твердое теоретическое основание, но долгое время не находила подтверждения в виде

астрономических наблюдений. HeH^+ может образовываться на Земле только в лабораторных условиях, и в течение десятилетий его не удавалось обнаружить и в космосе. Наконец в прошлом году астрономы объявили, что они впервые наблюдали эту молекулу, притаившуюся в огне погребального



ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Астрохимики изучают молекулы, обнаруженные в космосе, где температура и давление разительно отличаются от земных, поэтому многие из химических веществ там отличаются от тех, с которыми мы знакомы, а некоторые нам вообще неизвестны.
- Несколько последних важных открытий в этой области меняют наши представления о химии в космосе. Ученые наконец выследили давно предсказанную молекулу, называемую гидридом гелия, или HeH^+ , — как полагают, самое первое соединение, образовавшееся во Вселенной.
- Ученые также начали выявлять некоторые молекулы, ответственные за диффузные полосы межзвездного поглощения — загадочные химические маркеры, наблюдаемые в течение десятилетий в межзвездном космическом пространстве.

костра умирающей звезды. Сорокалетние поиски увенчались успехом, и к нашей картине формирования ранней Вселенной была добавлена новая важная деталь.

Теперь HeH^+ включен в разряд внеземных молекул, более 200 видов которых ученые уже обнаружили в космосе. Изучение химических процессов за пределами Земли — астрохимия, как мы, работающие в этой области науки, любим это называть, — имеет своей целью понять, какие молекулы присутствуют в космосе, как они образуются и что их эволюция дает наблюдательной и теоретической астрофизике. Многие из известных астромолекул, включая воду, аммиак и формальдегид, привычны и здесь, на Земле. Другие, такие как соляная кислота с лишним протоном или перекись водорода, у которой «ампутирован» один из ее атомов водорода, — аномалия для нашей планеты. Наблюдалась также заряженные молекулы, системы с неспаренными электронами и странные структуры атомов в обычных во всем остальном молекулах. Мы даже видели молекулы, содержащие атомы так называемых инертных благородных газов, такие как ArH^+ (соединение аргона и водорода) и недавно задокументированный HeH^+ .

Задача большинства отраслей химии — сделать мир более безопасным, продуктивным и приятным для жизни человека. Однако астрохимия

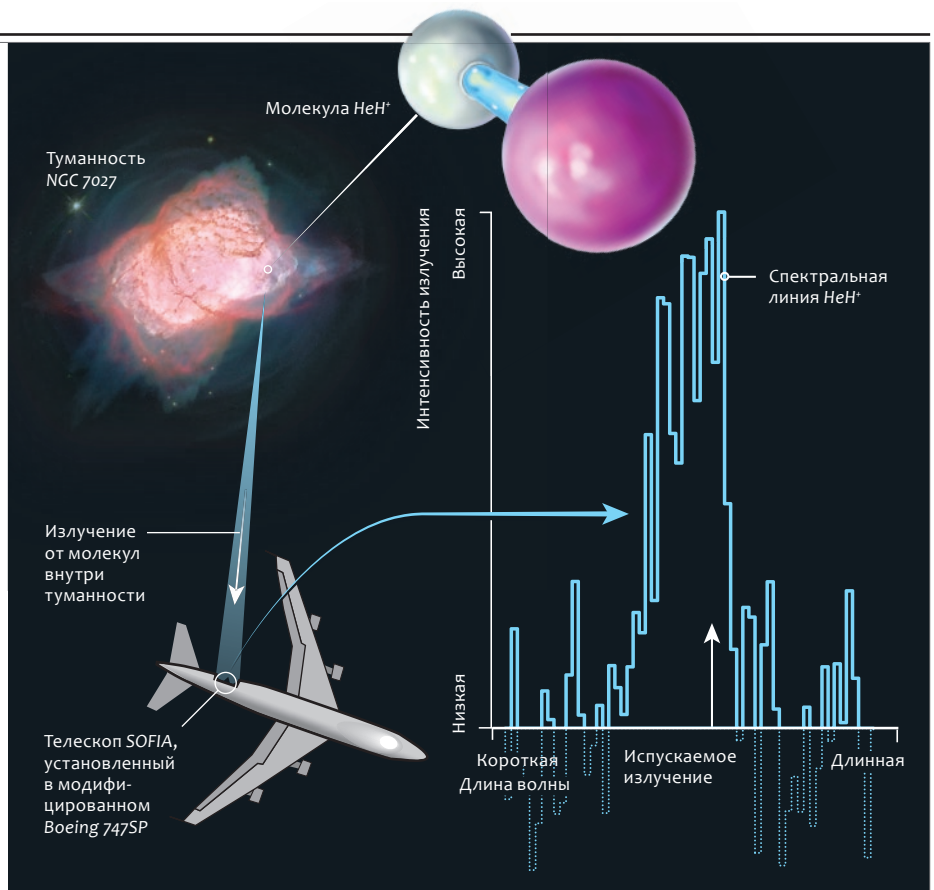
рассматривает наиболее фундаментальные свойства молекул. Это помогает определить, что же такое на самом деле химическая связь, как долго молекулы могут оставаться неизменными и почему определенные химические соединения встречаются чаще, чем другие. Изучая химию в среде, настолько отличающейся от земной, — при температуре, давлении и составе компонентов, совсем не похожих на те, с которыми мы привыкли иметь дело, — мы можем найти молекулы, переворачивающие наши обычные представления о том, как взаимодействуют атомы, и дающие нам более глубокое понимание химии. В итоге мы надеемся выяснить, как химия привела к ингредиентам, из которых образовались планеты Солнечной системы, и создала условия для возникновения жизни.

А где же HeH^+ ?

В 1925 г. в лаборатории Калифорнийского университета в Беркли Т.Р. Хогнесс (T.R. Hogness) (который позднее принимал участие в Манхэттенском проекте) и аспирант Э.Г. Ланн (E.G. Lunn) обнаружили, что при смешивании газообразного гелия и водорода в присутствии электрической дуги внутри вакуумной камеры могут образовываться разнообразными ионы с различными массами. Измерение отношения массы молекул к заряду — основа дисциплины, называемой масс-спектрометрией;

Спектральные сигналы

Астрономы идентифицируют молекулы в космосе, наблюдая их спектральные особенности — излучение с характерной длиной волны, которое они поглощают и испускают. Каждая молекула имеет свой уникальный спектральный портрет, неразрывно связанный с ее химическим составом. Впервые ученые увидели спектральный портрет гелида гелия (HeH^+), когда получили это соединение в земных лабораториях, и высказали предположение, что он образовывался в ранней Вселенной. Долгие поиски его в космосе наконец-то были вознаграждены в 2016 г., когда ученые выследили эту линию в излучении, пришедшем из туманности NGC 7027, с помощью «Стратосферной обсерватории инфракрасной астрономии» (SOFIA), инфракрасный телескоп которой размещен на специально переделанном для этой цели широкофюзеляжном самолете.



HUBBLE, NASA, ESA, PROCESSING BY JUDY SCHMIDT (nebula); SOURCE: "ASTROPHYSICAL DETECTION OF THE HELIUM HYDRIDE ION HeH^+ ," BY ROLF GOSTEN ET AL., IN NATURE, VOL. 565, APRIL 2019 (spectrum); Illustrations by Elena Hurreley (molecules) and Amanda Montanez (astronomy)

уже первые результаты использования этого ставшего обычным в химии метода показали, что в такой смеси образуются переходные молекулы с отношением массы к заряду, равным 5. Это мог быть только HeH^+ . Однако сохранять эту молекулу благородного газа достаточно долго, чтобы успеть ее изучить, оказалось исключительно трудной задачей, даже для лаборатории, руководимой Хогнесом и Ланном.

В ранней Вселенной она, по-видимому, была бы еще более нестабильной, поскольку HeH^+ , вероятно, отдал бы свой протон даже при самом незначительном контакте с другим атомом. При образовании подобной связи гелий отдает два электрона, тогда как водород — ни одного. Такая непрочная связь (называемая донорно-акцепторной связью) слабее традиционной ковалентной связи, в которой оба атома принимают более-менее равное участие.

В 1978 г. Джон Блэк (John H. Black), в то время работавший в Миннесотском университете, первым высказал гипотезу, что HeH^+ , возможно, еще присутствует в космосе. Блэк предположил, что лучше всего искать его в планетарной туманности — раздувшемся сгустке горячего вещества, образовавшемся в предсмертной агонии звезды. В этих облаках тонкий слой ионизированных атомов гелия обычно находят в присутствии нейтральных атомов водорода; сильная потребность гелия в электронах могла бы заставить его одолжить их у водорода, образуя химическую связь. В результате с конца 1970-х гг. астрономы и работающие с ними в связке химики занялись поисками HeH^+ во множестве самых различных мест — от краев Вселенной до сверхмассивных звезд. Однако в течение десятилетий эти поиски ничего не дали, породив у некоторых сомнения в обоснованности роли HeH^+ в запуске химических процессов в молодой Вселенной. Действительно ли гелий образует химическую связь с H^+ ? Вроде должен бы, ведь в то время не было ничего другого, с чем можно было бы ее образовать. Но если это так, то где же HeH^+ ?

Следы молекул

В то время как астрохимики занимались поисками HeH^+ и ничего не находили, было обнаружено множество других молекул, найти которые ученые не ожидали. Некоторых из них они даже не могли идентифицировать.

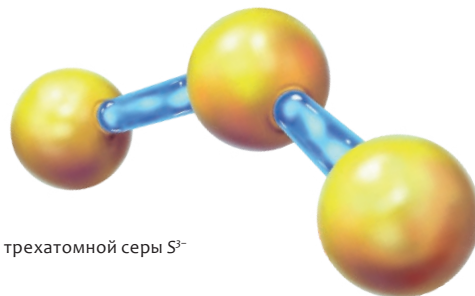
Все началось в 1919 г., когда Мэри Хегер (Mary Lea Heger) работала в Ликской обсерватории на горе Гамильтон в округе Санта-Клара, штат Калифорния, и наблюдала поведение пары обращаящихся друг вокруг друга звезд-близнецов — системы двойной звезды, похожей на солнца Татуина из фильма «Звездные войны». То, что она обнаружила, оказалось удивительным.

Каждая молекула имеет свое собственное расположение атомов и электронов, а значит, поглощает

свет одной ей присущим образом. Эти особенности поглощения дают каждой молекуле ее собственные «отпечатки пальцев», заметные, когда астрономы разлагают падающий свет на его составляющие с разными длинами волн, — метод, называемый «спектроскопия». Поскольку двойные звезды Хегер обращаются вокруг своего центра масс, спектральные характеристики атмосферы каждой из звезд также испытывают сдвиг длин волн (эффект Доплера).

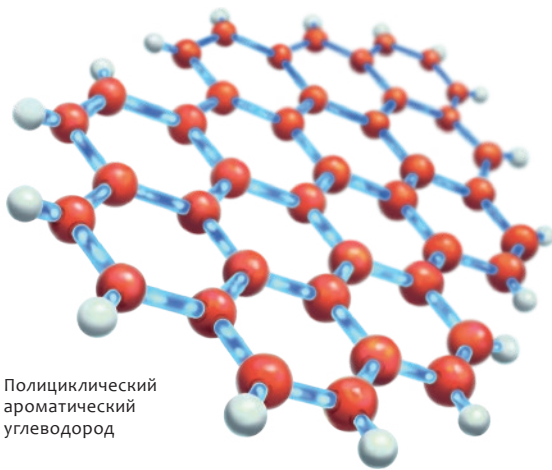
Однако Хегер обнаружила также несколько спектральных «отпечатков пальцев», которые оставались неизменными при круговом движении звезд. Затем она рассмотрела другую систему двойных звезд — и увидела такую же картину. Дальнейшая работа показала, что эти неизменные характеристики проявляются и тогда, когда телескопы нацелены на одиночные звезды. Эти следы, должно быть, исходили от молекул, которые располагаются не вокруг звезд, а в обширных холодных областях между ними. Самое удивительное заключалось в том, что практически такие же следы присутствовали в случае всех наблюдаемых звезд и даже других галактик. Характерные особенности, названные диффузными полосами межзвездного поглощения (ДПП), присутствовали везде. Ученые просмотрели спектральные характеристики земных молекул, а также синтезированных в лабораториях и тех, что наблюдали в космосе с помощью радиотелескопов. Не обнаружилось ничего, что походило бы на ДПП, — они были чем-то новым.

Покойный профессор Гарвардского университета Уильям Клемперер (William Klemperer), один из выдающихся пионеров астрохимии, как-то высказал предположение, что характеристики диффузных полос межзвездного поглощения могут принадлежать трехатомному аниону серы S_3^- . Когда было показано, что это не так, он был настолько удручен, что написал: «Нет лучшего способа потерять научную репутацию, чем высказывать свои соображения по поводу носителя[ей] диффузных полос [межзвездного] поглощения». Гипотезы относительно происхождения ДПП циркулировали на протяжении десятилетий, но ни одна из них не оказалась верной — эта загадка известна как самая застарелая проблема в спектроскопии.



Анион трехатомной серы S_3^-

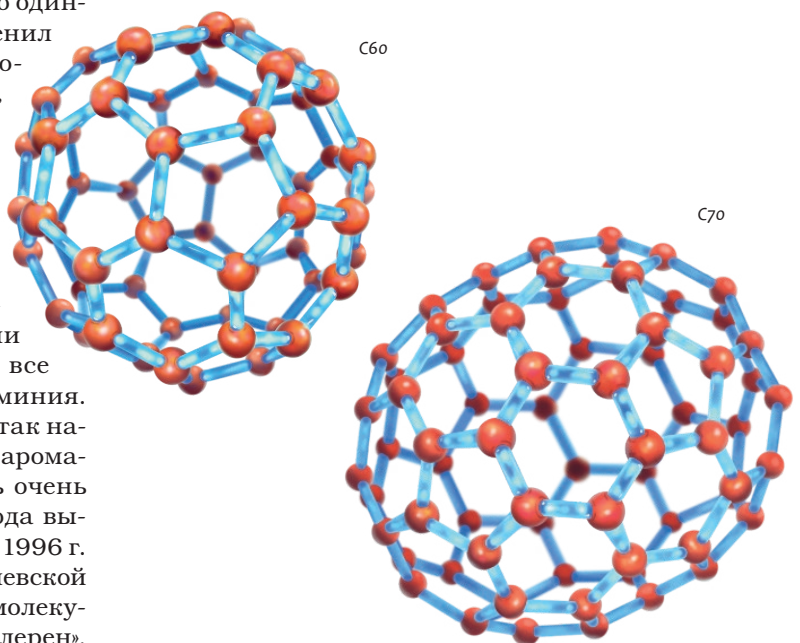
Одна из популярных гипотез предлагала в качестве предполагаемого источника ДПМП полициклические ароматические углеводороды (ПАУ). Эти шестиугольники из атомов углерода (бензолные кольца), уложенные в слои, — основной компонент сажи, асфальта и графита. Они практически не вступают в реакции с другими молекулами, но при этом стремятся к ним прилипнуть. Для астрохимиков проблема с ПАУ состоит в том, что многие их разновидности настолько схожи друг с другом, что их спектральные «отпечатки пальцев», или просто спектры излучения, неразличимы. Это все равно что пытаться разглядеть отдельные мазки на картине «Звездная ночь» Винсента Ван Гога вместо того, чтобы рассматривать все полотно, где многие части объединены в целое. Но ДПМП, по-видимому, ведет себя аналогичным образом. Можно ли было с помощью ПАУ объяснить ДПМП?



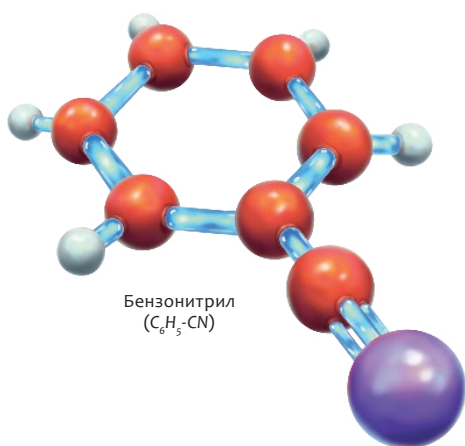
Подобные идеи постоянно появлялись и умирали в астрохимических кругах с 1970-х гг., но единственный эксперимент навсегда изменил наши представления об углероде. Гарри Крото (Harry Kroto), скончавшийся в 2016 г., в 1980-х обосновался в Суссекском университете в Англии и работал в группе, занимавшейся обнаружением в космосе новых молекул. Он прослышал об эксперименте Роберта Керла (Robert F. Curl) и Ричарда Смолли (Richard E. Smalley), обоим работавших тогда химиками в Университете Райса, в котором они подвергали абляции алюминиевую поверхность и обнаружили все виды новых молекулярных кластеров алюминия. Когда они заменили алюминий графитом (так называемыми большими полициклическими ароматическими углеводородами), образовалась очень странная молекула C_{60} — 60 атомов углерода выстроились в форме футбольного мяча. В 1996 г. Крото, Керл и Смолли были отмечены Нобелевской премией по химии за их роль в открытии молекулы, получившей название «бакминстерфуллерен»,

или просто «фуллерен» (также известной как «бакибол»). Крото был убежден, что бакиболы присутствуют в космосе и, скорее всего, служат источником некоторых ДПМП-спектров. Тем не менее мало кто верил ему, а он с коллегами продолжил работу. Однако в 2010 г., спустя четверть века после их первоначального открытия, C_{60} и его собрат C_{70} были замечены в инфракрасном излучении планетарной туманности *Tc1* в созвездии Лебедь. Вопрос о том, действительно ли эти молекулы имеют отношение к диффузным полосам межзвездного поглощения в видимом диапазоне длин волн, по-прежнему не решен. Теоретические изыскания говорят в пользу этого, однако у ученых отсутствуют подтверждающие это экспериментальные данные.

В 2015 г. катионная форма фуллерена, C_{60}^+ , была таки поймана в ловушку в лаборатории и ученые наконец-то смогли измерить его спектр в ближнем инфракрасном диапазоне. Одна, а затем две линии излучения этой молекулы совпали с известными длинами волн ДПМП-спектров. Позднее ученые показали, что эти спектры совпадают с четырьмя или пятью спектрами ДПМП. Затем, в 2019 г., международная исследовательская группа во главе с Мартином Кордиером (Martin A. Cordiner) из Центра космических полетов им. Годдарда NASA использовала Космический телескоп «Хаббл», чтобы исследовать длины волн ДПМП-спектра, наблюдаемые в направлении 11 самых красных (старых, более крупных) звезд и обнаружила, что они соответствуют экспериментальным данным по C_{60}^+ , подтверждая тем самым, что по крайней мере спектральный портрет этой молекулы ответствен за часть диффузных полос межзвездного поглощения.



Это открытие указывает, что как минимум один тип молекул достоверно оставляет свои «отпечатки пальцев» по всему межзвездному пространству. Бакиболы, как предполагают, образовались в результате эволюции полициклических ароматических углеводородов, и их присутствие в космосе подразумевает, что их родительские молекулы также должны там быть. Однако только в 2018 г. ученым удалось наблюдать в космосе спектральные портреты молекулы семейства ПАУ. Соединение, которое они увидели, бензонитрил (C_6H_5-CN), — редкий ароматический углеводород, обнаружить который гораздо проще, чем его родственников. И уже совсем недавно ученые наблюдали двойное кольцо молекул цианофталлина, а это обозначает, что более крупные молекулы ПАУ тоже присутствуют в космическом пространстве.



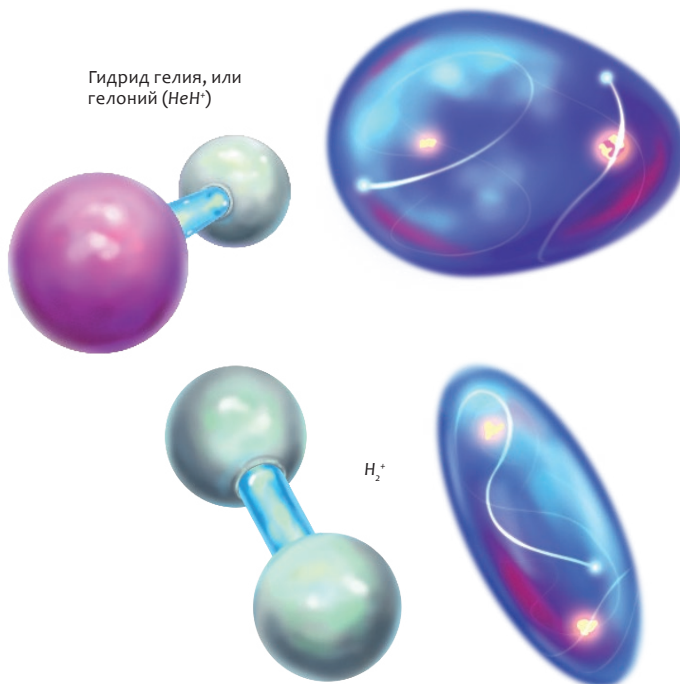
Открытие

Несмотря на эти важные научные достижения, HeH^+ долгое время оставался неуловимым.

Самые первые молекулы, вероятно, очень быстро рассеялись уже после самых ранних эпох. По мере взросления, расширения и охлаждения Вселенной оставшиеся ядра водорода начали собирать собственные электроны. В этой точке теперь уже нейтральные атомы водорода предположительно почувствовали положительный заряд молекул HeH^+ . Когда атомы и молекулы сталкивались, относительно слабая донорно-акцепторная связь рушилась и рождалась намного более сильная ковалентная связь между двумя атомами водорода, в результате чего образовывался H_2^+ . После этого атомы гелия в основном были предоставлены самим себе.

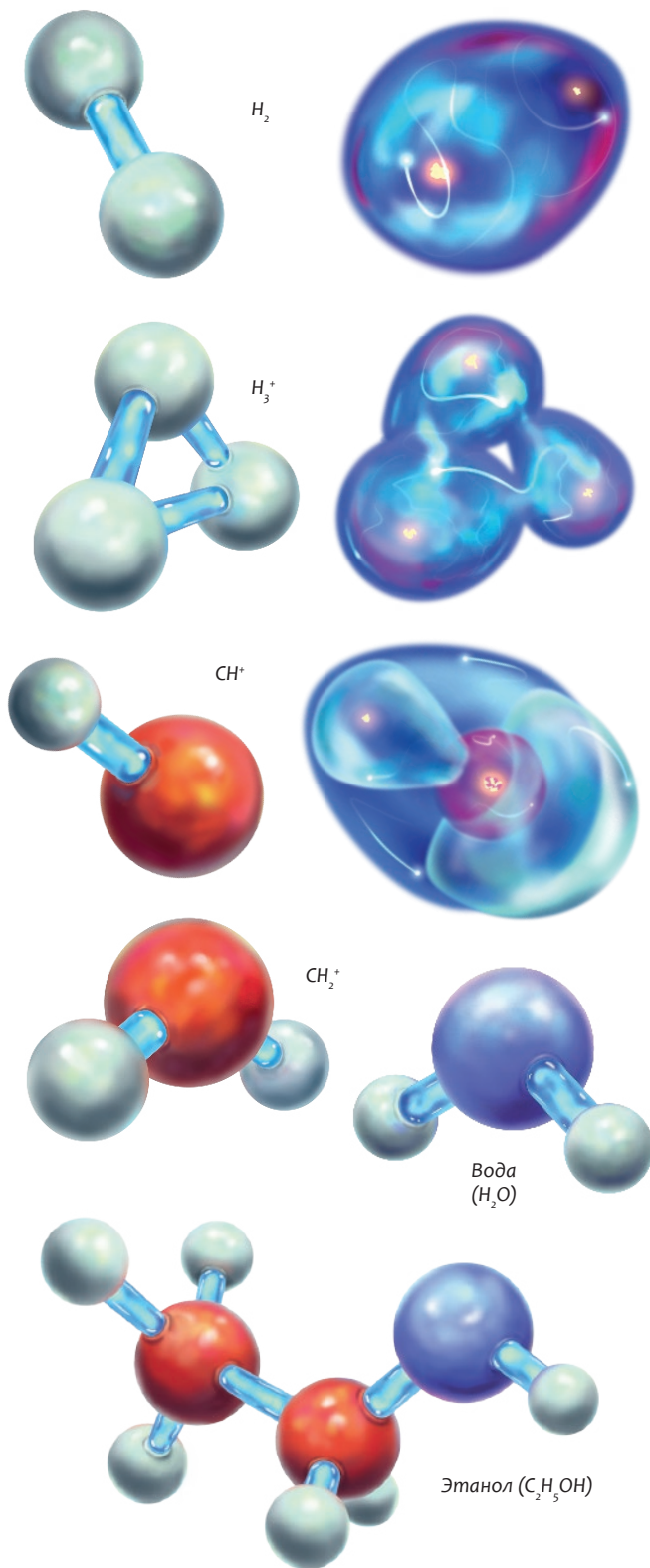
Может показаться, что кратковременное существование HeH^+ не оказало никакого влияния, однако это далеко не так. Моделирование возможных химических реакций в этот период показывает, что без образования HeH^+ образование H_2^+ , а затем и нейтрального H_2 шло бы гораздо медленнее. А уже когда образовался H_2 , все дерево химии быстро пошло в рост. Следующим возник ион H_3^+ , который породил CH^+ , который в свою очередь

породил CH_2^+ и каскад других молекул. В конечном итоге эта цепь привела к воде, этанолу и более сложным соединениям. Все перечисленные процессы — продукт несбалансированной связи в HeH^+ . Без этого исходного родственника Вселенная выглядела бы совершенно иначе.



Тем не менее к 2013 г. астрохимики начали испытывать разочарование, ибо HeH^+ нигде не был найден. Но в тот самый год появились проблески надежды, когда ученые обнаружили родственную молекулу благородного газа ArH^+ в остатках сверхновой в Крабовидной туманности. Ученые сосредоточили свои поиски HeH^+ на аналогичных областях со сверхвысокой энергией. Однако более серьезная проблема заключалась в том, что спектры излучения HeH^+ попадают в ту же область, что и спектральный портрет самой первой молекулы из когда-либо наблюдавшихся в космическом пространстве — радикала CH . Ни один из телескопов не обладал возможностью разделить их спектральные характеристики.

И тут появилась «Стратосферная обсерватория для инфракрасной астрономии» (SOFIA) — переоборудованный широкофюзеляжный Boeing 747SP с отверстием, прорезанным сбоку в его корпусе так, что инфракрасный телескоп мог проводить измерения [в полете на большой высоте]. В мае 2016 г. международная научная группа использовала SOFIA в рамках совместного проекта NASA и Немецкого астрономического центра для наблюдений в течение трех ночей. Оптика ИК-телескопа SOFIA имела разрешение, необходимое для распознавания уникальной характеристики спектра на частоте 2010,184 ГГц.



Там, среди горы данных наблюдений в дальней инфракрасной области еще одной груды пепла, оставшегося от взорвавшейся звезды в планетарной туманности NGC 7027, входящей в созвездие Лебедь, нашелся так долго ускользавший

спектральный портрет. Это адское место с его высокими температурой и энергией не очень сильно отличалось от ранней Вселенной. 17 апреля 2019 г. научная группа, возглавляемая Рольфом Гюстеном (Rolf Güsten) из Радиоастрономического института Общества Макса Планка в Бонне, опубликовала в журнале *Nature* отчет, возвещавший об открытии HeH^+ .

Безусловно, это были не первичные ионы HeH^+ . Мы полагаем, что молекулы, которые наблюдали Гюстен и его коллеги, образовались в гораздо более близкие к нам времена. Тем не менее данная находка помогает сузить наши представления об этом соединении. Ученые теперь могут выстроить более точные модели Вселенной того периода, когда молекула HeH^+ была единственной. Не исключено, что это открытие даст нам ключи к тому, где еще в космосе может прятаться сегодня это вещество, направив нас к другим планетарным туманностям или даже другим областям космоса, которые находятся настолько далеко, что соответствуют более ранним эпохам, самому началу Вселенной.

Более трудные вопросы

Мы переживаем захватывающий период в астрохимии. В течение короткого времени были получены убедительные ответы на три важнейших вопроса. Ученые обнаружили самую первую образовавшуюся в космосе молекулу и выделили первые спектральные портреты, принадлежащие таинственным ДПМП, и они наконец проливают из темноты космоса свет на ПАУ.

Кроме того, лабораторное моделирование условий межзвездной среды показывает, как могли бы образоваться аминокислоты и азотистые основания. Космические телескопы, такие как *SOFIA* и «Хаббл», а также Космический телескоп им. Джеймса Уэбба, запуск которого запланирован на недалекое будущее, обещают предоставить нам спектральные характеристики звездных объектов беспрецедентного разрешения, на которых мы, возможно, увидим спектральные портреты менее распространенных молекул.

Теперь, когда мы находим решения этих известных проблем, на поверхность всплывают другие загадки. В конце концов астрохимии надеются получить ответы на более трудные вопросы. Каковы остальные ДПМП? Каковы молекулярные истоки жизни? Смеси каких химических веществ необходимы для формирования каменных планет, а не газовых гигантов? Именно в результате обмена электронами образовалось наблюдаемое в космосе вещество. Еще глубже осмыслив эти химические процессы, мы сможем достичь более четкого понимания астрофизики и истории нашей Вселенной в целом. ■

Перевод: А.П. Кузнецов



КРИПТОНИТ

Наука Технологии Инновации

Криптонит — центр компетенций в области прикладных исследований и опытных разработок.

Наши приоритетные области и компетенции:

- Квантовые вычисления и криптография
- Машинное обучение, нейросети и большие данные
- Сетевая и информационная безопасность
- Новые телекоммуникационные стандарты и их безопасность.

Мы помогаем российским технологиям развиваться и занимать достойное место на рынке ИТ.


kryptonite.ru

6+

ХИМИЯ

Не ом единьим

Сложно предположить, что кипящие в пробирках жидкости — это прообразы материалов будущего, которые дадут нам принципиально новые возможности во всех областях жизни, включая медицину. На основе этих хитрых соединений в нашей стране прямо сейчас возрождается силиконовая промышленность, без которой, оказывается, у нас нет будущего.



Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова (ИНЭОС РАН) когда-то был лидером в этой области. А сейчас ему предстоит вернуть нашей стране позиции одной из мировых силиконовых держав. Задача не из легких, но вполне выполнимая, уверен академик **Азиз Мансурович Музафаров**, заведующий лабораторией кремнийорганических соединений ИНЭОС.



Академик А.М. Музафаров

— Азиз Мансурович, ваша лаборатория носит имя академика К.А. Андрианова. Почему?

— Академик К.А. Андрианов — отец химии силиконов и основатель этого направления в Советском Союзе. Поэтому на нас лежит ответственность за продолжение этого дела. Советский Союз входил в четверку высокоразвитых стран, у которых был полный цикл производства силиконов. Но потом мы это все благополучно утратили. Теперь наша глобальная задача — выйти на технологии следующего поколения. Мы сегодня фактически создаем научную основу этих технологий, которые базируются на нашем предыдущем опыте. Это наше кредо. Предыдущие поколения основывались на использовании хлора, и поэтому наши мономеры называются хлорсиланами. Там один из компонентов — хлор, от которого потом приходится избавляться. А это задача не из простых. В следующем поколении технологий основой будут силиконы без примесей хлора.

— Для чего нам нужны силиконы?

— Силиконы — это соль земли. Если мы с вами посмотрим вокруг, то увидим, что на мне, на вас, на ваших коллегах — всюду обязательно есть силиконы.

Шампунь, зубная паста, наша одежда — во всем этом на определенных стадиях производства присутствуют силиконы. Они дают необходимые компоненты для

космических, авиационных технологий. Надо сказать, первое применение силиконов произошло еще перед Второй мировой войной, но боевое крещение они получили в ее ходе. Андриановскими силиконами пропитывали картонные авиационные баки, которые крепились на подвеске к крыльям бомбардировщиков, и это заметно увеличивало дальность полета. Это весьма утилитарный процесс: баки можно было потом сбросить — не жалко, ведь они дешевые. Это одно из сохранившихся до сего времени применений силиконов как гидрофобизаторов — веществ для обработки тканей, бумаги, строительных материалов и т.д., которые придают им водоотталкивающие свойства. Они используются в том числе в экстремальных условиях, где нормальные полимеры не работают: это низкие и очень высокие температуры. Есть у них и ряд других преимуществ — например, их можно в ноль переработать в исходные мономеры, или компоненты. Это свойство — залог их дальнейшего развития и распространения.

— Насколько дешево и безвредно их производство?

— Это как раз наша первоочередная задача — сделать их дешевле, а само производство — безвредным. А еще у нас есть задачи, так сказать, для души. Мы занимаемся совершенно новой формой полимерных систем, которая называется дендримерами. Если обычные полимерные молекулы

схематически можно изобразить условным шнуром, или гибкими цепочками, то дендримеры — это шары, сферические фигуры. Невероятно красивые. Я сегодня шел на работу, и весь мой путь был устлан схематическими изображениями дендримеров — так вымерзает влага на сухом асфальте, когда снега еще нет. Нынешняя зима для нас настоящая находка в плане образования дендримеров. Они у нас буквально под ногами валяются.

— **А мы-то огорчаемся, что снега нет...**

— А для меня это буквальная схема наших макромолекул. Правда, в реальности они объемные, а рисуем мы их планарными. Мы занимаемся синтезом таких фрактальных систем, развивающихся самоподобно, то есть любой участок похож на всю молекулу в целом. Это направление существует во всем мире, но мы здесь среди пионеров. Мы открыли новые свойства этой материи. Ведь мало синтезировать что-то новое — надо понять взаимосвязи. Да, очень красивая форма. Говорят, красивая вещь не может быть бесполезной.

— **Писатель и ученый И.А. Ефремов называл красоту наивысшей целесообразностью.**

— Наши авиационные конструкторы часто говорят, что красивая машина не может плохо летать. Поэтому понять, разгадать, для чего такие формы могут быть использованы, в чем заключаются их уникальные свойства, — тоже наша задача. Так вот, выяснилось, что эти молекулы не только привлекательно выглядят, но и действительно уникальны в том смысле, что обладают абсолютно необычным набором свойств. Мы разгадали эту загадку и сейчас близки к тому, чтобы создать на их основе материалы, которых раньше никогда не было. Мы говорим, что дендримеры — это новый вид полимерной материи. Это наш путь в завтра, именно на этом пути рождаются новые реакции, новые реагенты, новые материи.

А вот вывести нашу промышленность на новый уровень, не используя хлор, вновь стать силиконовой державой — это наше сегодня. И эти две линии кружатся и переплетаются в наших колбах и реакторах, взаимообогащая друг друга новыми подходами и идеями.

— **Звучит поэтично. Вы все время говорите о том, что нам надо отказаться от хлора. Чем он так плох?**

— Хлор очень плох в различных вариантах отходов, особенно при их переработке. Да и сами по себе хлорсиланы вредны.

Например, некоторые из них — отравляющие вещества, подобные тем, которые использовались на фронтах Первой мировой войны. Людей травил хлором, фосгеном...

— **При этом мы плаваем в хлорированных бассейнах. Это мы травимся?**

— Вредность любого яда зависит от концентрации. Используя его в минимальных количествах, мы травим микроорганизмы, но на нас он действует существенно меньше. Однако в целом ничего полезного в хлорировании нет. Понятно, что любое массовое скопление людей в общественных местах предполагает дезинфекцию. Но если есть возможность использовать чистую воду без ее обработки, то это намного лучше. Вот только мест таких все меньше и меньше. Кроме того, у многих людей аллергия на хлор и они не могут купаться в таком бассейне. Хлор нельзя клеймить, он очень удобный и полезный элемент, но в меру. Чем

Мы придумали девиз: больше силиконов — чище планета. Ведь силиконы перерабатываются полностью, не оставляют никаких отходов, безвредны, поэтому их и используют в качестве имплантов. Сферы их применения огромны

больше его в наших технологиях, тем хуже. Большая беда — это наш линолеум. Это органический хлор — поливинилхлорид, который не горит. Когда он попадает на свалки, где потом сжигают мусор, образуются диоксины — опасные яды, которые очень плохо контролируются и могут в самый неожиданный момент «выстрелить» в наше будущее. Бесхлорные технологии важны с точки зрения массового производства. Сейчас мы работаем над третьим поколением наших новых силиконовых технологий, но уже просматривается и четвертое.

— **Кто сейчас лидирует в этом направлении?**

— Сейчас Китай — лидер на мировом рынке. 75% силиконов производится в Поднебесной. При этом 20 лет назад в Китае не было ни одного производства, а сегодня

мы видим, как на пустом месте при большом желании и государственной поддержке можно создать целую индустрию второго поколения силиконов, основанных на так называемом хлорном переделе. В Советском Союзе было четыре завода по производству силиконов. Сегодня нет ни одного.

— Насколько сложно их возродить?

— Это вполне посильная задача, если создать технологии третьего поколения. Вот мы и переходим на алкоксисиланы, исключаем хлор, тогда производство силиконов становится массовым. Есть много областей, из которых они вытеснят более вредные вещества. Здесь стоят глобальные задачи. Мы даже придумали девиз: больше силиконов — чище планета. Силиконы перерабатываются полностью. Они не оставляют никаких отходов. Они безвредны, поэтому их и используют в качестве имплантов. Сферы их применения огромны. Вот, например, плитка на тротуарах — она должна быть обязательно прогидрофобизирована силиконами, иначе она будет растрескиваться в циклах «мороз — оттепель».

— Вот почему в Москве плитка трескается — сэкономили на силиконах!

— Это правда. Потому что нет своего производства силиконов, они все импортные, а значит дорогие. А ведь в период расцвета нашего силиконовой промышленности, в 1991 г., Советский Союз произвел 100 тыс. т. А сейчас те же 100 тыс. т мы импортируем. Без силиконов мы обходиться не можем, поэтому теперь мы их ввозим. К нашему счастью, научный комплекс, который был в советские годы, сохранился.



Аспирантка ИНЭОС РАН Элеонора Ким

Интерфейс использования алкоксисиланов

В производстве силиконов у нас разработан, то есть практически любой продукт, который раньше получался из хлорсиланов, мы теперь можем получить без хлора. Это наша глобальная задача, и мы сейчас пытаемся выйти с такими идеями на международный уровень

В стране было несколько кремнийорганических школ. Самые сильные — в Санкт-Петербурге, тогда еще Ленинграде, в Нижнем Новгороде, Иркутске. Но наша лаборатория всегда была головной. Мы и сейчас проводим Андриановскую конференцию, на которую каждый раз съезжаются ведущие специалисты по этой части. Поэтому у нас остаются надежды на то, что, не потеряв нашу научную составляющую, кадры, мы еще успеем поучаствовать в мировой силиконовой гонке и, может быть, даже ее возглавить. А если этого не произойдет, мы останемся на обочине прогресса. Так что ставки сделаны.

— Как выглядит ваша работа? Что конкретно здесь, в лаборатории, вы делаете?

— Звучит немного пафосно, но мы тут делаем материалы будущего. То, что вы здесь видите, должно стать основой нашей жизни — производства, медицины, всего, что связано с насущными потребностями человека. Алкоксисиланы никто на блюде не приносит, и мы занялись технологией их получения. У нас есть установки, на которых мы из кремния и спирта делаем алкоксисиланы. Это первая наша ласточка, когда мы с помощью принципиально новых подходов, минуя хлор, получаем новые вещества, с которыми можно работать и на которые можно ставить значительную часть процесса получения новых материалов. В нашей лаборатории работы ведутся широким фронтом. Вот, например, под этой тягой идет круглосуточная работа. Стоят камеры для ночного наблюдения, потому что

каталитические реакции, которые здесь проводятся, позволяют модифицировать кремнийорганические мономеры и их нельзя останавливать. Зачастую остановка для катализатора означает потерю активности.

— **Помимо того что надо избавиться от хлора, нужно создавать новый силиконовый рынок. Это ведь тоже непростая задача?**

— Непростая. Создавать новые вещества с новыми свойствами — полдела, найти для них новые области применения значительно труднее. Вот, допустим, сейчас мы привыкли к тому, что в химчистке нашу одежду чистят хлорсодержащими растворителями, очень удобными, технологически отработанными. Но они вредные — это яды для печени. Люди, которые работают на фабрике химчистки, так или иначе дышат этим ядом. А силиконовые жидкости не менее эффективны, но безвредны. Соответственно, это пример выхода на новые безопасные технологии, новые рынки.

Или, допустим, силиконовые шины. Процесс утилизации нынешних шин очень энергозатратен и страшно токсичен, чего только в них нет. А силиконовые полимеры мы можем перерабатывать в исходные мономеры, и такие шины по полному циклу «производство — эксплуатация — утилизация» отличаются от существующих как небо от земли. Вот вам и бескрайний рынок. Весь интерфейс использования алкоксисиланов в производстве силиконов у нас разработан, то есть практически любой продукт, который раньше получался из хлорсиланов, мы теперь можем получить без хлора. Осталось создать новый рынок силиконов, и шины здесь очень подойдут. Это наша глобальная задача, и мы сейчас пытаемся выйти с такими идеями на международный уровень. Ведь чистая среда и удобная планета нужны всем. Здесь нет ничего невозможного.

Практически у каждого полимерного материала огромный потенциал в координатах «структура — свойства». То есть вы управляете структурой и таким образом регулируете свойства



Инженер-исследователь Павел Жемчугов полон оптимизма

Мы и молодежи объясняем, что не должно быть тормозов, которые мешали бы осуществлять свои задумки. В качестве примера я всегда привожу на лекциях следующий: когда появился полиэтилен, это был порошок, который образовывался на дне реактора, и с ним не знали, что делать. Потом из него научились делать пакеты, а сейчас из него делают бронежилеты. Это все тот же самый полиэтилен, у него та же химическая формула. И только понимание того, как устроены его цепи, как можно сделать их намного длиннее, как их уложить, приводит к тому, что у нас в десятки и тысячи раз увеличилась прочность. Вспоминаю полиэтиленовый пакет, который появился в моей молодости: в него нельзя было положить две бутылки молока — сразу рвался. А сейчас мы в полиэтиленовых сумках носим весь «Ашан». В принципе, практически у каждого полимерного материала огромный потенциал в координатах «структура — свойства». То есть вы управляете структурой и таким образом регулируете свойства. Вот в этих координатах мы и стараемся работать. Это высший уровень управления свойствами материала.

— **Что еще важно, связанного с силиконом, может появиться в ближайшее время?**

— Огромную роль будут играть медицинские применения силиконов. Скажем, сейчас в аптеке продается энтеросорбент «Энтеросгель», очень популярный и эффективный. Это чистый силикон, на основе которого возможно создать целый пласт



Будущее силиконов в надежных руках: молодежный состав лаборатории им. К.А. Андрианова с обложками журналов, в которых опубликованы их научные достижения

материалов, необходимых в фармакологии. Всем известен «Эспумизан». Это тоже силикон из разряда пеногасителей. Мы не делаем лекарства, но мы делаем новые вещества, которые обладают более продвинутыми свойствами по сравнению с существующим. Есть и немедицинские применения. Например, на основе силикона мы сейчас делаем вещество для обработки свалок. Это очень мощный сорбент, который отличается от силикагеля или активированного угля тем, что он амфифильный, то есть проявляет фильность и к воде, и к органике. Это не ликвидирует свалки как таковые, но позволяет их консервировать и постепенно перерабатывать, не вызывая неудобства для окружающих. Так что у силиконов хорошие и практически бескрайние перспективы.

— Нынешние производители не пытаются вам мешать?

— Некоторая косность, конечно, имеется. Но уже сейчас общество всерьез обеспокоилось экологическими проблемами. Некоторые производители озабочены тем, что вещества, получаемые в результате деятельности их производств, слишком инертные, то есть они будут накапливаться в атмосфере, соответственно, в воде. До поры до времени это безвредно, но раз их никто не ест и природа их не уничтожает, экологический баланс будет обязательно нарушен. С силиконами ничего подобного не произойдет. Мало того, мы думаем, что поверхности морей и океанов, где существуют солевые растворы, можно рассматривать и как реакторы по переработке силиконов. Ведь еще одно их уникальное свойство — то, что они поверхностно активны, то есть всегда концентрируются в поверхностном слое. И вот здесь-то на них воздействуют и солнечный ультрафиолет, и вода, и соль, так что они быстро распадаются на составные части

и в идеале возвращаются в свое исходное вещество — песок, из которого мы их изначально и получаем.

— Это возможно?

— Да, в принципе, это возможно. Теперь мы говорим, что из песка будем делать алкоксисиланы, из алкоксисиланов силиконы, потом силиконы будут превращаться в песок. Вот идеальный цикл, круговорот веществ в природе. Кремний — самое распространенное вещество в земной коре. Поэтому мы можем решить с его помощью множество проблем, не навредив ни себе, ни природе. Помню, во времена моей молодости случился нефтяной кризис и мы с беспокойством говорили о том, что дорожает нефть, обсуждали, как это скажется на рынках полимеров. А К.А. Андрианов вошел вот в эту лабораторию и говорит: «Вас-то почему это волнует? Песка на планете хватит на всех. Песок — вот наше сырье!»

— Значит, будет у нас своя силиконовая промышленность?

— Я абсолютно уверен, что будет. Если мы создадим хороший силиконовый рынок, можно будет говорить о том, чтобы у нас производители строили заводы. Тогда наши бизнесмены заинтересуются. Бизнесменов не интересует химия, их интересуют деньги. Поэтому, когда они увидят, что могут на этом заработать, все получится.

— В Китае силиконовую промышленность поддержало государство. У нас на государство можно не рассчитывать?

— В последнюю очередь. Есть такая поговорка: хочешь помочь — не мешай. Вообще, я с большим оптимизмом смотрю в силиконовые перспективы нашей страны, потому что вырастил целую плеяду молодых талантливых ребят. Они не подведут. ■

Беседовала Наталья Лескова



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

НАУКО — ЕМКОЕ



МОЛОКО



Каковы возможности и достижения одного из старейших отраслевых институтов — ВНИИ молочной промышленности? В каком состоянии находится отрасль сегодня? Зачем вообще нужна «молочная» наука и чем она занимается? На эти и многие другие вопросы отвечает наш собеседник — академик Арам Генрихович Галстян, специалист в области процессов и технологий производства и переработки пищевых продуктов, разработки методов анализа их качества, доктор технических наук, исполняющий обязанности директора Всероссийского научно-исследовательского института молочной промышленности.

— Арам Генрихович, вашему институту недавно исполнилось 90 лет. Давайте вспомним, в связи с чем он был создан и как все начиналось.

— С удовольствием: ведь, как говорят, кто не помнит своего прошлого, у того нет будущего. В декабре 1929 г. приказом Народного комиссариата внутренней и внешней торговли СССР в Москве был создан Научно-исследовательский институт молочной промышленности и торговли. В 1933 г. институт был переименован во Всесоюзный научно-исследовательский институт молочной промышленности. С этого времени название института остается неизменным. У истоков создания института и его последующего формирования стояли ученые с мировым именем: профессора А.А. Калантар, Г.С. Инихов, Г.А. Кук, Р.Б. Давидов, Н.Н. Липатов, И.А. Радаева и др. Они создали базовые основы технологий молочных продуктов и участвовали в их реализации на предприятиях. В результате страна в короткий срок получила индустриально развитую молочную промышленность, которая фактически без перебоев функционировала вплоть до 1990-х гг. Сегодня, конечно, картина кардинально изменилась вместе со страной и мировыми тенденциями. Появились новые технологии глубокой переработки сырья, ресурсосберегающие процессы, современные автоматизированные и роботизированные производства и многое другое. При этом институт продолжает считаться головной отраслевой научной организацией, гармонично сочетающей фундаментальные и прикладные исследования в области производства и переработки молочных продуктов.

— Можно ли сказать, что молочную промышленность удалось сохранить, несмотря на развал страны и все последующие катаклизмы?

— Однозначно да. Молочная промышленность не только сохранилась, но и стабильно развивается. Сегодня у нас много

современных производств, постоянно реализуются новые проекты. Конечно, в динамичном мире периодически возникает необходимость в передовых решениях и технологиях, требующих междисциплинарных знаний, но у нас получается своевременно реагировать на вызовы. Отмечу, что сегодня абсолютное большинство предприятий — это коммерческие структуры. Среди них есть много передовых заводов, которые оснащены современными технологиями с соответствующим оборудованием. Они производят традиционные и функциональные продукты, вырабатывают сложные высокотехнологичные ингредиенты, в том числе для дальнейшего их применения в фармацевтике. Основная проблема отрасли в настоящее время — нехватка качественного сырья — молока и сложная экономическая обстановка.

— Работают ли у вас сотрудники-старожилы, хранители преемственности и традиций?

— Да, у нас работает И.А. Радаева, доктор наук, профессор, замечательный специалист и прекрасный человек. В этом году ей исполнится 95 лет, и мы готовимся отметить юбилей нашего дорогого учителя. Это человек, который стоял у истоков создания отечественной молочной-консервной промышленности, выпестовал много учеников, в частности двух академиков — меня и А.Н. Петрова, директора Института технологии консервирования, который в свою очередь многие годы возглавлял лабораторию технологии молочных консервов.

— То есть сине-белые баночки со сгущенным молоком, которые мы все знаем и любим, — это заслуга Искры Александровны?

— В этом ее большая заслуга. Она участвовала во всех процессах — от разработки технологий и методов контроля качества продукции до становления заводов и обучения специалистов. И сегодня Искра Александровна, как говорится, в теме.



А.А. Калантар (1859–1937), исследователь в области животноводства и молочного дела, основатель Вологодского молочного института, профессор, заслуженный деятель науки и техники РСФСР



Р.Б. Давидов (1909–1975), советский ученый в области молочного дела, инициатор открытия проблемных лабораторий по молочному хозяйству

— **Арам Генрихович, для чего вообще нужна наука в молочной промышленности?**

— Это непростой, глобальный вопрос. Как я уже сказал, в XVIII–XIX вв. объективно возникла необходимость в создании промышленных технологий, что априори невозможно без научных изысканий. В тот период человечество училось промышленно производить и сохранять пищевые продукты с нуля. Фактически основы всех современных технологических и процессовых решений были обоснованы теоретически и экспериментально, что позволило получить в том числе целую гамму молочных продуктов с множеством полезных свойств.

В настоящее время один из стратегических элементов государственной безопасности России, как, впрочем, любой страны, — продовольственная независимость. Проблема приобретает критические масштабы в связи с увеличением численности населения планеты, неизбежно влияющим на рост потребления продуктов; с процессами глобализации, способствующими принципиальным изменениям в структуре и моделях питания; с действующими принципами производства и переработки сельскохозяйственного сырья; с кардинальными изменениями в логистике и сопутствующим повышением сроков годности продукции. Актуализируются задачи групповой и индивидуальной идентификации продуктов, в том числе по биологическому и географическому признакам; унификации оценочных критериев и объективных принципов расширения их области; трансформации традиционных технологий, потенциал которых не обладает возможностью их бесконечного тиражирования.

Предполагается, что рост объемов производства, оптимизация процессов и системы потребления будут достигнуты благодаря внедрению в практику ряда принципов: «прижизненного» формирования

В настоящее время один из стратегических элементов государственной безопасности России, как, впрочем, любой страны, — продовольственная независимость. Проблема приобретает критические масштабы в связи с увеличением численности населения планеты, неизбежно влияющим на рост потребления продуктов

состава и свойств сырья; разработки высокоэффективных технологий производства и глубокой переработки сельскохозяйственной продукции; создания алгоритмов структурирования логистики, хранения и переработки пищевых продуктов и отходов; повышения энергоэффективности процессов и др. При этом стратегические векторы развития технологий — специализированное и персонифицированное питание, трансграничное сотрудничество, качество и безопасность пищевых продуктов и многое другое.

Для достижения всего этого потребуются широкое внедрение современных технологий, в том числе цифровых, а также развитие традиционных и создание новых методологических и процессовых решений. Это



Н.Н. Лупатов (1923–1994), советский и российский ученый в области технологии, оборудования для переработки молока и расширения ассортимента молочных продуктов, академик ВАСХНИЛ (1988)



И.А. Радаева (р. 1925), главный научный сотрудник лаборатории геродиетических и специальных продуктов, доктор технических наук, профессор

возможно только при наличии соответствующей научной базы. Для того чтобы все современные теоретические представления трансформировались в реальность и наша страна внесла существенный вклад в развитие этих технологий, нужны институты, вокруг которых собираются люди с определенной квалификацией и пытливым умом, с горящими глазами, имеющие и желающие проводить эти исследования. Именно такие у нас и собраны.

— Арам Генрихович, мы, когда готовились к записи, помешали ходу эксперимента, который проходил в этой лаборатории. Надеюсь, помешали не сильно. Какого рода эксперименты здесь проводятся?

— Ни в коей мере не помешали, только несколько усложнили задачу для молодых коллег. Если говорить конкретно об этом эксперименте, то речь идет о влиянии генотипа каппа-казеина молока на его технологические свойства. Решение этого вопроса способно существенно изменить традиционные взгляды на переработку. Параллельно в той же лаборатории идут исследования по определению вируса бычьего лейкоза в молочных продуктах. Эта проблема очень актуальна для России. Со стороны науки проблема курируется непосредственно вице-президентом РАН академиком И.М. Донник, которая по праву считается одним из лучших специалистов по бычьему лейкозу.

— Речь идет о том, что вирус онкологического заболевания крови может передаваться через молочные продукты людям?

— На сегодня достоверных данных о передаче вируса бычьего лейкоза людям нет. Но, во-первых, вирусы, как известно, имеют способность к мутации, во-вторых, молоко от зараженных животных запрещено к переработке и, следовательно, необходимы методы его контроля. В нашем институте сейчас также проводятся работы, направленные на определение наличия вируса или остатков генетического материала в молочных продуктах, влияния технологических процессов на целостность вируса и оценки потенциальных рисков опасности его наличия в продукции.

— Какие актуальные эксперименты вы здесь еще проводите?

— Основные векторы фундаментальных и прикладных работ нацелены на создание национальной системы управления качеством и безопасностью молочной продукции с включением распределенно-сетевых и роботизированных технологий. Мы широко применяем ДНК-технологии в рамках маркировки, контроля и генной идентификации продукции, генотипирование национальных заквасочных культур, развиваем анализ процессов инициаций и накопления потенциально опасных соединений, совершенствуем методологическую базу исследований качества продукции, а также разрабатываем современные высокоэкологичные инновационные технологии.

Отдельно хочу остановиться на создании национального центра мониторинга качества молочных продуктов. На базе института планируется создать уникальный центр для исследований молочной продукции на всей территории России, анализа и распределения полученной информации. Работа центра будет направлена на уменьшение вероятности того, что население использует некачественную продукцию. Национальный центр мониторинга, по сути, — это эволюционная ступень испытательных лабораторий с интегрированными цифровыми технологиями, наукоемкими методами и алгоритмами. Результаты работы планируется инкорпорировать в традиционные схемы работы государственных контролирующих органов, позволяя проводить их работу более системно. Предполагается создание информационной платформы для потребителей продукции.

Ведутся также работы по созданию технологий функциональных продуктов. Это детское питание, питание для спортсменов,

Сегодня в нашем активе целая линейка технологий — это и сухие, и жидкие, и пастообразные продукты, необходимые пожилым людям, чтобы правильно сбалансировать их питание для повышения продолжительности и улучшения качества их жизни



Академик
А.Г. Галстян

геродиетическое питание. Мы одни из первых создали технологии геродиетических продуктов на молочной основе. Сегодня в нашем активе целая линейка технологий — это и сухие, и жидкие, и пастообразные продукты, необходимые пожилым людям, чтобы правильно сбалансировать их питание, что, в свою очередь, должно способствовать повышению продолжительности и улучшению качества их жизни. Это междисциплинарные исследования, в которых принимают участие технологи-пищевики и представители медицинских организаций. В результате мы получаем наукоемкий продукт.

— Правильно ли я понимаю, что в обозримом будущем каждый человек сможет пойти в магазин или в аптеку и приобрести товары для своего возраста, как сейчас можно купить детское питание?

— Именно так и будет. Возможно, мы даже застанем время, когда все необходимое будет синтезироваться в домашнем 3D-комбайне.

— Знаю, вы разрабатываете технологии низколактозных молочных продуктов. Это связано с тем, что есть люди, которые не переносят лактозу?

— Именно так. Это, конечно, не означает, что надо массово переходить на низколактозные или безлактозные продукты. Эта продукция предназначена именно для людей с непереносимостью лактозы.

Массовое ее применение не имеет под собой какой-либо основы. Более того, в дальней перспективе возникают риски существенных изменений в процессах метаболизма.

— А что собой представляет «не молоко», которое сейчас появляется в магазинах?

— Эта продукция не имеет никакого отношения к молоку, поэтому мне вообще не нравится ее сравнение с нашим национальным продуктом. Фактически это экстракты или бобовых, или зерновых культур, или иного растительного сырья. При этом очень важно, чтобы у потребителя был выбор. Более того, мы тоже разрабатываем технологии аналогичных продуктов, но с соответствующим, разрешенным в молочной промышленности, терминологическим наименованием. Их отличительная особенность — научная обоснованность в части эффективности технологий и качества, в том числе безопасности.

— Какому молоку отдавать предпочтение, когда мы приходим в магазин? Тому, которое быстро испортится, или «долгоиграющему»? С какой жирностью? Какого производителя?

— Давайте исходить из того, что все продающееся в магазинах молоко качественное и безопасное. Тот же самый принцип следует относить ко всему спектру

молочной продукции. В противном случае получится, что государство не справляется со своими функциями, а производитель осознанно занимается фальсификацией либо некомпетентен. Если мы считаем, что продукт, который нам предлагают, качественный и безопасный, то, соответственно, далее следуют только ваш выбор и знание особенностей своего организма. Можете ли вы переносить ту же лактозу, какую жирность вы предпочитаете, сколько предполагаете хранить продукт? Сейчас большинство продуктов поликомпонентны. Например, многие продукты, традиционно производимые из сырья животного происхождения, содержат растительные компоненты. Если для потребителя это принципиально, то следует читать этикеточную надпись, из чего состоит приобретаемый продукт. Но, повторюсь, ни один из продуктов, которые производятся в промышленных масштабах и на соответствующих предприятиях, не несет в себе опасности для нашего здоровья.

— Будем надеяться. Арам Генрихович, но вы же не только специалист по молоку. Вы еще и пищевик, а это более широкий охват профессиональной деятельности. Удастся ли реализовать эти возможности, работая в институте?

В нашем институте основа — молоко и молочные продукты. При этом наш испытательный центр, который — без ложной скромности — считается одним из лучших в России, аккредитован не только на молоко, но и на многие другие продукты питания. Для этого необходимы соответствующие знания и компетенции

— Дело в том, что большинство технологий переработки базируются на общих принципах. Поэтому технолог по молоку в целом может моделировать процессы переработки иного сырья. Конечно, в нашем институте основа — молоко и молочные продукты. При этом наш испытательный центр, который — без ложной скромности — считается одним из лучших в России, аккредитован не только на молоко, но и на многие другие продукты питания. Для этого необходимы соответствующие знания и компетенции. Кроме того, у нас сложились хорошие отношения со всеми отраслевыми институтами. Это институт консервной и мясной промышленности, институт напитков и многие другие. Мы периодически собираемся, проводим мозговые штурмы, помогаем друг другу, создаем совместные продукты.

— **Какие, например?**

— Например, фитолактатные продукты, содержащие растительные жиры, белки или кисломолочные продукты со злаковыми культурами, технологии которых требовали соответствующих консультаций.

— **Давайте вернемся к вопросу, который я задала вначале: для чего нужна наука в молочной промышленности? Если бы вас попросили по пунктам перечислить, что бы вы назвали в первую очередь?**

— Прежде всего, это методики оценки качества и безопасности молочных продуктов. Это очень объемный и сложный материал, базирующийся на длительной экспериментальной работе, направленной на их оптимизацию. Например, известная проблема с антибиотиками. Для того чтобы определить их наличие в молоке, ранее использовали сложные и длительные методы. Сегодня процесс занимает минуты и не требует квалификации от исследователя. Не менее важны технологические решения. Сегодня условия рынка предопределяют необходимость постоянных разработок новых продуктов. Зачастую образ продукта весьма эфемерен. При этом его надо материализовать так, чтобы продукт был качественным, безопасным и при этом пользовался спросом.

— **И разработчики таких продуктов обращаются к вам за научной поддержкой?**

— Да. И довольно часто таким образом рождаются ноу-хау. Они становятся

нематериальными активами, которые позже монетизируются. В последние годы отмечается большой международный интерес к нашим национальным продуктам. Это в первую очередь кефир. На сегодня у нас подписаны договоры с Канадой, Японией и рядом других стран, в которых производят наш кефир по лицензионному соглашению. В ближайшее время мы подпишем соглашение с международной компанией — лидером по производству заквасочных препаратов. Совместные исследования направлены на глубокое изучение кефира, выделение и ДНК-паспортизацию оригинальных штаммов. В дальнейшем предполагается введение российских штаммов в промышленные формы заквасок и их распространение по всему миру.

— **Наш кефир настолько хорош, что им интересуется весь мир?**

— Он на самом деле хорош.

— **Слышала, что слово «кефир» происходит от арабского слова «кайф». Это так?**

— Интересная версия, но не уверен, что она соответствует действительности. На самом деле вариантов много, но лидирует версия кавказского происхождения продукта и наименования. Сегодня одна из глобальных проблем молочной промышленности в России — обеспечение сохранности наших национальных продуктов. Это сметана, творог, кефир, ряженка и др. Наши технологии, национальные заквасочные культуры, которые использовались на протяжении сотен лет, должны быть бережно сохранены. Сегодня есть вероятность, что они могут потеряться в нынешнем многоголосье технологических решений. Поэтому мы начинали создавать их ДНК-профили. Это глобальная научная работа, направленная на поддержку наших национальных интересов.

— **Правда ли, что к вам в институт за качественной закваской идут не только ученые и производители, но и потребители?**

— Промышленным производством заквасок институт не занимается уже несколько лет. Но у нас есть партнеры, для которых мы создаем технологии, в том числе на базе их производств, которые становятся нашими экспериментальными площадками. Соответственно, они производят и продают качественную закваску или концентрированный кисломолочный продукт, и за этой продукцией действительно

Молочнокислые продукты — это целая самобытная планета. Тысячелетия нашего симбиоза привели к тому, что мы не можем существовать без них. Но очень многого о них мы еще не знаем. Они лечат, помогают, защищают. Считается доказанным, что многие болезни отступают при наличии конкурирующей кисломолочной микрофлоры

приходят очень много людей, в том числе направляемых медицинскими учреждениями.

— **Зачем же медицинским организациям ваша закваска?**

— В первую очередь они используют ее для питания, в том числе пациентов, в ряде случаев — для лечения ожогов. Ведь известно, что при солнечных ожогах в народе веками применяют кефир и сметану. И сегодня их успешно внедрили в ожоговых центрах, несколько видоизменив товарную форму, — это закваска, иммобилизованная на тканевой основе. Молочнокислые микроорганизмы также применяются в косметологии и дерматологии. Молочнокислые продукты — это целая самобытная планета. Тысячелетия нашего симбиоза привели к тому, что мы не можем существовать без них. Но очень многого о них мы еще не знаем. Они лечат, помогают, защищают. Считается доказанным, что многие болезни отступают при наличии конкурирующей кисломолочной микрофлоры. В настоящее время эти исследования получили новый формат развития, и мы надеемся, что наши разработки помогут многим людям обрести здоровье и долголетие. Для этого мы и работаем. ■

Беседовала Наталия Лескова

НАРУ ЖИВЫЕ ОБЕЩАНИЯ

Горнодобывающая компания *Rio Tinto* ведет добычу минерала ильменита на юго-востоке Мадагаскара в прибрежном лесу — в экосистеме, находящейся под угрозой

An aerial photograph of a mining operation on a mountainous island. In the foreground, a large, bright blue reservoir is surrounded by a concrete dam structure. To the left, a large industrial building with a green roof is situated on a platform. The middle ground shows a large, flat, sandy area with some industrial structures and a tall tower. The background features lush green mountains under a cloudy sky.

ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Гигант горнодобывающей промышленности компания *Rio Tinto* взяла на себя обязательство в сотрудничестве со специалистами по охране окружающей среды улучшить экологическую обстановку в местах добычи ильменита на Мадагаскаре. Обещание получило широкую огласку, а потом конечные цели компании начали меняться

Роуэн Мур Герети

ОБ АВТОРЕ

Роуэн Мур Герети (Rowan Moore Gerety) — нью-йоркский журналист и продюсер на радио, автор книги «Иди скажи крокодилам: погоня за состоянием в Мозамбике» (*Go Tell the Crocodiles: Chasing Prosperity in Mozambique*, 2018). Журналистская командировка для создания этой статьи состоялась благодаря гранту от *Mongabay*, некоммерческого провайдера новостей в области охраны окружающей среды и экологии.



В лесу Мандены, на Мадагаскаре,

равеналы с листьями, похожими на листья банана, закрывают солнце, их сеянками цвета электрик усеяны опавшие листья и белый песок внизу. С наступлением ночи из своих убежищ в дуплах деревьев появляются мышинные лемуры, чтобы полакомиться насекомыми, цветами и фруктами. В сезон дождей в местах, где похожие на помпоны пучки листьев пандануса соединяются со стволами, скапливается вода: в основании каждого листа формируется резервуар, достаточно большой, чтобы питать маленькие стаи головастиков до наступления их зрелости, прежде чем лужи высохнут в апреле.

Здесь кольценосные древесные лягушки (*Guibemantis annulatus*), названные так из-за белых полосок на каждом пальце перепончатых лап, находят идеальное место для выращивания следующего поколения высоко над головами потенциальных хищников. Покрытые леопардовыми пятнами лягушки размером с большой палец детской руки откладывают икринки в виде клейких связок над водой и остаются наблюдать за ними почти неделю, до тех пор пока их потомство не попадет в крошечный бассейн и не начнет плавать.

С близкого расстояния кажется, что в этом уголке Мандены можно заблудиться. Но над пологом листвы реальность дает о себе знать. Когда-то лес простирался до горизонта. То, что осталось от него

сейчас, — меньше, чем бруклинский Проспект-парк: лес, зажатый между рудником с одной стороны и постоянно растущей деревней с другой, можно пройти пешком от одного до другого края за полчаса.

Мадагаскар откололся от когда-то единого участка суши, включавшего Африку и полуостров Индостан, почти 100 млн лет назад. За это огромное количество лет эволюции в изоляции на острове сформировались невероятно богатые фауна и флора: четыре из каждых пяти видов растений и животных можно найти только здесь — огромное число действующих лиц в широком спектре высоко специализированных симбиотических ниш. Одни лишь 83 вида панданусов, произрастающие

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- В 2004 г. горнодобывающая компания *Rio Tinto* обязалась улучшить экологическую обстановку в самых уязвимых участках выработки. Предполагалось начать эту работу с Мадагаскара, где компания готовилась добывать минерал ильменит.
- Специалисты по охране природы, работающие на Мадагаскаре, где обитают многие виды животных и растений, не встречающиеся больше нигде в мире, стали сотрудничать с *Rio Tinto*, чтобы помочь компании выполнить ее обязательства.
- В конце концов *Rio Tinto* отказалась от своего обещания, в связи с чем возник вопрос о том, могут ли горнодобывающие компании и защитники природы эффективно сотрудничать в сфере охраны окружающей среды.



на Мадагаскаре, служат местом для размножения десятков различных видов рептилий и амфибий. Однако теперь сложное взаимодействие панданусов и кольценосных древесных лягушек осуществляется лишь в границах крошечных фрагментов леса, как в Мандене, разбросанных вдоль юго-восточного побережья Мадагаскара. Два из трех небольших участков леса, где все еще можно найти этот вид лягушек, находятся на территории, переданной по концессионному соглашению *Rio Tinto*, одной из крупнейших горнодобывающих компаний мира.

Rio Tinto пришла на Мадагаскар в 1980-х гг. в поисках ильменита, минерала, используемого в частности для производства диоксида титана, который применяется в качестве белого пигмента в различной продукции — от краски и пластика до зубной пасты. В ходе геологоразведочных работ обнаружили «золотую жилу» рядом с Тауланару (Форт-Дофин) на юго-восточной оконечности острова. Интересующие компанию месторождения ильменита находятся под остатками густых вечнозеленых лесов, которые когда-то росли на песчаных дюнах вдоль большей части восточного побережья Мадагаскара, формируя длинную полосу, возможно, покрывавшую площадь 465 тыс. га. Со времени колонизации острова человеком примерно 2 тыс. лет назад площадь прибрежных лесов сократилась и теперь составляет лишь 10% от первоначальных размеров. По сути, участок, переданный по концессии *Rio Tinto*, представляет собой часть экосистемы, которой больше всего на планете угрожает исчезновение.

Обычно открытие таких подземных богатств в рамках уже уязвимой экосистемы означало бы конец света для большинства составляющих ее живых организмов. Однако в 2004 г. руководители корпорации *Rio Tinto*, главный офис которой

Рассвет над Тауланару (Форт-Дофин), Мадагаскар. В этом регионе под прибрежными лесами залегают около 70 млн т ильменита.

находится в Лондоне, отправились в Бангкок на Всемирный конгресс Международного союза охраны природы — самую важную встречу ученых, специали-

стов по охране окружающей среды, лидеров правительств и бизнеса, — чтобы изложить планы, которые были равносильны радикальному пересмотру отношения горнодобывающей промышленности к миру природы. В дальнейшем, обещали они, компания будет стремиться не только ограничить размер ущерба для окружающей среды, но и активно улучшить экологическую обстановку в наиболее уязвимых участках выработки. И начнет эту деятельность с концессии на добычу полезных ископаемых на юго-востоке Мадагаскара.

Специалисты по охране окружающей среды встретили предложение с энтузиазмом. У них были причины для оптимизма: *Rio Tinto* и ее предшественники уже больше десяти лет сотрудничали с учеными из Ботанического сада Миссури, финансируя ботанические исследования и изучение новых видов, открытых на участках, переданных компании по концессионным соглашениям. Детали и стандарты еще не были определены, но если бы компания *Rio Tinto* довела план до конца, то подобная позиция могла бы отразиться на отрасли в целом, заставив горнодобывающие компании конкурировать за разрешения на добычу на основе программ по охране окружающей среды.

В рамках этой инициативы *Rio Tinto* учредила комитет по биоразнообразию, в который вошли исследователи и менеджеры из некоммерческих организаций, способные помочь местной дочерней компании, *QIT Madagascar Minerals (QMM)*, осуществлять планирование и выполнение работ по охране окружающей среды на границе площадки, которая должна была превратиться в огромный рудник. Правительство Республики Мадагаскар

получало 20% доли в *QMM* — эти инвестиции могли бы принести стране сотни миллионов долларов новых источников дохода. Для входивших в группу ученых участие в комитете было смелым шагом: их данные могли помочь предотвратить худшее и направить инвестиции *Rio Tinto* на благо природе, но это также означало, что ученые разделят ответственность, если что-то пойдет не так.

Много времени не потребовалось. В течение нескольких лет с начала действия комитета его члены неоднократно высказывали опасения, что *QMM* не находится на пути к достижению целей в области биоразнообразия. Когда во время Великой рецессии цены на ильменит резко упали, приоритеты *Rio Tinto* изменились, и к 2016 г. компания нарушила свое обещание о сохранении окружающей среды. Вместо этого она поставила перед собой неопределенную цель: избегать слишком серьезного ухудшения ситуации. К настоящему времени из-за добычи полезных ископаемых очаг биоразнообразия рядом с Манденой находится на пороге уничтожения. Теперь судьба людей, живущих там, и десятков видов-эндемиков, таких как кольценосная древесная лягушка, зависит от результатов этого долгосрочного эксперимента — контрольного теста, демонстрирующего, какую роль горнодобывающая промышленность может сыграть в сохранении природы и насколько специалисты по охране окружающей среды способны оказать влияние на представителей отрасли.

В природе ильменит накапливается в отложениях, нанесенных реками и ручьями, уже давно изменившими русло, в виде черного песка, настолько тяжелого, что он отделяется от более легких минералов на поверхности. Для добычи минерала горняки сначала расчищают каждый участок: с помощью экскаваторов с обратной лопатой и бензопил они удаляют каждый клочок растительности и сваливают ее в гигантские груды компоста. Землеройные машины выкапывают траншеи глубиной в несколько этажей и длиной больше футбольного поля, которые потом заполняют водой, отведенной из близлежащей реки. Землесосный снаряд поднимает песок с глубины до 18 м и через огромную «соломинку» (трубу) перекачивает его на баржу, где в ходе гравитационной сепарации часть ильменитовой руды отделяется от песка, верхнего слоя почвы и более легких материалов. Гигантские черные змеи — временные трубопроводы — пересекают пространство: по ним осуществляется транспортировка насыщенной минералом суспензии на светящийся зеленым перерабатывающий завод рядом с водой. Для доизвлечения ильменита используют электростатическую сепарацию, а затем песок, из которого извлекли минерал, и землю опять распределяют на участке.



Корпорация *Rio Tinto* открыла месторождение ильменита около Тауланару в 1986 г. В то время в этом регионе уже наблюдалась серьезная фрагментация и деградация лесов из-за деятельности человека. Но с началом реализации планов компании в регионе вскоре появились новые дороги, хлынул поток людей, ищущих работу, и ускорился процесс сведения лесов в ходе производства древесного угля и создания новых пахотных земель для поддержки растущего города.

По оценкам, запасы вокруг Тауланару составляли около 70 млн т ильменита — достаточно, чтобы обеспечить примерно 10% мирового рынка в течение десяти лет или больше, — и *Rio Tinto* начала разработку планов по их извлечению. Компания сконцентрировала свои усилия на трех богатых минералом районах, общей площадью 6 тыс. га, вдоль побережья. Добыча должна была начаться на участке площадью 2 тыс. га в Мандене с дальнейшим продвижением на север к Сент-Люсу и на юг к Петрики. В соответствии с проектом компании добычу должны были вести в течение срока жизни месторождения: около 60 лет с начала



Территория месторождений Rio Tinto на Мадагаскаре — место обитания ряда видов, находящихся под угрозой исчезновения, в том числе кольценой древесной лягушки (*Guibemantis annulatus*, 1), мадагаскарского дневного геккона (*Phelsuma antanosy*, 2) и красношейникового лемура (*Eulemur collaris*, 3). Некоторые виды обитают только в районах, переданных компании по концессионному соглашению.

первой выработки. По оценкам *Rio Tinto*, на момент окончания реализации проекта было бы утрачено 1665 га, или 3,5%, оставшегося прибрежного леса.

Одновременно с оценкой залежей ильменита в регионе корпорация *Rio Tinto* инициировала проведение исследований окружающей среды. В рамках этих исследований было профинансировано создание одного из первых реестров растений лесов вдоль восточного побережья Мадагаскара. Корпорация понимала, что у нее будет больше шансов получить разрешение на разработку месторождения, если она сможет продемонстрировать, что провела должную оценку возможного ущерба окружающей среде в результате добычи. Ботаник Пит Лоури (Pete Lowry) вместе с группой коллег из Ботанического сада Миссури собирал образцы и документировал информацию о каждом встреченном виде растения. Лоури говорит: «Когда группа обнаружила десятки незнакомых растений, нас осенило: существует множество видов, которые, по видимому, растут только на белом песке и нигде больше». Команда определила границы экосистемы, почти неизвестной науке. *Rio Tinto* продолжала

сотрудничать с ведущими учеными со всего мира, поддерживая исследования более 40 ранее не описанных видов, обнаруженных на участках, переданных по концессионному соглашению.

Несмотря на поддержку экологических исследований на Мадагаскаре, из-за своего послужного списка к началу 2000-х гг. компания *Rio Tinto* заслужила репутацию беспринципного представителя отрасли, наиболее загрязняющей окружающую среду. В Папуа — Новой Гвинее, где *Rio Tinto* разрабатывала гигантское месторождение меди в 1980-х гг., протесты, возникшие из-за дифференцированного отношении компании к белым инженерам и местным рабочим, привели к закрытию рудника и способствовали разжиганию гражданской войны. Прошло 30 лет с тех пор, как *Rio Tinto* прекратила разработку месторождения, но для того чтобы ликвидировать загрязнение окружающей среды в районе закрытого рудника Пангуна, по оценкам, потребуется \$1 млрд.

Именно принимая во внимание такой негативный фон, представители *Rio Tinto* приехали в Бангкок в 2004 г., чтобы объявить об инициативе по сохранению окружающей среды на Мадагаскаре. Компания назвала стратегию «чистый положительный эффект» (*net positive impact, NPI*). Представители компании обещали, что благодаря добыче полезных ископаемых локальные экосистемы в Мандене, Сент-Люсе и Петрики в конечном счете окажутся в лучшем положении, чем могло бы быть без разработки месторождения. В 2005 г. *Rio Tinto* начала раскрывать подробности своего плана. Она намеревалась полностью исключить разработку месторождения в хорошо сохранившихся фрагментах леса на каждом из трех участков; выполнить беспрецедентное восстановление окружающей среды в районах, расчищенных в ходе добычи, а также инвестировать в мероприятия по восстановлению биоразнообразия в нескольких участках леса по всему региону, чтобы компенсировать ущерб, нанесенный в зоне разработки месторождения. Комитет по биоразнообразию должен был помочь компании выполнить обещание.

Некоторым специалистам по охране окружающей среды подобное партнерство не нравилось. Барри Фергюсон (Barry Ferguson), эколог-исследователь, работавший в то время в Тауланару, считал соглашение своего рода взаимовыгодным «зеленым камуфляжем», тогда как исследования, финансируемые *QMM*, способствовали карьерному росту ученых, добросовестно занимавшихся охраной природы. Некоторые эксперты были настроены скептически: они сомневались, что *Rio Tinto* удастся добиться своей цели — чистого положительного эффекта — в таком экологически уязвимом регионе. Кроме того, было известно, что десятки видов растений обитают только на участках, переданных компании по концессионному

соглашению. Положение особенного вида дневно-го геккона, *Phelsuma antanosy*, — крошечного, похожего на стрелу существа неоново-зеленого цвета с красными полосами и проблесками бирюзового (у самцов) — еще более шатко. Этот геккон, зона обитания которого, как полагают, составляет меньше 10 км², охотится на насекомых и откладывает яйца на деревьях только одного вида панданусов.

Проект по достижению чистого положительного эффекта на Мадагаскаре был дорогостоящим. По оценкам *Rio Tinto*, компании пришлось бы оставить нетронутыми запасы ильменита на сумму \$1,2 млрд, чтобы сохранить 624 га леса в так называемых обходных зонах и превратить их в заповедные. Восстановление уничтоженного леса и компенсация ущерба привели бы к еще большему сокращению прибыли.

Тем не менее в демонстрационных материалах компания часто ссылалась на «экономическое обоснование» чистого положительного эффекта, исходя из необходимости продемонстрировать правительствам и инвесторам, что *Rio Tinto* — фирма, которая больше всего подходит для выполнения проектов с высокими социальными и экологическими рисками. По оценке Лоури, «достаточное обоснование принесло бы [*Rio Tinto*] коммерческую выгоду». Пит Лоури стал президентом комитета по биоразнообразию в 2006 г. На первом этапе Лоури надеялся, что рудник на Мадагаскаре, а также два других пилотных участка в Монголии и Австралии смогут помочь изменить отношение горнодобывающей отрасли к окружающей среде, поскольку горнодобывающие компании опасались, что из-за социальных и экологических рисков им могут заблокировать доступ к потенциально выгодным месторождениям. «Идея, — говорит Пит Лоури, — заключалась в следующем: "У нас грязный бизнес, и все об этом знают. Что нужно сделать, чтобы получить доступ в будущем?"». Компания *Rio Tinto* официально приступила к разработке месторождения на Мадагаскаре в 2008 г.

Однако вскоре экономическое обоснование чистого положительного эффекта стремительно превратилось в предприятие по извлечению



прибыли от месторождения. За несколько месяцев до предполагаемого начала разработки месторождения Мандена, намеченного на декабрь 2008 г., обвалились мировые финансовые рынки, и курс акций *Rio Tinto* упал, когда компания столкнулась со снижением спроса. Первые партии ильменита отправились с Мадагаскара на переработку в Канаду в мае 2009 г., к концу года спрос на минерал снизился на 20%.

Какое-то время *Rio Tinto* частично выполняла свое обещание по сохранению окружающей среды, придерживаясь намеченных обходных зон. Но простого исключения этих заповедных зон оказалось недостаточно: деградация лесов продолжалась из-за отсутствия эффективного управления и вторжений лесорубов и производителей древесного угля. Комитет по биоразнообразию высказывал все большую озабоченность тем, что компания не активизирует деятельность по сохранению окружающей среды. В 2010 г. комитет предупредил: «Самый большой риск для *QMM* относительно биоразнообразия — исчезновение видов».

С тех пор ситуация в области охраны природы ухудшилась. Предполагалось, что в период с 2010 по 2012 г. площадь лесов будет увеличиваться за счет работ по восстановлению, проводимых *QMM*. Вместо этого, как показывают данные собственных отчетов компании (где показатели даются нарастающим итогом), в Мандене площадь вырубки леса уже почти сравнялась с размерами заповедной зоны. Площадь одного важнейшего участка леса — места обитания четырех



Женщины собирают tuhaturu, разновидность тростника, растущего на заболоченных участках вдоль побережья. Перед плетением тростник покрывают глиной и сушат. Для жителей деревень близ Мандены, одного из месторождений Rio Tinto, создание изделий из плетеного tuhaturu долгое время служило основным источником дохода. Но запасы тростника сократились из-за того, что болота засыпают песком с рудника.

из семи видов, находящихся под угрозой исчезновения в результате деятельности QMM, — сокращалась такими темпами, что от более 200 га леса к 2024 г. осталось бы менее 50 га. Предупреждения на встречах комитета по биоразнообразию становились все более настоятельными. «Огромный риск для достижения чистого положительного эффекта», — написали члены комитета в 2012 г., заявляя, что у QMM заканчиваются возможности для компенсации будущего ущерба от разработки месторождения.

Тем временем ряд допущенных технических ошибок на Мадагаскаре и промах с крупными инвестициями в Мозамбике, где Rio Tinto заплатила завышенную цену за участие в разработке нового крупного месторождения угля, привели к изменению конечных целей компании, вынудив ее перейти к мерам по сокращению расходов предприятия в целом. Несмотря на то что финансирование экологической программы не сократилось, все реалистичные сроки для достижения чистого положительного эффекта, по-видимому, уже прошли. Были потеряны месяцы, пока Rio Tinto добилась, чтобы QMM взяла на себя большую

ответственность за финансирование работ из собственного бюджета.

QMM удалось сдержать истребление леса в заповедной зоне, даже когда землечерпалки непрерывно уничтожали другие фрагменты леса в Мандене. Но Мандена — это наиболее простой из трех участков с точки зрения управления и наименее важный для сохранения биоразнообразия. К 2015 г. в «Плане действий QMM по сохранению биоразнообразия» указывалось, что для достижения чистого положительного эффекта требуется немедленно остановить деградацию и сведение лесов как в компенсационных, так и в обходных зонах в Петрики и Сент-Люсе, и срочно замедлить потери леса

в компенсационных зонах за пределами участков разработки месторождения.

В 2016 г. Rio Tinto официально отказалась от стратегии чистого положительного эффекта в качестве корпоративного мандата. Представители компании встретились с комитетом QMM по биоразнообразию, чтобы представить на замену стратегии чистого положительного эффекта новый корпоративный экологический стандарт, названный «минимизация остаточного воздействия». Что именно это означало?

«Это было абсолютно лишено конкретики», — вспоминает Лоури. Самое большое, о чем публично сообщала Rio Tinto: все будет зависеть от местных условий, то есть мероприятия по охране окружающей среды будут определяться и финансироваться в рамках индивидуальных проектов, в том числе, если пожелают, и мероприятия по достижению чистого положительного эффекта.

Йорг Ганцхорн (Jörg Ganzhorn), эколог из Гамбургского университета, сотрудничавший с Rio Tinto и QMM больше десяти лет, был ошеломлен: «Я бы понял, если бы вы, как горнодобывающая компания, не заявляли о чистом положительном эффекте для сохранения биоразнообразия. Это не ваша работа». Но никто не заставлял Rio Tinto рекламировать стандарт на своем веб-сайте и отправлять топ-менеджеров на международные экологические конференции по всему миру, чтобы рассказать о принципиально новой инициативе компании. Сделать все это и потом отказаться от стратегии чистого положительного эффекта? «Именно

тогда я решил, что должен уйти», — говорит Ганцхорн. В октябре 2016 г. Йорг Ганцхорн, Пит Лоури и двое других ученых, консультировавших *Rio Tinto* на Мадагаскаре, выступили с неожиданным заявлением о разрыве отношений с компанией.

Вскоре после этого руководство *Rio Tinto* сделало ряд заявлений в связи с отставкой членов комитета, представив дело так, будто роспуск комитета произошел по взаимному согласию, «для обновления целей и сосредоточения внимания группы». Заявление гласило, что будет сформирован новый комитет, работу которого помогут наладить бывшие участники. Лоури оказался единственным бывшим членом комитета, который все еще был готов к дальнейшему сотрудничеству. «Ставки по-прежнему высоки, — говорит Лоури. — Если я не приму участие в комитете, то не останется никаких связей с работой, которая была проделана за последние 20–25 лет».

В июле 2017 г. я вместе с двумя членами группы экологов *QMM* отправился в поездку по Мандене, где мозаика из чередующихся полей, фрагментов леса и болот постоянно уступает место резким углам и прямым линиям промышленной площадки. На столбах забора расселась мадагаскарская пустельга. Ряды молодых саженцев эвкалиптов и акаций образовали сетку над песчаной площадкой, где прошли землечерпалки. *QMM* надеется, что со временем эти деревья станут источником древесины и древесного угля для общин, которые в настоящее время зависят от тех фрагментов леса, где вскоре начнется добыча. Прямо за главным офисом компании *QMM* находится управляемый ею питомник, который снабжает компанию акациями и эвкалиптами, а также местными растениями, используемыми в экспериментах, направленных на восстановление около 675 га леса к концу жизни рудника в 2065 г.

Семейство серых кротких лемуров (*Haplemur griseus*) резвилось около надворной постройки, обгладывая побеги бамбука, пока Фали Рандриатафика (Faly Randriatafika), осуществляющий надзор за работой *QMM* по охране природы, прохаживался вдоль рядов с крошечными саженцами

на пластиковых поддонах. Он показал на восьми-сантиметровый побег *Eligmocarpus cynometroides*, похожего на длинную и тонкую пальму растения из семейства бобовых с семенами, напоминающими по форме кулак. В дикой природе существует около 20 экземпляров этого вида, все в районе Петрики. «Это растение очень трудно вырастить: из 500 плодов иногда можно получить только 20 семян, — сообщил Рандриатафика. — Без проекта *QMM* этот вид исчез бы полностью».

Лиса Гэйлорд (Lisa Gaylord), в то время работавшая менеджером по корпоративным связям, взаимодействию с общинами и устойчивому развитию, высказала аналогичное замечание о судьбе всех прибрежных лесов вокруг рудника *QMM*. В дополнительном офисе *QMM* в Тауланару она пока-

зала мне на своем ноутбуке анимированный слайд, изображающий изменения лесного покрова вокруг Сент-Люса за предыдущие десять лет. Участки, отмеченные зеленым цветом, сокращались из года в год, как песчаные отмели, исчезающие во время прилива. Смысл был ясен: осуществляется добыча или нет, производство древесного угля и сельское хозяйство вскоре поглотят то небольшое, что осталось от леса. «Мы могли бы ничего не делать, и, уверяю вас, весь лесной коридор исчезнет, — сказала Лиса. — Он исчезнет. Вот к чему движется Мадагаскар».

Тем не менее, несомненно, разработка месторождения

имеет серьезные последствия не только для лесов и дикой природы, но и для людей. На вершине маленького холма над участком месторождения в Мандене, менее чем в 500 м вглубь от гладкой асфальтированной дороги, построенной *QMM* для собственных частных нужд, расположены деревья и покрытая рывтинами грунтовая дорога, которую называют старым шоссе. Для разговора со мной *chef fokontany* (местный староста) Франсис Мака Теодорик (Francis Maka Teodorik) пригласил десять своих соседей в дом, где мы расселись на традиционных циновках, сделанных из *tahatry*, разновидности тростника, которую собирают на заболоченных участках вдоль побережья. Плетеные изделия из *tahatry* долгое время были основным источником дохода для

На юго-востоке Мадагаскара австралийская фирма начинает разрабатывать еще одно крупное месторождение ильменита, что приведет к обострению ситуации с дефицитом воды в аридной экосистеме, уже испытывающей повышенную нагрузку из-за засухи и уничтожения лесов

местных женщин, но запасы этого тростника сокращаются одновременно с запасами древесины для строительства, производства топлива и древесного угля.

QMM профинансировала создание демонстрационных участков из восстановленных болот и провела обучение местных женщин, чтобы способствовать рациональному сбору *mahampy* за счет срезания тростника выше корней. Но Теодорик и его соседи рассказали, что эти усилия маскируют реальные последствия разработки рудника QMM. Мать четырех детей Эленетт Раверосаотра (Helenette Raverosaotra), из двухкомнатного дома которой виден перерабатывающий завод QMM, сказала, что теперь, когда болота вокруг Мандены разрабатывают одно за другим, чтобы собрать достаточно материала для плетения циновки, которую продают меньше чем за \$3, приходится ходить за тростником шесть или семь раз. «QMM уже уничтожили весь *mahampy*, который мы использовали, — рассказала Фиделин Джайн (Fideline Jane), которая теперь проводит свои дни за ловом креветок в реке, чтобы получить крошечную долю от прежнего дохода. — Рудники засыпали песком все места, где рос *mahampy*».

У местных фермеров, чьи земли затопили для создания источника воды для рудника, другие жалобы. Они годами протестовали из-за того, что не получили справедливой компенсации за утраченную землю. Когда QMM наконец согласилась провести оценку площади изъятой земли, собственный анализ компании показал, что фермеры были правы: QMM заплатила фермерам за потерю 4 га, но площадь изъятых земель превысила этот показатель более чем в шесть раз. В конце концов QMM заплатила фермерам за остаток.

По общему мнению, в «партнерстве» между горнодобывающей отраслью и окружающей средой отсутствует один важный компонент — более строгий надзор со стороны правительства. Джоселин Ракотомалала (Joselyn Rakotomalala), управляющая расположенной в Тауланару неправительственной организацией под названием *Saha*, отмечает: «Горнодобывающие компании могли бы сохранить гораздо больше, если бы государство было более требовательным».

Rio Tinto часто приписывает своему обязательству по достижению чистого положительного эффекта роль решающего фактора, благодаря которому было получено одобрение проекта. Однако, как указывает Херитиана Равелоджаона (Heritiana Ravelojaona), руководитель разработок в регионе, в соглашении между *Rio Tinto* и правительством Мадагаскара нет ничего, подобного требованию о достижении чистого положительного эффекта. «Например, компенсации, — говорит Равелоджаона. — Это добровольные обязательства».

А в Сент-Люсе, где жители деревень постоянно выступают против запретов на доступ к небольшим заповедным зонам, созданным в рамках проекта, по словам Равелоджаоны, «это больше не вопрос QMM. Государство, если оно решает сохранить эту зону, запретив доступ, должно найти способ для выполнения требований общества».

Фрэнк Хокинс (Frank Hawkins), в настоящее время возглавляющий вашингтонский офис Международного союза охраны природы, был одним из первых ученых, сотрудничавших с QMM. Теперь он считает, что QMM оказалась «катастрофической неудачей» в том, что касается последствий в социальном и экологическом плане. Но Хокинс говорит, что если бы сегодня все начать сначала, он бы все равно стал участвовать, поскольку вероятная альтернатива *Rio Tinto* — не прекращение добычи вообще, а ее осуществление с удручающе неадекватными мерами по охране окружающей среды. По всей планете полно таких примеров. В 2016 г. в Бьютте, штат Монтана, тысячи белых гусей (*Anser caerulescens*) погибли, когда шторм загнал их в токсичный водоем, оставшийся после разрабатывавшегося открытым способом медного рудника, эксплуатация которого прекратилась десятки лет назад. В дельте реки Нигер разведка месторождений нефти привела к разливам, объем которых равен суммарному объему ежегодных разливов нефти *Exxon Valdez* за 50 лет. «Печальная правда в том, что горнодобывающему сектору очень просто вести переговоры о крупных сделках, потому что речь всегда идет о больших деньгах», — объясняет Хокинс.

На Ампасиндаве, полуострове на северо-западе Мадагаскара, высокопоставленные чиновники, по-видимому, стремившиеся предоставить разрешение на исследования предприятию по добыче редкоземельных металлов, находятся под следствием за финансовые махинации после того, как компания успешно пролоббировала сокращение прилегающей защитной зоны. На юго-востоке Мадагаскара австралийская фирма начинает разрабатывать еще одно крупное месторождение ильменита, что приведет к обострению ситуации с дефицитом воды в аридной экосистеме, уже испытывающей повышенную нагрузку из-за засухи и уничтожения лесов.

Мало кто верит, что правительство Мадагаскара обладает политической волей, чтобы добиться от заинтересованных горнодобывающих компаний более существенных предварительных условий концессионных соглашений. Хокинс говорит, что он хотел бы, чтобы контракты на добычу обсуждались в контексте более обширных планов развития региона, так, чтобы туристические операторы и организации по охране природы могли бы выступать в качестве противовеса и отстаивать более широкий подход к развитию.

Пит Лоури, со своей стороны, огорчен тем, что гамбит *Rio Tinto* со стратегией чистого положительного эффекта, по-видимому, не привел к новой волне конкуренции среди горнодобывающих компаний на основе мероприятий по охране окружающей среды и рациональному природопользованию. На самом деле наиболее многообещающие признаки усиленной активности в области охраны окружающей среды со стороны представителей этой отрасли в Африке наблюдаются, когда действуют старомодным способом: правительство принимает меры. Например, недавно Чад, Судан, Нигер и Габон применили штрафные санкции в отношении *SINOPEC* и Китайской национальной нефтяной корпорации, двух принадлежащих государству китайских нефтяных гигантов, за загрязнение окружающей среды и эксплуататорские методы управления. Замбия ужесточила меры в отношении добычи угля преимущественно в ответ на протесты местных жителей из-за условий труда и загрязнения. Вскоре после моей поездки на Мадагаскар в 2017 г. чиновники из правительства выехали в удаленные районы, переданные по концессионному соглашению *Rio Tinto*, для выяснения на местах причин протестов против компании. Это гораздо более серьезная реакция правительства, чем та, которой удалось добиться комитету по биоразнообразию своим письмом об отставке.

Другой вопрос, привела ли такая реакция к каким-либо значительным санкциям. *Rio Tinto* признала, что разработка месторождения в Мандене затронула «буферную зону» вокруг озера, обеспечивающего как тростником *mahampy*, так и питьевой водой близлежащие общины, и поэтому повышен риск просачивания в водоем радиоактивных веществ из хвостов, оставляемых после извлечения ильменита. Признание последовало спустя два года после того, как на этот факт указала работавшая в данном районе британская благотворительная организация *Andrew Lees Trust*, которой пришлось заказывать исследование у независимого геофизика, чтобы представить доказательства. Но, как оказалось, отвечающий за экологию регулирующий орган Мадагаскара, Национальное управление по охране окружающей среды, финансируемое за счет сборов за выдачу разрешений на добычу, таких как для *QMM*, знало о нарушениях по меньшей мере уже год. Управление решило не принимать никаких регулятивных мер.

***Rio Tinto* признала, что разработка месторождения в Мандене затронула «буферную зону» вокруг озера, обеспечивающего питьевой водой близлежащие общины**

По-видимому, наиболее надежны обязательства в рамках крупных проектов по добыче полезных ископаемых, в которые вовлечены деньги. В Монголии, где в проекте *Rio Tinto* принимает долевое участие Международная финансовая корпорация (МФК), достижение чистого положительного эффекта по-прежнему на повестке дня, преимущественно потому, что этот показатель связан с собственным стандартом МФК в области охраны окружающей среды и рационального природопользования. Везде на Мадагаскаре наиболее удачное сотрудничество между частным сектором и местными общинами наблюдается в отрасли, связанной с добычей морепродуктов: здесь более заметна взаимосвязь между покупательскими решениями конечных потребителей в Европе и экологическими интересами.

И все же Лоури не жалеет о своем решении работать с *Rio Tinto*, даже после краха стратегии чистого положительного эффекта в качестве типовой модели компании. «Я думаю, что в целом, с точки зрения социальной и экологической ответственности, сегодня ситуация с *QMM* намного лучше, чем было бы, если бы комитет вообще не существовало», — говорит Лоури. В 2018 г. он решил присоединиться к вновь учрежденному *QMM* комитету по управлению биоразнообразием и природными ресурсами, чтобы попытаться обеспечить преемственность работы, проделанной прежней группой. В какой-то степени на его решение повлиял уход *Rio Tinto*. По крайней мере, с *QMM* решения о сохранении окружающей среды будут приниматься не в Лондоне: в офисах компании в Тауланару леса не кажутся простой абстракцией. ■

Перевод: С.М. Левензон

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Ньюер Р. Спасение Эдема // *BMH*, № 8–9, 2016.
- Conservation Status of Vascular Plant Species from the *QMM*/ *Rio Tinto* Mining Area at Mandena, Tolagnaro (Fort Dauphin) Region, Southeast Madagascar. Porter P. Lowry II et al. in *Madagascar Conservation & Development*, Vol. 3, No. 1, pages 55–63; December 2008.
- Madagascar: *Rio Tinto* Mine Breaches Sensitive Wetland. Edward Carver in Mongabay. Опубликовано онлайн 9.04.2019. <https://news.mongabay.com/2019/04/madagascar-rio-tinto-mine-breaches-sensitive-wetla>



АПРЕЛЬ 1970

Когда-то были лидерами.

В своем недавнем послании конгрессу по вопросам окружающей среды президент Никсон перечислил 37 шагов, «которые мы можем сделать сейчас и которые смогут продвинуть к тому, что стало общей первоочередной целью американцев:

сохранению естественной среды обитания как места, пригодного и благоприятного для жизни человека». Шаги предусматривают достижение прогресса в четырех основных областях: контроль загрязнения воды, контроль загрязнения воздуха, переработка твердых отходов и обеспечение большего количества зон отдыха и общественного пространства. Одной из административных мер было создание Совета по качеству окружающей среды в составе трех человек.

Жидкокристаллические дисплеи. «В последние годы жидкие кристаллы стимулировали фантазию инженеров. Сейчас эти вещества используются при создании нового семейства приборов для отображения символов, таких как числа и буквы. Они, возможно, позволят разработать и оконное стекло, которое можно будет сделать матовым или прозрачным одним щелчком переключателя, а также телевизоры не толще, чем рамка для картины. Возможно, когда-нибудь жидкие кристаллы станут воспроизводящим изображением элементом в самых распространенных дисплеях — телеприемниках». — Джордж Хейлмейер (George H. Heilmeyer).



АПРЕЛЬ 1920

Стеклозное производство. Изготовление обычного оконного стекла — отрасль промышленности, которая сегодня

привлекает повышенный интерес в негерманских странах Европы в силу мер, принимаемых для стимулирования собственного производства с целью разрушить немецкую монополию, которая существовала до войны. Возможно, не все знают, что формирование тонких листов стекла, идущих в полировочные машины, ведется достаточно окольным методом — путем выдувания стеклянных цилиндров, которые затем разрезаются и расплющиваются в листы.



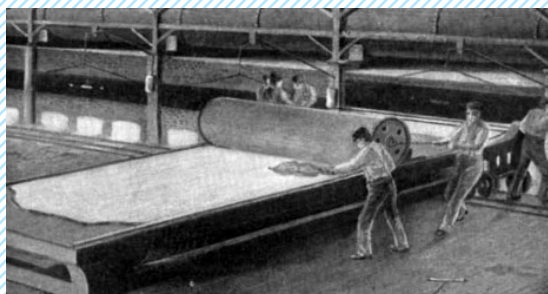
Выдувание цилиндрических стеклянных заготовок для изготовления оконного стекла — старомодный, но все еще лучший метод, 1920 г.

АПРЕЛЬ 1870

Исчезновение вида. Бескрылая гагарка, когда-то водившаяся в изобилии на обоих побережьях Северной Атлантики, в настоящее время считается полностью вымершей, ни одной ее живой особи не видели и не слышали с 1844 г., когда двух птиц подобрали у берегов



Исландии. Исчезновение вида — более значительное событие, чем конец императорской династии. По словам Дарвина, «ни один факт в долгой истории Земли не пугает так, как массовое и повторяющееся истребление ее обитателей». Почему бескрылая гагарка покинула этот мир, в силу какого из основных факторов, ведущих к вымиранию, и сегодня медленно, но постоянно действующих в органическом мире, — подъема или оседания пластов земной коры, вытеснения другими видами животных или резких изменений климатических условий — мы не в состоянии точно сказать. ■



Начало массового производства крупноразмерных панелей листового стекла из литого стекла, 1901 г.

ПРАЗДНУЕМ
175
ЛЕТ

Окно в современность: стекло

В 1920 г. обычное оконное стекло изготавливалось опытными стеклодувами. Литое листовое стекло, которое заливало в форму и раскатывало в листы, хорошо подходило для массового производства, но было не очень прозрачным. В 1902 г. Ирвинг Колберн (Irving W. Colburn) «строил и разбирал одну машину за другой и <...> создал первую коммерчески успешную установку для прокатки листового стекла». В 1959 г. Алистер Пилкингтон (Alastair Pilkington) изобрел «термополированное стекло» (процесс, при котором горячее стекло плавает на поверхности расплавленного цинка); сегодня этим методом производится 90% стекла в мире. На переднем крае современной технологии — стекло экрана вашего смартфона (скорее всего, многокомпонентное стекло *Gorilla Glass* компании *Corning*).



КОСМОЛОГИЯ

КОСМОЛОГИЧЕСКИЙ КРИЗИС

Два разных метода измерения
темпа расширения Вселенной
находятся в противоречии
друг с другом. Это о чем-то
свидетельствует — но только
вот о чем?

Ричард Панек

ОБ АВТОРЕ

Ричард Панек (Richard Panek) — лауреат премии «Вселенная 4%», удостоен стипендии Гуггенхайма как научный писатель. Его последняя книга — «Проблема гравитации: разгадка тайны под нашими ногами» (*The Trouble with Gravity: Solving the Mystery Beneath Our Feet*, 2019).



К

концу прошлого века космологическая Стандартная модель казалась завершенной. Тем не менее она не была лишена загадок и с избытком обладала непахаными полями для будущих исследований. Но все-таки общие положения этой модели оставались неизменными: Вселенная состоит приблизительно на две трети из темной энергии (загадочное нечто, которое заставляет Вселенную расширяться с ускорением), возможно, на четверть из темной материи (загадочное нечто, которое определяет эволюцию крупномасштабной структуры Вселенной) и на 4–5% из «обычного» вещества (из которого состоим мы все, а также планеты, звезды, галактики и вообще все-все, что мы когда-либо видели и что каких-то несколько десятилетий назад представляло для нас Вселенную во всей ее полноте). Все сходилось. Не так быстро. Или, точнее, слишком быстро.

В последние годы появилось расхождение между двумя способами измерения темпа расширения Вселенной — величины, называемой параметром Хаббла (H_0). Измерения, начинающиеся в современной нам Вселенной и уходящие назад ко все более ранним стадиям, последовательно выявили одно значение для H_0 . Однако измерения, начавшиеся на самых ранних стадиях развития Вселенной и продолжавшиеся до сих пор, неизменно предсказывали другую величину — ту, которая предполагает, что Вселенная расширяется быстрее, чем мы думали.

Это расхождение математически неуловимо, но — как часто бывает с тонкими математическими расхождениями, увеличенными до масштаба пространства-времени Вселенной, — космологически

значимо. Знание современного темпа расширения Вселенной помогает космологам экстраполировать его назад во времени, чтобы определить возраст Вселенной, а также позволяет прогнозировать темп расширения и вперед во времени. Последнее дает возможность выяснить, когда, согласно современной теории, пространство между галактиками станет настолько огромным, что лежащий за пределами нашего непосредственного окружения космос будет выглядеть пустым. Правильное значение параметра Хаббла способно прояснить даже природу темной энергии, которая управляет ускоренным расширением Вселенной.

До сих пор измерения ранней Вселенной и прослеживание ее эволюции от ранних стадий к более поздним предсказывают одно значение для

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Астрономы неоднократно вычисляли темп расширения Вселенной — параметр Хаббла — с помощью двух независимых методов. Эти измерения привели к конфликту, который кажется неразрешимым.
- Один из методов, включающий в себя измерение сверхновых и звезд в относительно ближней к нам Вселенной, приводит к одному значению. Другая стратегия, которая использует свет, оставшийся вскоре после Большого взрыва, дает другое значение.
- Экспериментальные проблемы могут привести к расхождению, но никто не знает точно, какого рода будут эти проблемы. Другая возможность заключается в том, что конфликт указывает на нераскрытые явления — «новую физику».

H_0 , а измерения из современной Вселенной назад в прошлое дают другой результат. В науке такая ситуация — не редкость. Обычно противоречие исчезает при более детальном рассмотрении проблемы, и предположение, что расхождение действительно исчезнет, успокаивало космологов последнее десятилетие. Однако это разногласие год за годом только усиливалось, и каждый набор измерений становилось все труднее сопоставить друг с другом. И вот теперь проблема сформулирована.

Никто не предполагает, что вся космологическая Стандартная модель неверна. Но что-то не так — быть может с наблюдениями, а может с интерпретацией наблюдений, хотя каждый из этих двух сценариев маловероятен. Такие рассуждения оставляют последний вариант — столь же маловероятный, но заставляющий рассуждать о себе более всерьез: что-то не так с самой космологической моделью.

На протяжении большей части истории человеческой цивилизации «изучение» нашего космического происхождения представляло сферу мифологии, как вариации на тему «о начале всего». В 1925 г. американский астроном Эдвин Хаббл отчасти свел эти рассуждения к эмпиризму, объявив о разгадке многовековой тайны, что на самом деле представляют собой пятна на небе — то, что астрономы называли тогда туманностями. Были ли туманности газообразными структурами в пологе звезд? Если да, то, возможно, этот простирающийся до пределов видимости самых мощных телескопов звездный купол и есть Вселенная во всей ее полноте? Или туманности — это отдельные «островные вселенные»? По меньшей мере одна из туманностей, обнаруженных Хабблом, оказалась галактикой, носящей название «галактика Андромеды».

Кроме того, когда Хаббл посмотрел на излучение других туманностей, он обнаружил, что длины волн растянуты к красному концу видимого спектра. Это наблюдение означало движение каждого источника в направлении от Земли. (Скорость света остается постоянной. То, что меняется, — длина между гребнями волн, и эта длина определяет цвет.) В 1927 г. бельгийский физик и священник Жорж Леметр (Georges Lemaître) заметил закономерность: чем дальше галактика, тем больше ее красное смещение. Другими словами, чем дальше объект, тем быстрее он удаляется от нас. В 1929 г. Хаббл самостоятельно пришел к тому же выводу: Вселенная расширяется. (*Открытие Хаббла полностью подтвердило решение уравнений Эйнштейна для однородной и изотропной Вселенной, впервые полученное советским ученым А.А. Фридманом в 1922 г., и стало краеугольным камнем космологии как науки. — Примеч. пер.*)

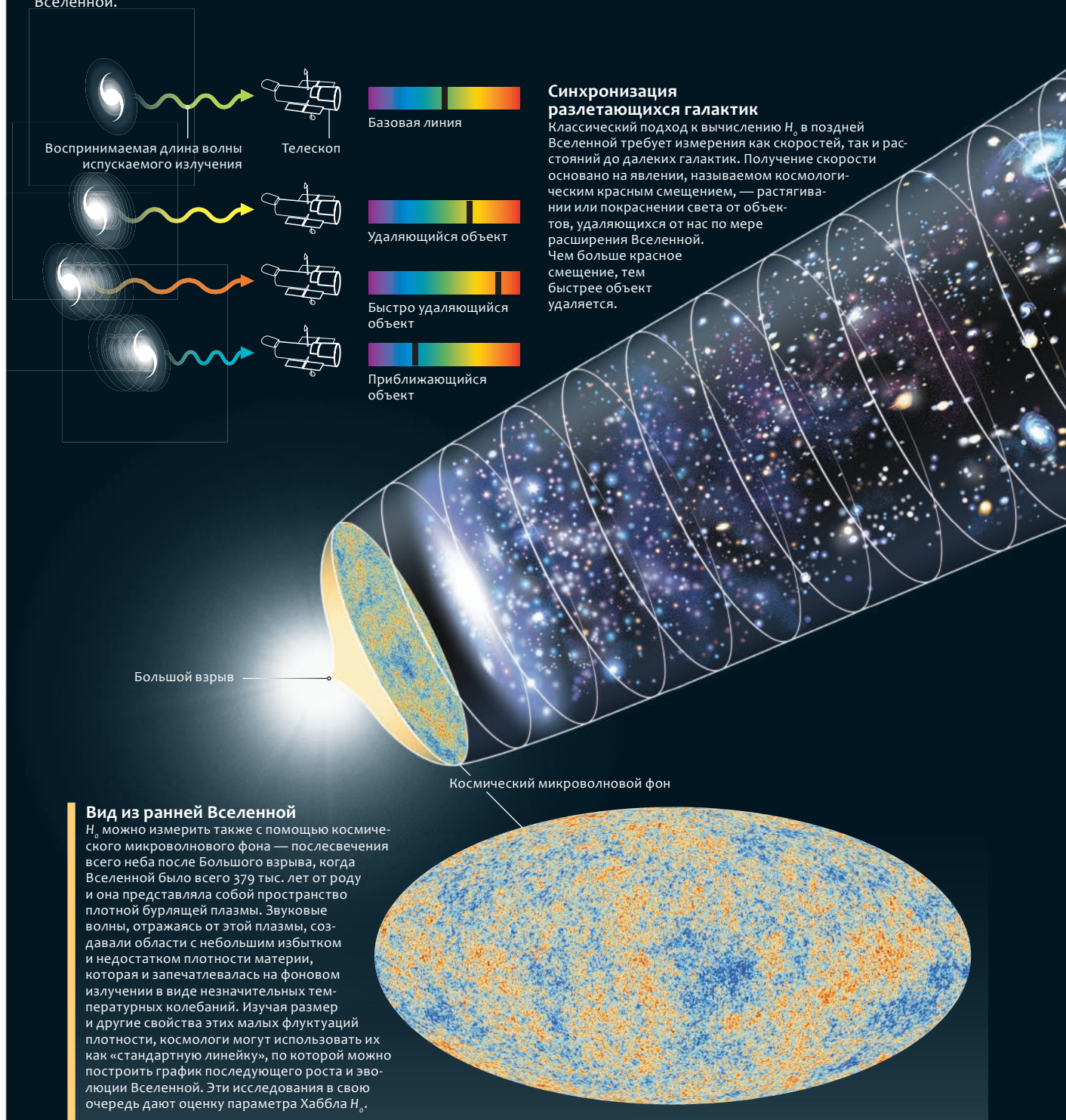
Из какого начального состояния расширяется Вселенная? Мысленно обратите расширение Вселенной, и вы в конечном итоге окажетесь в исходной точке, в своего рода событии рождения. Почти сразу же несколько теоретиков высказали предположение о некоем взрыве пространства и времени, явлении, которое впоследствии получило название (поначалу уничижительное) «Большой взрыв». Эта идея казалась фантастической, и в течение нескольких десятилетий в отсутствие эмпирических доказательств большинство астрономов могли позволить себе игнорировать ее. Положение дел изменилось в 1965 г., когда в *Astrophysical Journal* были одновременно опубликованы две статьи. Первая, написанная четверью физиками из Принстонского университета, предсказала современную температуру Вселенной, возникшей из первичного огненного шара (*температуру «первичного огненного шара» впервые предсказал Г.А. Гамов в 1946 г. — Примеч. пер.*). Вторая, принадлежащая двум астрономам Лабораторий Белла, сообщила об измерении этой температуры (*сотрудники Лабораторий Белла, впервые измерившие температуру «первичного огненного шара», были не астрономами, а радиоинженерами и открыли этот сигнал случайно при наладке систем связи. — Примеч. пер.*).

Радиоантенна Лабораторий Белла регистрировала фоновое излучение, приходящее со всех направлений на небе. Это излучение стало известно как космический микроволновый фон, или реликтовое излучение. Полученная учеными температура в три градуса выше абсолютного нуля не совсем соответствовала предсказанию принстонской группы, но для первой попытки она была достаточно близка, чтобы можно было быстро прийти к согласию относительно интерпретации Большого взрыва. В 1970 г. ученик Хаббла Аллан Сэндидж (Allan R. Sandage) опубликовал в *Physics Today* очень важную для современной физики работу, которая фактически утвердила новую исследовательскую программу на десятилетия вперед: «Космология: поиск двух чисел» (*Cosmology: A Search for Two Numbers*). По словам Сэндиджа, одно число — это современный темп расширения Вселенной, то есть параметр Хаббла. Вторым числом был темп замедления этого расширения, названный «параметр замедления».

Ученые сосредоточились в первую очередь на втором числе. В конце 1980-х гг. две группы специалистов приступили к измерению замедления, обладая общим инструментом исследования и одним и тем же начальным предположением. Последнее состояло в том, что в расширяющейся Вселенной, полной материи, гравитационно взаимодействующей со всей остальной материей, так что все притягивает все, темп

Проблема в сердцевине космологии

Современное значение параметра Хаббла (H_0), которое определяет текущий темп расширения Вселенной, — одновременно существенное и спорное число для всей космологии. Вопреки всем ожиданиям, оценки H_0 из «ранней» Вселенной вскоре после Большого Взрыва и из «поздней» Вселенной ближе к сегодня не совпадают. Это несоответствие может либо быть результатом ошибок на каждом этапе оценок, либо отражать фундаментальные пробелы в нашем нынешнем понимании Вселенной.



Вид из ранней Вселенной

H_0 можно измерить также с помощью космического микроволнового фона — послесвечения всего неба после Большого взрыва, когда Вселенной было всего 379 тыс. лет от роду и она представляла собой пространство плотной бурлящей плазмы. Звуковые волны, отражаясь от этой плазмы, создавали области с небольшим избытком и недостатком плотности материи, которая и запечатлевалась на фоновом излучении в виде незначительных температурных колебаний. Изучая размер и другие свойства этих малых флуктуаций плотности, космологи могут использовать их как «стандартную линейку», по которой можно построить график последующего роста и эволюции Вселенной. Эти исследования в свою очередь дают оценку параметра Хаббла H_0 .

Сегодня

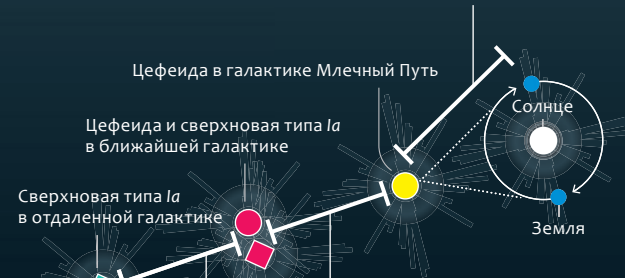


Восходя по лестнице расстояний

Вычисление расстояний до удаленных галактик гораздо сложнее, чем измерение их скоростей с помощью красного смещения. Астрономы, ищущие значение параметра Хаббла (H_0) по данным современной Вселенной, делают это, поднимаясь по так называемой космологической лестнице расстояний, в которой последовательно укладываются различные методы измерения для определения огромных расстояний. Цефеиды — переменные звезды с известной внутренней яркостью — обычно составляют первую «ступеньку» лестницы, с их помощью можно определять расстояния до ближайших галактик. Однако для более удаленных галактик требуются другие, более яркие объекты с известной внутренней яркостью — обычно это взрывающиеся звезды определенного типа, называемые сверхновыми типа Ia.

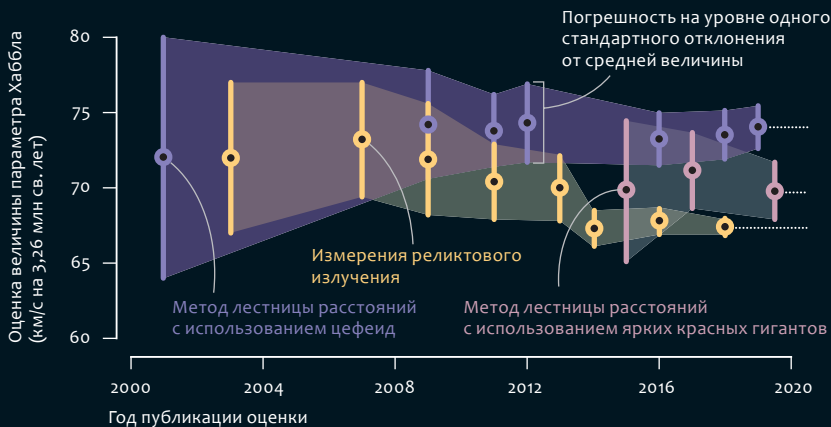
Астрономы проводят калибровку между этими двумя различными методами, используя близлежащие галактики, содержащие как цефеиды, так и сверхновые типа Ia.

Первая ступенька лестницы расстояний: близкое положение цефеиды (в Млечном Пути) вычисляется на основе триангуляции с использованием более чем одного телескопа наблюдения. Видимая яркость отмечена.



Вторая ступенька: положение цефеиды в соседней галактике определяется на основе расчетов первой ступеньки и калибруется по кажущейся яркости ближайшей сверхновой.

Третья ступенька: положение сверхновой в далекой галактике определяется на основе расчетов второй ступеньки.



Расхождение результатов

Основанное на космическом микроволновом излучении (то есть на данных ранней Вселенной) современное значение $H_0 = 67$ (км/с на 3,26 млн св. лет). Основанное на цефеидах (на данных современной Вселенной) современное значение параметра Хаббла равно 74. Новая альтернатива цефеидам — звезды, называемые красными гигантами, которые вспыхивают с известной внутренней яркостью, — только усложняет проблему несогласованности значений параметра Хаббла. Они указывали на величину H_0 около 70 — это значение, которое находится на полпути между двумя другими, без перекрытия диапазонов ошибок.

К более совершенному союзу или к новой физике

Как астрономы, так и космологи работают над повышением точности соответствующих оценок H_0 , постепенно уменьшая неопределенность и возможные ошибки в надежде, что их результаты в конечном итоге смогут совпасть. Все более крупные телескопы смотрят все глубже в космос, измеряя цефеиды все дальше от Земли, и космический проект «Планк» по регистрации микроволнового фонового излучения значительно улучшил измерения своего предшественника — космической миссии WMAP («Исследователь анизотропии микроволнового излучения им. Уилкинсона»). Однако если это расхождение сохранится, то может потребоваться серьезный пересмотр наших космологических моделей.

Возросшая со временем точность измерений параметра Хаббла

Метод лестницы расстояний: в значительной степени зависит от увеличения числа дискретных измерений

Лучшая оценка H_0

Погрешность

Расстояние

Метод реликтового излучения: серьезно зависит от увеличения точности измерений

Телескоп WMAP

Телескоп «Планк»

расширения пространства должен снижаться. Что касается общего инструмента, то в его роли выступили сверхновые типа Ia — взрывающиеся звезды, которые, как полагали астрономы, могли служить «стандартными свечами», то есть источниками света, которые не изменяются от одного экземпляра к другому и яркость которых говорит об их относительном расстоянии. (Так, 60-ваттная лампочка будет казаться все более тусклой по мере удаления от нее, но если вы знаете, что это именно 60-ваттная лампочка, вы можете сделать вывод о расстоянии до нее.) Астрономы предположили, что если расширение замедляется, то на некотором большом расстоянии от Земли сверхновая окажется ближе и, следовательно, ярче, чем если бы Вселенная росла с постоянной скоростью.

Никто не предполагает, что вся Стандартная космологическая модель неверна, однако что-то явно неверно

Обе научные группы независимо друг от друга обнаружили, что самые отдаленные сверхновые оказались более тусклыми, чем ожидалось, и, следовательно, находились дальше. В 1998 г. ученые объявили о своем выводе: расширение Вселенной не замедляется. Оно ускоряется. Причина этого ускорения стала известна как «темная энергия». Этот термин призван условно именовать некое наполнение Вселенной, пока не выяснится, что же это такое на самом деле.

Вскоре было получено значение и первого числа Сэндидажа — параметра Хаббла. В течение нескольких десятилетий это число было предметом споров среди астрономов. Сам Сэндидаж утверждал, что H_0 будет составлять около 50 (размерность этой величины — скорость расширения, выраженная в километрах в секунду на 3,26 млн св. лет). Исходя из этого значения возраст Вселенной составит около 20 млрд лет. Другие астрономы отдавали предпочтение H_0 , близкому к 100, что соответствует возрасту примерно в 10 млрд лет. Такое разногласие оказалось крайне неловким, ведь даже совершенно новая наука должна быть в состоянии ограничивать свое фундаментальное число с приемлемой точностью. Здесь же это число менялось в два раза.

В 2001 г. в результате работы Космического телескопа «Хаббл» (программа «Ключевой проект») было получено надежное измерение параметра Хаббла. В данном случае роль стандартных свечей

выполняли цефеиды — переменные звезды, которые светятся и тускнеют с регулярностью, соответствующей их абсолютной светимости (так сказать, «60-ваттности»). Полученные «Ключевым проектом» данные в конечном итоге существенно разграничили два более ранних значениями, дав $H_0 = 72 \pm 8$.

Следующий чисто астрономический поиск величины параметра Хаббла был осуществлен научной группой SHOES (название представляет собой аббревиатуру слов «сверхновые», H_0 , «уравнение состояния темной энергии»), возглавляемой Адамом Риссом (Adam G. Riess), который в 2011 г. разделил Нобелевскую премию по физике за свою роль в открытии ускорения в 1998 г. На этот раз стандартными свечами послужили как цефеиды, так и сверхновые типа Ia, причем список последних включал в себя некоторые самые отдаленные сверхновые из когда-либо наблюдавшихся. Первоначальный результат, полученный в 2005 г., дал величину параметра Хаббла $H_0 = 73 \pm 4$, почти идентичную предыдущему результату «Ключевого проекта» телескопа «Хаббл», но с меньшей погрешностью. С тех пор SHOES предоставляет регулярные обновления, все они попадают в один и тот же диапазон постоянно сужающейся ошибки. Самое последнее, полученное в 2019 г., дало $H_0 = 74,03 \pm 1,42$.

Все вышеуказанные определения H_0 связаны с традиционным подходом в астрономии: начиная здесь и сейчас, то есть в той области, которую космологи называют поздней Вселенной, и всматриваясь все дальше и дальше в пространство, то есть (потому что скорость света конечна) все более назад во времени, насколько они могут видеть. Однако в последние два десятилетия исследователи начали использовать также противоположный подход. Они начинают с точки настолько далекой, насколько могут видеть, и продвигаются вперед по времени, к настоящему моменту. Эта точка — занавес между тем, что мы можем и не можем видеть (*оптическими инструментами.* — *Примеч. пер.*), между «ранней» и «поздней» Вселенной — это и есть то микроволновое излучение, которое впервые зарегистрировали сотрудники Лабораторий Белла в 1960-х гг.

Космический микроволновый фон — это самое первое, реликтовое излучение того периода, когда Вселенная в молодом возрасте 379 тыс. лет достаточно остыла, чтобы образовались атомы водорода, рассеивая плотный туман свободных протонов и электронов и оставляя достаточно места для прохождения фотонов через Вселенную. Хотя первая регистрация реликтового излучения в Лабораториях Белла показала его однородным и изотропным, теоретики предполагали, что при более высоком разрешении микроволновое фоновое излучение будет обнаруживать колебания

температуры, отражающие наличие в ранней Вселенной малых флуктуаций плотности. Последние эволюционируют, порождая крупномасштабную структуру Вселенной, какой мы ее знаем, — галактики, скопления и сверхскопления галактик.

В 1992 г. космический аппарат *COBE* впервые обнаружил сигнал анизотропии (неоднородности) реликтового излучения (*первым анизотропию реликтового излучения обнаружил в 1992 г. советский космический эксперимент «Реликт».* — *Примеч. пер.*); в 2003 г. космический эксперимент следующего поколения, *WMAP*, обеспечил гораздо более высокое разрешение сигнала — достаточно высокое, чтобы физики смогли определить размер первичных звуковых волн, создаваемых первичной материей. Как можно было бы ожидать от звуковых волн, которые двигались почти со скоростью света в течение 379 тыс. лет, «пятна» на радиокартах космического микроволнового фона имеют общий радиус около 379 тыс. св. лет. Поскольку эти пятна выросли во Вселенной, которую мы изучаем сегодня, космологи могут использовать их начальный размер в качестве «стандартной линейки», с помощью которой можно измерить рост и расширение крупномасштабной структуры до наших дней. Эти измерения, в свою очередь, показывают скорость расширения — параметр Хаббла.

Первое измерение H_0 , полученные *WMAP* в 2003 г., составило 72 ± 5 . Идеально. Это число точно соответствовало результату предыдущих измерений «Ключевого проекта» телескопа «Хаббл» с дополнительным преимуществом более узкого диапазона ошибок. Дальнейшие результаты *WMAP* были несколько ниже: 73 в 2007 г., 72 в 2009 г., 70 в 2011 г. Однако это не стало проблемой, потому что погрешность измерений *SHOES* и *WMAP* все еще перекрывается в диапазоне от 72 до 73.

Однако к 2013 г. эти две области значений почти не пересекались. Самый последний результат *SHOES* показал параметр Хаббла 74 ± 2 , а окончательный результат *WMAP* — 70 ± 2 . Но даже в этом случае не стоило волноваться. Оба метода могут быть согласованы для значения $H_0 = 72$.

Конечно же, результаты одного метода могли бы начать приближаться к результатам другого с улучшением методологии и технологии. Возможно, это должно было случиться с опубликованием первых данных Космической обсерватории «Планк», преемника *WMAP*, космического проекта Европейского космического агентства.

Результат «Планка» в 2014 г. показал: $H_0 = 67,4 \pm 1,4$. Диапазоны ошибок больше не перекрывались — даже не приближались. И последующие данные, полученные «Планком», оказались столь же непреклонными, как и у *SHOES*: согласно данным «Планка», значение параметра Хаббла осталось

на уровне 67, а допустимая погрешность сократилась до единицы; затем, в 2018 г., погрешность сократилась до доли единицы.

«Несовпадение» — это своего рода научный термин, возникший для такой ситуации, — такой же, как и в названии конференции в Институте теоретической физики им. Кавли (*KITP*) в Санта-Барбаре, штат Калифорния, состоявшейся прошлым летом: «Несовпадение между ранней и поздней Вселенной». Первым докладчиком на этой конференции был Рисс, и в конце своего выступления он обратился к другому нобелевскому лауреату в аудитории, Дэвиду Гроссу (*David Gross*), специалисту по элементарным частицам и бывшему директору *KITP*. Рисс спросил Гросса, как он думает: есть ли у нас «несовпадение» или у нас есть «проблема»?

В ответ Гросс предостерег, что такие различия «произвольны». Однако заметил, что сложившуюся ситуацию действительно можно охарактеризовать как «проблему». Двадцать минут спустя, когда завершились вопросы и ответы, Гросс изменил свою позицию. По его словам, в физике элементарных частиц «мы бы не назвали это несопадением или проблемой, а скорее именовали бы кризисом».

Рисс ответил: «Ладно. Тогда мы все в кризисе».

В отличие от термина «несовпадение», которое следует понять и разрешить, а также от термина «проблема», которой также необходимо решение, кризис требует чего-то большего — полного переосмысления. Но переосмысления чего? Исследователи параметра Хаббла видят три возможности.

Во-первых, что-то не так в исследованиях поздней Вселенной. Космологическая «лестница расстояний», простирающаяся все дальше и дальше по Вселенной, прочна лишь настолько, насколько прочны ее «ступени» — «стандартные свечи». Как и в любом научном наблюдении, в получаемых уравнениях всегда присутствуют систематические ошибки.

Эта возможность взбудоражила конференцию *KITP*. Группа ученых, возглавляемая Венди Фридман (*Wendy L. Freedman*), астрофизиком, которая в настоящее время работает в Чикагском университете и возглавляет «Ключевой проект» Космического телескопа «Хаббл», в разгар конференции сделала доклад, в котором объявлялись противоположные результаты. Ученые использовали еще один тип «стандартных свечей» — звезды, называемые красными гигантами, которые на грани исчезновения подвергаются «гелиевой вспышке», достоверно указывающей на их светимость. Фридман и ее коллеги пришли к значению, которое, как говорилось в их статье, находится на полпути в диапазоне, определяемом текущим значением параметра Хаббла: $69,8 \pm 0,8$. Этот результат не дает

никакого обнадеживающего перекрытия допустимой погрешности с результатами или *SHOES*, или «Планка».

По крайней мере некоторые из исследователей поздней Вселенной, присутствовавших на конференции, сочли сделанное заявление провокационным. У научной группы *SHOES* было мало времени перевернуть эти данные (что ученые попытались сделать за ужином в тот вечер), в кулуарных разговорах придумывая уже самостоятельно, как реагировать.

Однако всего через три недели научная группа *SHOES* опубликовала ответную статью. Авторы дипломатично начали с того, что метод, который использовала команда Фридман, — «многообещающая стандартная свеча для измерения внега-

Если источник несогласованности величины параметра Хаббла не находится ни в наблюдениях поздней Вселенной, ни в наблюдениях ранней Вселенной, то у космологов нет иного выбора, кроме как следовать третьему варианту: «новая физика»

лактических расстояний». А затем принялись выявлять все систематические ошибки, которые, по их мнению, повлияли на результаты. Предпочитаемая Риссом и его коллегами интерпретация данных по красным гигантам восстановила параметр Хаббла до значения, значительно превышающего его предыдущее значение, $72,4 \pm 1,9$. Фридман категорически не согласилась с такой интерпретацией.

По ее словам, это совершенно неверно. Фридман считает, что «они неправильно поняли этот метод, хотя мы объясняли им его на нескольких встречах».

(В начале октября 2019 г., на еще одной напряженной встрече, где мнения участников оказались «несовпадающими», спор принял личный оборот, когда Барри Мадор (Barry Madore), супруг Фридман и один из сотрудников, показал слайд, на котором была изображена голова Рисса на гильотине. Образ был частью научной метафоры рубящего блока, и Мадор позже сказал, что это была шутка. Но в зале был и сам Рисс; достаточно сказать, что

следующий перерыв на кофе включал в себя по настоянию многих присутствующих обсуждение кодекса профессионального поведения.)

Такие склоки не могут не заставить специалистов по физике частиц понять, что проблема заключается в самих астрономах и ошибках, связанных с методом «лестницы» расстояний. Но наблюдения микроволнового излучения и космологическая линейка с необходимостью должны обладать собственным потенциалом для учета систематических ошибок, верно? В принципе, да. Но мало кто из астрономов (если такие вообще есть) считает, что проблема заключается в «Планке», который, по мнению физиков, достиг порога точности космических наблюдений реликтового излучения. Другими словами, измерения микроволнового излучения с помощью космической миссии «Планк», вероятно, настолько хороши, насколько вообще возможно. По словам сотрудника Техасского аграрно-технического университета астронома Николаса Сунцеффа (Nicholas Suntzeff), «эти данные впечатляют». Ученый сотрудничал как с Фридман, так и с Риссом, хотя и не по поводу исследования параметра Хаббла. По его словам, «независимые наблюдения» космического микроволнового фона как на Южном полярном телескопе, так и на Атакамской большой антенной решетке миллиметрового диапазона «показывают, что нет никаких ошибок».

Если источник «несовпадения», несогласованности полученных значений параметра Хаббла скрыт не в наблюдениях как поздней, так и ранней Вселенной, то у космологов нет иного выбора, кроме как следовать третьему варианту: «новая физика».

Вот уже почти столетие ученые говорят о новых физических силах или явлениях, которые выходят за рамки нынешних знаний о Вселенной. Через десять лет после того, как Альберт Эйнштейн в 1915 г. представил свою общую теорию относительности, появление квантовой механики поставило под угрозу ее полноту. Вселенная, оперирующая огромными объектами и пространствами (та, что действует в соответствии с правилами общей теории относительности) оказалась математически несовместимой с Вселенной, описывающей очень малые объекты и масштабы (той, что действует по правилам квантовой механики).

Какое-то время физики могли не обращать внимания на эту проблему, поскольку эти две сферы не пересекались на практическом уровне. Но затем произошло открытие космического микроволнового фона, подтвердившее идею о том, что Вселенная очень больших размеров на самом деле возникла из Вселенной размеров очень малых. Оказалось, что составляющие крупномасштабную структуру

галактики и скопления галактик, которые мы изучаем с помощью общей теории относительности, выросли из квантовых флуктуаций.

Несогласованность полученных разными группами значений параметра Хаббла, возможно, возникает непосредственно из попытки сопоставить эти два типа физики. Квантовые флуктуации в микроволновом излучении предсказывают, что Вселенная достигнет современного состояния с одним значением параметра Хаббла, тогда как общие релятивистские наблюдения, проводимые сегодня, обнаруживают другое значение. Рисс сравнивает это несоответствие с ростом человека. Он приводит следующую аналогию. Представьте, что «у вас есть ребенок и вы можете очень точно измерить его рост, когда ему исполнится два года. Таким образом, вы можете использовать свое понимание того, как люди растут, подобно диаграмме роста, чтобы предсказать их окончательный рост в зрелом возрасте». В идеале предсказание и измерение совпадут. По словам Рисса, «в нашем случае совпадения не произошло, у нас нет диаграммы роста для предсказания того, как обычно растут вселенные».

Таким образом, космологи ввели в рассмотрение радикальную, хотя и не совсем неприемлемую, возможность того, что космологическая Стандартная модель не так полна, как они предполагали.

Один из возможных факторов, влияющий на наше понимание роста Вселенной, — неопределенность в отношении подсчета количества вещества Вселенной. Многие ученые хорошо помнят еще одно совсем недавнее расхождение между наблюдением и теорией — это так называемая проблема солнечных нейтрино, десятилетний спор об электронных нейтрино, приходящих к нам от Солнца. Теоретики предсказывали одну величину, а детекторы нейтрино давали другую. Физики подозревали систематические ошибки в наблюдениях. Астрономы усомнились в полноте этой теории. Как и в случае с современной несогласованностью параметра Хаббла, ни одна из сторон не сдвинулась с места до конца тысячелетия, когда исследователи неожиданно обнаружили, что нейтрино обладают массой. И тогда теоретики соответствующим образом скорректировали Стандартную модель физики элементарных частиц. Подобная корректировка сейчас — например, введение новой разновидности нейтрино в ранней Вселенной — может изменить распределение массы и энергии ровно настолько, чтобы объяснить различия в измерениях параметра Хаббла.

Другое возможное объяснение заключается в том, что влияние темной энергии изменяется с течением времени, — это разумная альтернатива, если учитывать то, что космологи не знают, как работает темная энергия, не говоря уже о том, что это такое.

По словам Сунцеффа, «где-то нужна небольшая коррекция, чтобы привести цифры в соответствие; это новая физика, и именно это волнует космологов — брешь в Стандартной модели, новое поле деятельности».

Все знают, что нужно делать дальше. Наблюдатели будут ждать данных от космического телескопа *Gaia*, обсерватории *EKA*, которая обещает в ближайшие годы беспрецедентную точность в измерении расстояний до более чем миллиарда звезд в нашей Галактике. Если эти измерения не совпадут со значениями, которые астрономы использовали в качестве первой ступеньки лестницы расстояний, то, возможно, проблема все-таки будет заключаться в систематических ошибках. Теоретики тем временем будут продолжать выдумывать альтернативные интерпретации Вселенной. Однако до сих пор они не нашли ни одной теории, которая выдержала бы критику научного сообщества. И где-то там в еще не найденной теории «несоответствие» — или «проблема», или «кризис» — и должно будет пока пребывать, в этой квазиненаучной Вселенной, укрывающей величину параметра Хаббла 67, что опровергает наблюдаемую величину 74.

Стандартная космологическая модель остается одним из величайших научных триумфов эпохи. За полвека космология превратилась из спекуляции в (почти) достоверность. Это может быть и не так, несмотря на то что некоторые космологи считали ее завершенной еще год назад. Космология служит хрестоматийным примером того, как в идеале должна работать любая наука: она поднимает вопросы, дает ответы и намекает на тайну. ■

Перевод: О.С. Сажина

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Ливини М., Рисс А. Ребус темной энергии // ВМН, № 5–6, 2016.
- Planck 2018 Results. VI. Cosmological Parameters. Planck Collaboration. Препринт опубликован 17.07.2018, см. по адресу: <https://arxiv.org/abs/1807.06209>
- Large Magellanic Cloud Cepheid Standards Provide a 1% Foundation for the Determination of the Hubble Constant and Stronger Evidence for Physics Beyond LambdaCDM. Adam G. Riess et al. Препринт опубликован 18.03.2018, см. по адресу: <https://arxiv.org/abs/1903.07603>
- The Carnegie–Chicago Hubble Program. VIII. An Independent Determination of the Hubble Constant Based on the Tip of the Red Giant Branch. Wendy L. Freedman et al. in *Astrophysical Journal*, Vol. 882, No. 1, Article No. 34; September 2019.

ЯДЕРНАЯ МЕДИЦИНА

ТАМ, ЗА ГОРИЗОНТОМ

Первые исследования воздействия ионизирующего излучения на живые организмы в нашей стране были проведены еще в 1950-е гг. по инициативе И.В. Курчатова в специально созданном для этого радиобиологическом отделе. Сегодня в НИЦ «Курчатовский институт» сформирована уникальная инфраструктура, охватывающая практически все направления ядерной медицины, производство радиоизотопов и радиофармпрепаратов, диагностику и лучевую терапию.





Кандидат химических наук Р.А. Алиев

Ядерно-физические методы диагностики позволяют отслеживать движение короткоживущих радиоактивных изотопов в ходе метаболизма, усвоения определенных субстанций организмом на тончайшем клеточном уровне. Помимо диагностики ядерная медицина открывает новые эффективные методы лучевой терапии, основанные на адресной доставке к больному органу контейнера с радиоактивным изотопом или облучении пучком частиц.

Однако остаются и проблемы, связанные с лучевой нагрузкой, которая может быть опасна не только для пациента, но и для окружающих. Как их решить? Станет ли ядерная медицина альтернативой нынешних методов терапии и диагностики? Удастся ли победить рак? Об этом — наш разговор с **Рамизом Автандиловичем Алиевым**, начальником лаборатории радионуклидов и радиофармпрепаратов Курчатовского комплекса НБИКС-природоподобных технологий, кандидатом химических наук.

— В своей лаборатории вы проводите не только фундаментальные, но и прикладные исследования. Мало того, у вас даже ведется прием пациентов. Это так?

— Прием пациентов, конечно, ведется не в нашей лаборатории. Мы занимаемся исследованиями, а вот пациентов принимают наши коллеги-врачи на другом этаже. По сути, это настоящее медицинское учреждение со всеми необходимыми лицензиями.

— Чем же конкретно вы занимаетесь?

— Наша лаборатория радионуклидов и радиофармпрепаратов — небольшая и состоит в основном из молодых ученых. Мы разрабатываем методы получения новых радионуклидов, которые перспективны для ядерной медицины. Речь идет о применении тех или

иных радиоактивных препаратов для диагностики и терапии. Для того чтобы все это реализовать, нам нужны радиоактивные изотопы. От свойств радионуклидов (как основной части радиофармпрепарата) во многом зависит, для чего препараты будут применяться — для диагностики или лечения. Хотя и то и другое может быть очень разным.

— Но речь идет именно об онкологии?

— Ядерно-физические методы — «золотой стандарт» в диагностике и лечении онкологических, кардиологических и других заболеваний. Но в первую очередь это борьба с раком. Онкология — это множество разновидностей заболеваний, которые могут протекать неодинаково у разных людей.

— **Врачи говорят, что нет двух одинаковых раков.**

— Да, это правда. Поэтому для того, чтобы бороться с раком, нужны подходы во многом персонализированные. Соответственно, и радионуклиды тоже нужны с разными периодами полураспада, разными химическими свойствами, типами и энергией частиц, которые они испускают. У нас в Курчатовском институте есть целый ряд установок, которые могут быть использованы в том числе и для производства радионуклидов. Даже циклотрон, который работает, если не ошибаюсь, с 1947 г.

— **Но он работает хорошо?**

— Отлично работает. Конечно, он был модернизирован, это уже не та машина, которую в свое время проектировал И.В. Курчатов. Тем не менее она надежно работает много лет, в том числе и на медицину. У нас команда циклотрона раз в неделю производит, например, йод-123, который после определенной переработки на расположенном неподалеку заводе «Медрадиопрепарат» идет в клиники города. Потребность в этом изотопе в регионе закрывает именно Курчатовский институт. А наша задача — заниматься исследованиями: искать новые изотопы, новые методы их получения, изучать их. Мы смотрим за горизонт, стараемся опережать нынешние знания и надеемся, что часть из того, чем мы сейчас занимаемся, станет востребованной завтра.

— **Вы сказали, что по йоду-123 мы закрываем потребности здравоохранения. А по каким-то другим препаратам есть дефицит?**

— Я бы не сказал, что у нас в стране большой дефицит по радиоактивным изотопам. Наша история как раз обратная: на экспорт идет довольно много радиоактивных изотопов. Ядерный комплекс у нас в стране

всегда был передовым, хотя с ядерной медициной в разные годы бывало по-разному. В 2008 г. инициативная группа именно Курчатовского института обосновала перед руководством страны необходимость экстренного возрождения ядерной медицины в России. Тема тогда получила широкий общественный резонанс, и благодаря М.В. Ковальчуку и Е.П. Велихову дело сдвинулось с мертвой точки. Сейчас, насколько я знаю, и для внутренних потребностей у нас налажено производство наиболее распространенных изотопов, таких как технеций, йод-123 или йод-131, различных короткоживущих изотопов — например, фтора-18, который применяется для позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ-КТ). Основной препарат здесь — фтордезоксиглюкоза, меченная фтором-18. Это широко распространенный препарат, похожий на глюкозу. У него часть этапов метаболизма — как у глюкозы, но в какой-то момент он идет своим путем, что позволяет ему накапливаться в тех клетках, где метаболизм быстрее, в частности в раковых. Это очень распространенная сегодня диагностическая процедура, надежная и относительно безопасная. За что мы вообще любим ядерную медицину и конкретно ПЭТ-КТ? Это функциональный метод. Он показывает не анатомию, а физиологию. Анатомически злокачественная и доброкачественная опухоль могут выглядеть одинаково. В рентгеновском диапазоне мы их внешне различить не можем. А вот используя молекулярную визуализацию, то есть процессы взаимодействия на молекулярном уровне, мы очень четко видим, что они различаются. Мы видим, как функционируют та или иная ткань или орган. Поэтому метод считается высокоточным. Это не значит, конечно, что его надо

Одним из первых шагов И.В. Курчатова в атомном проекте было создание циклотрона для получения плутония. Было принято решение построить небольшой ускоритель с диаметром полюсов 73 см и весом магнита 25 т, с расчетной энергией дейтронов 4 МэВ. Руководил созданием циклотрона Л.М. Неменов. В 1944 г. из Ленинграда был перевезен высокочастотный генератор от недостроенного до войны циклотрона Ленинградского физико-технического института. Электромагнит был изготовлен на трансформаторном заводе в Краматорске. 25 сентября 1944 г. в Лаборатории № 2 (сейчас НИЦ

«Курчатовский институт») впервые в СССР из циклотрона был выведен наружу поток дейтронов.

После запуска циклотрона работа на нем была полностью посвящена облучению урановых образцов с целью получения плутония. Опыты шли круглосуточно до декабря 1945 г. В 1945 г. в Лаборатории № 2 на циклотроне впервые в СССР были получены индикаторные количества не существующего в природе элемента № 94 — плутония — и начато изучение его свойств. Циклотрон располагался на первом этаже главного здания Курчатовского института в помещении, которое теперь занимает Музей Курчатовского института.

использовать как массовый скрининг. Он используется только по показаниям.

— **Хочется услышать о ваших уникальных разработках или, может быть, идеях таких разработок.**

— Например, мы сейчас пытаемся разрабатывать методы получения достаточно редких изотопов для медицины. Последняя наша работа была по тербию-149. Это очень интересный, на мой взгляд, изотоп: у него много разных видов частиц испускается при распаде. Он интересен в частности тем, что это альфа-излучатель. А альфа-частицы мы все предпочитаем для применения в медицине. Если, скажем, сравнить альфа-частицу с бета-частицей, то есть с электроном, — это как шар для боулинга и шар для пинг-понга. Разница заметная. Так вот, эта большая и тяжелая альфа-частица — очень мощный поражающий фактор, который на коротких расстояниях убивает раковые клетки.

— **Но ведь не только раковые...**

— Да, не только раковые. Но тут уже вопрос правильной адресной доставки. И тербий испускает необходимые нам альфа-частицы. Существует не так много радиоизотопов, которые могут это делать, и при этом имеют подходящий период полураспада и нужные химические свойства. К тому же там есть еще несколько видов распада. В частности, испускание позитронов, когда на выходе мы имеем гамма-кванты. А это значит, что его можно использовать еще и для визуализации в виде композиций с другими изотопами тербия, которые могут быть применены как диагностические препараты. Это многофункциональная вещь, очень перспективная для медицины.

— **Знаю, вы много сотрудничаете с физиками из Дубны.**

— Да, коллеги из Дубны принимали участие в этой работе. У них есть технологии изготовления тонких мишеней, которые используются для получения новых сверхтяжелых химических элементов. Мы видим, как технологии, которые были придуманы для фундаментальных целей, сегодня все чаще находят применение в медицинской практике. Тут важна та ядерная физическая основа, на которой зиждется все остальное. Конечно, нужна дальнейшая клиническая проверка, но уже ясно, что это очень эффективный изотоп. Организация, которая продвинулась дальше всего в этой области, — это *CERN* в Европе. Мы тоже включились в эту тему, и наш метод здесь имеет определенные преимущества перед тем, что делают западные коллеги.

— **Чем же он отличается?**

— Он принципиально иной. У них используются протоны очень высоких энергий порядка гигаэлектронвольта, когда облучают массивную мишень, которая дальше разогревается до высоких температур, и в результате оттуда вылетают продукты ядерных реакций, дальше поступающие в масс-сепаратор. Таким образом можно выделить прицельно 149-ю массу. А мы идем другим путем, используя реакции под действием гелия-3 на нашем ускорителе, а в перспективе думаем использовать реакции с альфа-частицами. Отличие нашего метода в том, что мы можем наработать гораздо больше. Хотя они получают гораздо чище. Тут есть свои плюсы и минусы. Отличие еще и в том, что наш ускоритель значительно проще, чем установка в *CERN*.

— **Это хорошо?**

— Это хорошо, потому что метод должен быть масштабируемым. Ведь исторически все развивалось именно так: возникала интересная идея, под которую начинали строить десятки, иногда сотни циклотронов. Относительно того же фтора-18 было очень много скептиков, которые считали, что это утопия: нельзя в каждую клинику поставить циклотрон, сделал сложные соединения с изотопом, у которого период полураспада — два часа. А теперь это рутинная и таких ускорителей, как и аппаратов ПЭТ-КТ, — уже несколько сотен, и клиник, в которых они установлены, множество.

— **Ученые всего мира тратят огромные усилия на разработку новых методов борьбы с раком, но победить его пока не могут, потому что нет понимания природы процессов, которые происходят в опухолевой клетке. Нужны какие-то принципиально новые подходы?**

— Насколько я понимаю, здесь проблемы в основном генетические, в первую очередь мутации, которые приводят к неконтролируемому росту опухолевых клеток. Если из этого исходить, то логично искать методы генетического характера. И сейчас в это вкладываются огромные средства, в том числе и в России. Создаются новые комплексы — в частности, в нашем институте, — которые занимаются генетическими исследованиями. Сейчас наблюдается экспоненциальный рост в этой сфере, потому что здесь сходятся все — и новые методы, и новые суперкомпьютеры, и технологии. Всего этого не было еще пять или десять лет назад. Это не значит, что классические

методы типа химиотерапии или хирургии уйдут в прошлое. Они, конечно, тоже останутся, по крайней мере еще долго. Но я думаю, что должен произойти качественный переход на молекулярно-генетический уровень. Сегодня в целом рак перестает быть смертным приговором. Многие его виды успешно лечатся.

— К сожалению, многие препараты, которыми лечат рак, оказались кардиотоксичными, и очень часто осложнениями такой терапии становятся инфаркты и инсульты. Пациента лечат от рака, а умирает он от лечения.

— Да, любой способ лечения таких болезней, как рак, довольно тяжелый. И химиотерапия, и радиотерапия наносят вред организму. Здесь в каждом конкретном случае решает лечащий врач, который оценивает, от чего риски больше. Должен быть найден некий баланс. Существуют определенные протоколы, по которым проводятся все эти процедуры. В целом это безопасно, ведь ядерно-медицинские методы диагностики не дают серьезных лучевых нагрузок на организм. Причем дозы пациенты получают не за счет введения радиофармпрепарата, а за счет компьютерной томографии, которая делается одновременно.

— Но, скажем, скintiграфия, или сканирование, костей скелета с введением препарата технеция-99 требует изоляции такого пациента на двое-трое суток, потому что он излучает и опасен для окружающих.

— Думаю, это чрезмерные меры предосторожности. У технеция-99 период полураспада — шесть часов, и уже через несколько периодов его активность небольшая и излучение мягкое. Технеций в этом смысле — хороший выбор. Хотя, конечно, все, что рекомендуют врачи, надо обязательно соблюдать. Кстати, поначалу к нему тоже было скептическое отношение, но сейчас 90% процедур в ядерной медицине — это технеций. А есть более жесткие вещи — тот же йод-131. Сейчас это терапевтический препарат. Там жесткое гамма-излучение, восемь дней период полураспада и большие дозировки при терапии. Человека надо изолировать. Для этого используются так называемые горячие койки.

— Это ведь целая проблема.

— Конечно, потому что нужны специально оборудованные палаты в больницах. В Москве такие существуют. Там обеспечен полный цикл со сбором всех отходов жизнедеятельности и выдержкой до окончания

распада. Но не везде такое возможно. Поэтому проблема, конечно, существует.

— Рамиз Автандилович, разрабатывая новые радиофармпрепараты, вы же наверняка думаете и об их максимальной безопасности?

— Конечно. Существует множество разных подходов, чтобы сделать их применение более безопасным. Например, пытаются манипулировать со скоростью выведения препарата из организма, с молекулярной массой, чтобы препарат быстрее вводился, фармакокинетикой, гидрофобностью молекул и т.д. Есть разные способы сделать подход более щадящим. Думаю, это направление тоже будет интенсивно развиваться.

— Насколько я поняла, исследования, которыми вы занимаетесь, невозможны вне стен Курчатовского института. Это правда?

— Да, потому что здесь создан уникальный научный центр, в котором есть необходимые ускорительные установки. А сейчас у нас вводятся в строй новые комплексы с самым современным оснащением. Вместе с надежными установками предыдущего поколения они составят отличный фундаментальный и практический задел. Я вообще считаю глубоко символическим то, что наши «старички» продолжают работать на благо человечества. Когда создавалась первая советская атомная бомба, еще было не вполне понятно, как нарабатывать для нее ядерную начинку. Один из заместителей И.В. Курчатова И.К. Кикоин предложил диффузионный метод разделения изотопов урана. Кто бы мог тогда подумать, что это не только значительно ускорит создание в нашей стране ядерного оружия, но и станет основой такого важнейшего направления современной диагностики и терапии, как ядерная медицина, которая спасла многие жизни?!

— Как вы считаете, человечеству удастся победить рак?

— Да, конечно, удастся. Но мы побеждаем одно — возникает другое. Мы сейчас все это прекрасно видим на примере новой коронавирусной инфекции. Мы живем в постоянно меняющемся мире. Мутируют, эволюционируют, исчезают и появляются новые организмы — и большие, и малые. И этот процесс будет продолжаться всегда, и мы будем искать ответы на новые вызовы. Собственно, в этом и есть одна из важнейших целей занятий наукой. ■

Беседовала Наталия Лескова


КАРДИООНКОЛОГИЯ

Пациент между двух огней



Символическая лента, сложенная в петлю, используется для демонстрации отношения владельца ленты к какой-либо проблеме.

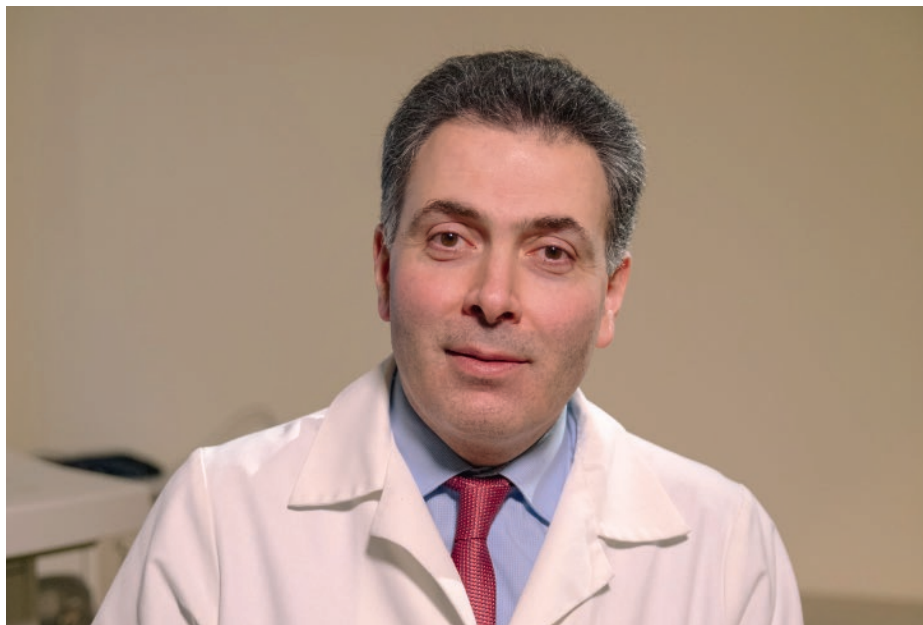
Лавандовая лента символизирует проблему рака всех видов



О новой дисциплине кардиоонкологии, пациентах-беспризорниках, врачебной этике и отношениях между онкологами и кардиологами — наша беседа с руководителем отдела информационных технологий в биомедицине Медицинского научно-образовательного центра МГУ им. М.В. Ломоносова членом-корреспондентом РАН **Симоном Теймуразовичем Мацкеплишвили.**

Красная лента символизирует проблему сердечно-сосудистых заболеваний





Член-корреспондент РАН
С.Т. Мацкеплишвили

— Симон Теймуразович, на последнем общем собрании профессоров РАН вы выступили с интересным докладом о новой дисциплине — кардиоонкологии. Что собой представляет эта дисциплина и почему она стала активно развиваться?

— Начну издалека. Революционные достижения в кардиологии коренным образом изменили наши подходы к профилактике сердечно-сосудистых заболеваний, предоставили возможность выявлять их на самых ранних стадиях, не говоря о совершенно немыслимых еще совсем недавно способах лечения. Беспрецедентное снижение заболеваемости и смертности от болезней системы кровообращения стало основной причиной значительного увеличения продолжительности жизни людей. Но это, в свою очередь, породило новые вызовы и поставило перед нами новые задачи — медицинские, социальные, экономические. Например, известно, что чем дольше человек живет, тем больше вероятность возникновения у него онкологических заболеваний. К сожалению, возраст и рак неразрывно связаны, даже есть такая легкая циничная поговорка: если человек умер не от рака, значит, он просто до него не дожил. Иначе говоря, в силу биологических причин невозможно одновременно увеличивать продолжительность жизни и добиться снижения заболеваемости раком.

Безусловно, прогресс в медицинской науке не обошел стороной и онкологию — мы стали свидетелями прорывных достижений в химиотерапии и хирургии опухолей, при

нас в клиническую практику ворвались совсем недавно разработанные способы таргетной терапии, призванные максимально избирательно воздействовать на опухолевые клетки, щадя здоровые. Величайшим открытием стала иммунотерапия рака, основанная на активации иммунной системы человека в целом либо направленная против специфических раковых антигенов, что позволяет ей прецизионно распознавать злокачественные клетки и уничтожать их. Но оказалось, что когда мы значительно увеличиваем активность иммунного ответа, она может начать работать «против себя», приводя к аутоиммунным осложнениям за счет повреждения здоровых тканей.

Нельзя не упомянуть радиотерапию — это лучевая, радиоизотопная, протонная, адронная, бор-нейтрон-захватная технологии, многие из которых можно использовать в особых случаях, например при лечении рака головного и спинного мозга, опухолей глаза, онкологии у маленьких детей и т.д.

Параллельно появлению прогрессивных подходов к лечению онкологических заболеваний стало ясно, что многие методы лечения рака крайне негативно воздействуют на сердечно-сосудистую систему. Более того, сегодня известно, что примерно половина смертей у онкологических пациентов — следствие не собственно злокачественного процесса, а так называемой кардиотоксичности противоопухолевого лечения: повреждения сердца или сосудов в результате воздействия какого-то из типов терапии.

Этот факт послужил причиной возникновения новой дисциплины — кардиоонкологии. И речь не о специальности, которая, по аналогии с нейроонкологией или онкогинекологией, направлена на лечение рака сердца. Речь о дисциплине, которая занимается выявлением патологии сердечно-сосудистой системы и направлена на ее предотвращение и лечение у пациентов с уже установленным диагнозом онкологического заболевания, а также у тех пациентов, которые перенесли рак. Например, сегодня только в США около 15 млн человек либо вылечились от рака, либо продолжают лечение, по сути переводящее это когда-то смертельное заболевание в хроническую форму. Но зачастую эти же самые пациенты попадают на прием к кардиологам, которые не всегда понимают, как и от чего их лечить. Эта проблема не менее актуальна и в нашей стране.

Более того, существует довольно много онкологических больных, имеющих какой-либо сопутствующий кардиологический диагноз: ишемическую болезнь сердца или перенесенный инфаркт миокарда, нарушение ритма и проводимости сердца, патологию сердечных клапанов, высокое артериальное давление. Поэтому несложно представить ситуацию, когда к онкологу обращается пациент с раком желудка, в истории болезни которого упоминается перенесенный инфаркт миокарда. Естественно, врач может предположить, что пациент не перенесет операцию, а если и выживет, то со значительными осложнениями. Поэтому онколог направляет пациента на консультацию к кардиологу в надежде, что тот даст свои рекомендации для благополучного исхода вмешательства. Кардиолог же, обладая возможностью помочь подобному пациенту в другой ситуации, видит основной диагноз — рак желудка с метастазами — и часто отказывается лечить такого пациента или давать онкологу разрешение на серьезное хирургическое вмешательство, он просто не хочет брать ответственность за его исход. В итоге пациент ходит от одного врача к другому в поиске выхода, как ему объясняют, из крайне непростой ситуации. Но время идет, а онкологическое заболевание не ждет, активно развивается, прорастая в окружающие ткани или метастазируя. И нередко процесс принятия решения настолько затягивается, что онколог уже не способен оперировать больного или назначать химиотерапию. Такая же проблема может возникнуть и при выборе способа

таргетной или лучевой терапии. В нашей стране сотни тысяч таких пациентов, и помощь им нужна уже сегодня.

Кардиоонкология, как и вся современная медицина, — наука университетская, академическая. Мы активно развиваем это направление в Московском государственном университете, и у меня большие надежды на то, что им активно заинтересуется Российская академия наук.

— Вы упомянули зарубежные страны. А в России есть подобные примеры?

— Есть, но крайне мало. Важно отметить, что кардиоонкология как научное направление и клиническая дисциплина начинает развиваться в нашей стране, а специалистов пока нет, не существует у нас такого врача — кардиоонколога. Как, впрочем, и в остальном мире.

Сегодня известно, что примерно половина смертей у онкологических пациентов — следствие не собственно злокачественного процесса, а так называемой кардиотоксичности противоопухолевого лечения: повреждения сердца или сосудов в результате воздействия какого-то из типов терапии

Сегодня подобные возможности есть лишь в некоторых медицинских центрах России, мы активно способствуем развитию и расширению географии кардиоонкологических консультаций, в том числе с использованием цифровой и телемедицины. Например, Медицинский центр МГУ тесно сотрудничает с Российским онкологическим научным центром им. Н.Н. Блохина в области выявления рисков осложнений перед онкологическими операциями у пациентов с уже установленным диагнозом сердечно-сосудистого заболевания.

— Расскажите об этом сотрудничестве подробнее.

— Мы работаем в области стратификации рисков хирургических вмешательств среди пациентов, имеющих сразу два диагноза — онкологический и кардиологический. В этом случае мы имеем дело не с кардиотоксичностью противоопухолевого лечения, а с определением возможности

и обеспечением безопасного проведения химиотерапии, таргетной терапии или хирургического лечения. Работа началась достаточно давно, когда я работал в Научном центре сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева. Она заключается в прицельном, сфокусированном на определенных критических областях деятельности системы кровообращения обследовании, максимально точной оценке риска серьезных кардиальных осложнений, в первую очередь смерти, инфаркта миокарда, угрожающих жизни нарушений ритма и т.д. Важно отметить, что ничего особенно сложного в этом нет, задача выполнима при условии наличия квалифицированных специалистов. Но проблема в том, что этого почти никто не делает: нет ни образовательных программ, ни кардиологов с соответствующей подготовкой. Поэтому мы запланировали курсы подготовки специалистов по направлению «кардиоонкология», потребность в этом колоссальная.

Примерно 80% онкологических пациентов даже в случае серьезного кардиологического диагноза мы даем разрешение на онкологическое вмешательство или химиотерапию

Возвращаясь к кардиологическому обследованию онкологических пациентов: примерно 80% из них даже в случае серьезного кардиологического диагноза (ишемической болезни сердца, перенесенного инфаркта миокарда, поражения клапанов сердца, аритмий, сердечной недостаточности) мы, если можно так выразиться, даем разрешение на онкологическое вмешательство или химиотерапию. Это больные, от которых в другой ситуации просто отказались бы. Я прекрасно понимаю своих коллег-онкологов, которые опасаются начинать лечение пациента с непростым кардиологическим диагнозом, серьезность которого им порой сложно оценить.

— То есть уже есть успешный пример совместной работы?

— Конечно, это более 200 пациентов. Наше сотрудничество началось, когда директором РОНЦ был М.И. Давыдов. Он прекрасно

понимал и поддерживал это направление. Работа продолжается и сегодня, у нас хорошие отношения и общее понимание проблемы с И.С. Стилиди — нынешним директором центра. Он предоставил нам возможность обсудить с коллегами проекты сотрудничества на ученом совете онкоцентра, и сейчас мы готовим новые направления деятельности в рамках этой программы.

Важно, что онкологический центр координирует работу многих других учреждений по всей России. Думаю, что призыв к созданию программы по кардиоонкологии должен исходить именно от него. Ведь кардиолог, приходящий в онкодиспансер или онкологический институт, до сих пор часто воспринимается лишь как необходимая часть персонала, функция. Но сейчас ситуация меняется, онкологи понимают, что сами не справятся. Все чаще к ним обращаются пожилые люди, страдающие помимо рака диабетом или сердечно-сосудистыми заболеваниями. Но неправильно вылечить рак, потеряв пациента. Важно, чтобы он после лечения жил долго и по возможности хорошо.

В настоящее время мы проводим важное клиническое исследование совместно с Московским научно-исследовательским онкологическим институтом им. П.А. Герцена, в ходе которого дистанционно мониторим состояние пациентов с раком, используя миниатюрные портативные приборы — регистраторы жизненно важных параметров человека. Эти уникальные устройства мы разработали в МГУ в сотрудничестве с нашими промышленными партнерами. Маленький прибор размером 3 × 3 см закрепляется на теле пациента, в течение неограниченного времени проводит непрерывный мониторинг показателей и мгновенно передает информацию на наш сервер. Поскольку одним из первых проявлений кардиотоксичности чаще всего становится аритмия, для автоматического анализа получаемых данных нами разработан алгоритм, основанный на технологии искусственного интеллекта, позволяющий с высокой точностью выявлять самые ранние и клинически не проявляющиеся нарушения ритма сердца, чтобы вовремя вызвать пациента и начать полноценное кардиологическое обследование.

Уверен, что создание и внедрение таких программ в России сэкономит жизнь и здоровье сотням тысяч пациентов. Сегодня они фактически беспризорные. Ни онкологи, ни кардиологи зачастую не знают, как



С помощью современного оборудования кардиологи получают необходимые данные о состоянии сердца пациента без хирургического вмешательства

им помочь, и просто отказывают в лечении. Есть такое выражение: «Страх не останавливает смерть, он останавливает жизнь». Нужно убрать этот страх и сделать первый шаг, чтобы кажущийся громоздким клубок проблем распутался элементарным образом.

Конечно же, есть определенное количество пациентов, которым мы категорически запрещаем начинать химиотерапию или любой другой вид лечения.

— И как быть в такой ситуации?

— Каждое заболевание предполагает несколько протоколов лечения. И мы совместно с онкологами выбираем наименее кардиотоксичные схемы терапии. Действительно, эффективность их в лечении рака может варьировать, и не всегда альтернативный протокол обеспечивает аналогичные показатели выживаемости и отдаленные результаты. Но если кардиолог уверен, что уже в самом начале лечения у пациента может развиваться серьезное кардиальное осложнение, то это вполне оправдано. Мы просто ищем выход из сложной ситуации — и, как показывает жизнь, почти всегда находим его и побеждаем.

Главное в этом процессе — диалог. Я часто на своих лекциях показываю прекраснейшую картину Рафаэля «Сикстинская Мадонна». В основном все сосредоточивают свое внимание на Мадонне с младенцем в окружении папы Сикста II и святой Варвары. Меня же больше всего привлекают два ангела в самом низу картины, у одного

из которых нет крыла. Поскольку летать с одним крылом не может даже ангел, чтобы взлететь, он должен обняться со вторым. Так вот, мы все — кардиологи, онкологи, другие доктора — должны нежно обняться, чтобы летать.

— К вам лично обращаются коллеги-онкологи за советом?

— Постоянно. Должен сказать, что, будучи кардиологом и занимаясь практически всеми направлениями в кардиологии, последнее время я чаще всего делаю доклады на онкологических конференциях. В конце каждого из них я всегда оставляю свой телефон, координаты нашего центра и отделения кардиологии, которое мы, кстати, планируем переименовать в отделение кардиологии и кардиоонкологии. Позвонить или прислать пациента может любой врач из любой части страны, мы обязательно его примем, обследуем и предложим свои рекомендации.

Нам не нужны формальные отношения, чтобы помогать людям. Зачастую онкологи или гематологи элементарно не знают, к кому обратиться, они лишены возможности проконсультироваться с коллегами. А ведь в большинстве случаев многие вопросы можно решить по телефону или отправив кардиограмму или другие результаты по электронной почте. Огромное количество онкологических больных приезжает к нам в Медицинский центр МГУ со всей страны. Потребность в программе есть!

Неинвазивная процедура занимает всего несколько минут, после чего врачи могут детально рассмотреть трехмерную модель сердца пациента



— А как же выяснилось, что химиотерапия и другие виды лечения рака негативно влияют на сердце? Кто впервые забил тревогу — онкологи или кардиологи?

— Кто первым начал бить тревогу, сказать сложно. Лично я заинтересовался этой темой еще в 1990-е гг., более 25 лет назад, а уже тогда было известно, что, в частности, антрациклины обладают значительной кардиотоксичностью. Правильное название этой группы препаратов — «антрациклиновые антибиотики», поскольку они обладают высокой противоопухолевой и противомикробной активностью. Но по мере накопления данных об успешности лечения ими самых разных форм рака стали появляться сообщения о том, что они серьезно поражают сердечно-сосудистую систему, вызывая тяжелую сердечную недостаточность.

Это стало первым настоящим вызовом для врачей, поскольку энтузиазм от успешного лечения множества онкологических заболеваний столкнулся с реальной возможностью потерять самого пациента.

— Врачи-онкологи предупреждают пациентов об осложнениях, влияющих на сердце?

— Онкологи часто говорят, что если у человека нет рака, то он здоров. И многие из них считают, что сердечная недостаточность, которая может развиваться через несколько лет после химиотерапии, — это несравнимо меньшая проблема по сравнению со злокачественной опухолью. Это не так, я уверен, что сегодня мы должны думать и о том, как вылечить онкологическое заболевание,

и о том, каким будет качество жизни пациента через десять лет. Но в стремительно меняющейся парадигме современной медицины реализовать это очень сложно. Системы здравоохранения развитых стран направлены на количество пролеченных пациентов, а не на качество лечения. Возрастающая нагрузка на врачей приводит к катастрофическому недостатку времени, в особенности на самое главное — прямой и непосредственный диалог между врачом и пациентом. Поэтому медицина становится квазиинструментальной — врачи все меньше лечат людей и все чаще «лечат» анализы крови, кардиограммы, заключения томографии, эндоскопии, биопсии и т.д. Нужно чаще задумываться, что будет с пациентом через годы, а не через неделю, и обсуждать с ним все вопросы дальнейшей жизни.

На мой взгляд, неэтично начинать лечение пациента с онкологическим заболеванием, не обсудив с ним возможные кардинальные риски, поэтому каждый пациент в обязательном порядке должен получить консультацию кардиолога. В России это происходит крайне редко, разве что в больших онкологических центрах, в которых уже понимают, что пациенты нередко умирают совсем не от того, от чего их лечат.

Есть известный анекдот. Врач спрашивает коллегу: «У тебя бывает так, что ты лечишь пациента от одного, а он умирает от другого?» — «Нет, я хороший врач: от чего лечу, от того он и умирает». С учетом достижений современной онкологии складывается такая ситуация, когда больных лечат

от рака, а они умирают от сердечных проблем. И мы, кардиологи, можем это предотвратить и помочь нашим коллегам.

— А если онколог ничего не говорит о рисках лечения, может ли пациент сам проявить инициативу и сходить к кардиологу?

— Онкологи, конечно же, обсуждают риски лечения с пациентами, но часто это ограничивается профилактикой инфекционных осложнений или тяжело переносимых побочных эффектов — тошноты, рвоты, выпадения волос, слабости. Кардиологические проблемы затрагиваются крайне редко, если нет уже установленного диагноза за сердечно-сосудистого заболевания.

Поэтому пациент должен проявить инициативу и задать онкологу важные вопросы: нет ли в протоколе лечения токсичных для сердца препаратов? Как можно защититься? Как часто нужно проверяться? Нужно ли менять схему приема кардиологических препаратов? Важно понимать, что не все химиопрепараты кардиотоксичны, не всегда иммунотерапия рака приводит к миокардитам, лучевая терапия не обязательно вызовет поражение клапанов сердца или перикарда. В целом частота выраженной кардиотоксичности составляет примерно 5–8%. Но из-за того что лечением охвачено огромное количество людей, количество пациентов растет лавинообразно.

Онколог может ответить, что кардиологическое обследование не входит в стандарт оказания медицинской помощи и, соответственно, не оплачивается. Тогда пациент может самостоятельно найти возможность консультации с кардиологом. Поэтому я надеюсь, что наше государство обратит на эту проблему самое пристальное внимание и появятся нормативные документы, которые включают регулярное обследование сердечно-сосудистой системы в протокол лечения онкологических заболеваний.

— Получится ли реализовать эту программу в России?

— Смертность от сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний в России недопустимо высока. Но если внимательно изучить подходы и способы достижения целей, заложенных в национальном проекте «Здравоохранение», особенно в отношении снижения смертности от болезней системы кровообращения, то некоторые из них, на мой взгляд, могут привести к прямо противоположным результатам. Мы должны искать новые пути снижения смертности и спасения людей.

Я как кардиолог ратую за внедрение в нашей стране большинства инноваций и достижений мировой кардиологической науки. Кардиоонкология — относительно молодая специальность, но реализация национальной программы по кардиоонкологии имеет потенциал значительно уменьшить как показатель смертности от сердечно-сосудистых заболеваний, так и показатель общей смертности населения нашей страны. Без этого нам не обойтись.

И, самое главное, помимо непосредственно медицинской направленности у такой программы будет и важнейшее социальное значение. Несмотря на серьезность онкологического диагноза, люди с сочетанными заболеваниями сердечно-сосудистой системы не должны чувствовать себя брошенными, особенно когда многим из них реально можно помочь.

— Что необходимо предпринять уже сейчас?

— Для успешного осуществления подобных проектов крайне важно содействие высшего руководства страны. Но и пациенты должны проявлять инициативу, быть осведомлены о своем состоянии и возможных рисках лечения. Люди должны понимать, что несут ответственность за свое здоровье они сами, а не онколог, кардиолог, министр здравоохранения или даже президент страны. Человек сам должен заботиться о себе, это не только его право, но и обязанность. Безусловно, такой подход требует определенной культуры отношения к своему здоровью, которой у нас по большому счету пока нет.

Полагаю, что и у РАН, и у МГУ есть все возможности реализовать национальную программу кардиоонкологии. Это можно сделать только на междисциплинарном уровне. Это, конечно, потребует дополнительного финансирования, изменений в работе многих медицинских структур. Совсем недавно председатель Счетной палаты А.Л. Кудрин объявил, что из бюджета 2019 г. более 1 трлн рублей осталось непотраченными деньгами, равно как и неправильно потраченные, я моментально перевожу их в количество людей, которых можно было бы спасти. Ведь человеческая жизнь — высшая ценность! Поэтому представители власти должны задуматься. Сейчас время такое — нужно переходить от слов к делу. ■

Беседовала Анастасия Пензина

АНТИСМЫСЛОВАЯ ТЕРАПИЯ

Обре- тение СМЫСЛА

Терапия, мишенью которой
выступает РНК, достигла
впечатляющего успеха

Лидия Дэнуорт

Эмма Ларсон, одна
из первых, кому помогла
антисмысловая терапия,
у себя дома на Лонг-Айленде



ОБ АВТОРЕ

Лидия Дэнурт (Lydia Denworth) живет в Бруклине, занимается научной журналистикой, внештатный редактор *Scientific American*, автор книги «Дружба: эволюция, биология и необычайная сила фундаментальной связи жизни» (*Friendship: The Evolution, Biology, and Extraordinary Power of Life's Fundamental Bond*, 2020).



В

свой первый день рождения Эмма Ларсон не могла ни ходить, ни стоять — в отличие от большинства ребятшек в ее возрасте. Она любила подпрыгивать на пружинных качелях, которые родители установили в своем доме на Лонг-Айленде, штат Нью-Йорк, и с удовольствием ползала. Но к 13 месяцам ноги Эммы отказались работать. Девочка перестала активно двигаться, а когда она пыталась встать, ножки у нее подгибались. Ползала она на первый взгляд так же, как и раньше, но, когда родители просмотрели сделанное ранее видео, они увидели разницу — теперь Эмма передвигалась на меньшие расстояния и с трудом поднимала голову.

В июле 2014 г. после многочисленных обследований Эмме был поставлен диагноз: спинальная мышечная атрофия (СМА), опасное для жизни нейродегенеративное заболевание, поражающее в основном детей, которое лишает их способности ходить, говорить и — в самых тяжелых случаях — дышать. Двигательные нейроны у таких больных отмирают по причине дефицита белка под названием *SMN*. «Для нас наступили тяжелые времена», — говорит мать Эммы Дайэнн. Но семья твердо решила не сдаваться и «сделать все возможное для того, чтобы побороть страшное заболевание», — говорит Мэтт Ларсон, отец девочки.

Недалеко от места проживания Ларсонов находилась Лаборатория Колд-Сприг-Харбор, один из сотрудников которой, биохимик и молекулярный генетик Адриан Крайнер (Adrian Krainer), пытался достичь той же цели. Он занимался поиском генетической подоплеки СМА с 2000 г. и выяснил, что всему виной — отсутствие гена *SMN1* или мутация в нем. Он установил также, что в геноме человека есть неактивный, потенциально спасательный аналог этого гена, *SMN2*. В 2004 г. Крайнер объединил свои усилия с Фрэнком Беннеттом (Frank Bennett) из *Ionis Pharmaceuticals*, чтобы создать препарат, способный модифицировать

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Антисмысловые олигонуклеотиды (АСО) — это короткие сегменты антисмысловой цепи ДНК или молекулы мРНК, химически модифицированные таким образом, чтобы изменить белковые молекулы, кодируемые определенными мРНК.
- По прошествии десятков лет борьбы за право существования «антисмысловая» технология наконец раскрыла весь свой потенциал. Полученные с ее помощью лекарственные препараты особенно эффективны для лечения пациентов с редкими неврологическими наследственными заболеваниями.
- Прионные болезни, в основе которых лежит нарушение пространственной укладки молекулы белка *PrP*, сопровождаются гораздо более быстрым отмиранием нейронов, чем это имеет место при других нейродегенеративных заболеваниях.
- Применение АСО для уменьшения содержания *PrP* в головном мозге пока не заболевших людей может предотвратить развитие этого смертельно опасного заболевания.

ген *SMN2* у больных СМА так, чтобы в результате его экспрессии образовывался функционально активный белок *SMN* и патологический процесс не прогрессировал. Результатом этих поисков стали так называемые антисмысловые олигонуклеотиды.

Антисмысловые олигонуклеотиды (АСО; представление о них было сформулировано более 40 лет назад) — это короткие фрагменты химически модифицированной антисмысловой цепи ДНК или молекулы мРНК (*oligo* в переводе с греческого означает «мало», а нуклеотиды — это строительные кирпичики ДНК и РНК). Функция АСО заключается в связывании с мРНК — продуктом экспрессии аномального гена и изменении уровня его экспрессии. Другими словами, АСО связываются с определенным сегментом целевой мРНК, что приводит к синтезу (или — в некоторых случаях — к блокированию синтеза) белков, отсутствие которых (или, напротив, наличие) обуславливает некую патологию. На то, чтобы доказать ценность этих молекул как лекарственных веществ, способных предотвращать или побеждать то или иное заболевание, ученым ушло несколько десятков лет. Перед ними встало столько проблем, связанных с токсичностью и доставкой препарата к месту назначения, что многие отказались от дальнейших исследований. Но те, кто остался, преодолели все препятствия как раз к тому времени, когда в результате успехов в исследовании генома была установлена генетическая подоплека многих наследственных заболеваний. «Антисмысловые олигонуклеотиды — это "изделия ручной работы", созданные для разрешения тех ситуаций, когда заболевание имеет генетическую природу, — говорит Брет Мониа (Brett Monia), занявший в январе этого года пост генерального директора компании *Ionis*. — Они представляют собой олицетворение прецизионной медицины».

Крайнер и Беннетт с коллегами назвали свой антисмысловый олигонуклеотид нусинерсеном. Инъекционный в спинномозговую жидкость, он побуждает гены инактивированных мотонейронов к синтезу белка *SMN*. В сотрудничестве с фирмой *Biogen* упомянутые исследователи приступили



Дайэнн и Мэтт Ларсон со своей семилетней дочерью Эммой. «Что-то происходит», — подумала Дайэнн в 2015 г., когда Эмма, страдающая спинальной мышечной дистрофией (СМА), смогла доползти до нее после многомесячного введения «антисмыслового» препарата нусинерсена (торговое название спинразы).

в 2011 г. к тестированию препарата в ходе клинических испытаний. Эмма Ларсон была внесена в список испытуемых ровно в тот день, когда ей исполнилось два года. К тому времени она уже не могла ползать. Первую дозу препарата Эмма получила в марте 2015 г., вскоре одна за другой ей были введены еще две дозы.

Однажды в мае 2015 г. Дайэнн, находившаяся в спальне, услышала, как из соседней комнаты ее зовет Эмма. «Голос все приближался и приближался, — вспоминает она. — И наконец я поняла, что дочурка преодолела ползком весь путь от своей комнаты до меня». У Дайэнн промелькнула мысль:



«Не снится ли мне все это?» Она подхватила дочь на руки, и отнесла ее в гостиную, затем вернулась в спальню и позвала: «Эмма, иди ко мне!» Девочка снова подползла к матери. Со слезами на глазах Дайэнн подумала: «Что-то происходит!»

И оно действительно происходило. Клинические испытания нусинерсена прошли настолько успешно, что закончились на год раньше, чем планировалось. Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов (FDA) США одобрило его применение под названием *Spinraza* в декабре 2016 г. Сегодня его получают более 8,4 тыс. больных в 40 странах. 25 новорожденным с наиболее тяжелой формой СМА вводили препарат с первых дней жизни; сейчас всем им исполнилось четыре года — и они развиваются нормально. «Если бы я не сделал в своей научной карьере ничего другого, кроме получения спинразы, я бы считал, что жизнь удалась», — говорит Стэнли Крук (Stanley Crooke), основатель *Ionis*.

Но кроме всего прочего спинраза — это еще и весомый аргумент в пользу того, что АСО наконец-то раскрыли свой потенциал. Это первый антисмысловый олигонуклеотид со столь мощным, быстро проявляющимся действием и коммерческой рентабельностью. В 2019 г. он принес Крайнеру и Беннетту многомиллионную премию «Прорыв года». Его действие распространяется на такие неврологические расстройства, как болезнь Гентингтона

Эмма на качелях во дворе своего дома. После успешных клинических испытаний нусинерсена, в которых она принимала участие, препарат начали получать 8,4 тыс. больных СМА по всему миру. Такой прорыв стимулировал развитие «антисмысловой» терапии, особенно эффективной в отношении неврологических заболеваний генетического происхождения.

и боковой амиотрофической склероз (БАС). «Мы идентифицировали генетическую основу этих заболеваний еще в 1990-х гг., но понадобилось 25 лет, чтобы трансформировать знания в мощный терапевтический инструмент, — говорит Беннетт. — Что касается спинразы, то у меня захватывает дух от осознания того, что мы создали нечто, помогающее широкому кругу больных, которым ранее не на что было надеяться».

Подобно стайеру, который тренировался на местности, расположенной высоко над уровнем моря, исследователи, занимающиеся «антисмысловой» терапией, проделали долгий путь к оптимизации химических свойств олигонуклеотидов и доставке их к месту назначения. Сегодня они перешли в категорию спринтеров и спустились с небес на землю. На стадии разработки находятся 100 препаратов самого разного назначения — от предотвращения болезни Альцгеймера до борьбы с гипертонзией. Не все они дойдут до финиша, но девять — в их числе спинраза —

уже применяются в США и странах Европы. На последней стадии клинических испытаний находятся препараты, предназначенные для пациентов с болезнью Гентингтона и БАС. «О биотерапии разговоры идут уже в течение 30 лет, и сегодня они начинают материализоваться», — говорит Роберт Браун (Robert Brown) из Медицинской школы Массачусетского университета, один из лидеров в разработке препарата против БАС.

Смысловые и антисмысловые

Информация о функционировании всего живого заключается в геномной ДНК, но реализуется она через синтез белков, которые выполняют всю работу, необходимую для обеспечения жизнедеятельности животных и растений. Поскольку инструкции, закодированные в ДНК, столь критичны, в процесс трансляции (синтез белков) встроены подстраховочные механизмы. В частности, молекула ДНК состоит не из одной, а из двух полинуклеотидных цепей. Одна из них служит матрицей для последующих процессов транскрипции и трансляции. Она представляет собой цепочку из четырех нуклеотидов — аденина (А), гуанина (G), тимина (Т) и цитозина (С). Другая цепочка состоит из таких же нуклеотидов, но располагаются они в последовательности, комплементарной таковой у первой цепочки, так что аденин одной цепи образует пару с тимином другой, а гуанин — пару с цитозином. Первая цепочка называется смысловой (или кодирующей), вторая — антисмысловой (некодирующей); от нее и происходит название «антисмысловые олигонуклеотиды». Нуклеотидная последовательность молекулы матричной РНК (мРНК), опосредующей белковый синтез, совпадает с таковой у соответствующего сегмента антисмысловой цепочки ДНК.

По той или иной причине конечный продукт трансляции, белок, иногда бывает аномальным либо образуется в избытке или в недостаточном количестве — и тогда развивается заболевание. Мишенью низкомолекулярных лекарственных веществ (а таких в фармакологии большинство) служат аномальные белки, ассоциированные с тем или иным заболеванием. Другой большой класс лекарственных веществ — моноклональные антитела — стимулируют иммунную систему больного, так что ее компоненты начинают атаковать аномальные белки. В отличие от этого задача «антисмысловых» препаратов — прерывание процесса синтеза таких белков в самом начале. Они вытесняют дефектную мРНК в процессе транскрипции, восстанавливая правильное спаривание нуклеотидов и таким образом обеспечивая синтез нормальных белков.

Параллельно этому направлению развивается другое, основанное на применении так называемой интерференции РНК (РНКи). Препараты —

продукты этих двух технологий сходны. «Я считаю термин "антисмысловой" аналогом рода, а РНКи — аналогом вида, если придерживаться таксономических правил, принятых в биологии», — говорит Беннетт. Разница в том, что РНКи-препараты состоят из двух цепочек, а АСО — из одной. Но и в том и в другом случае цепочки короткие — 15–20 нуклеотидов, отсюда и приставка «олиго».

Универсальность «антисмысловой» технологии базируется на разграничении двух основных ее составляющих: создании некой платформы — молекул с определенными характеристиками, которые обеспечивают доставку препарата и распространение его в теле пациента, и получении нуклеотидной последовательности, необходимой для нахождения конкретного гена. Различия нуклеотидных последовательностей обуславливают неодинаковость информации, заключенной в соответствующих лекарственных веществах, но «антисмысловые» препараты со сходными химическими модификациями ведут себя в организме сходным образом. Именно это позволяет нам быстро продвигаться дальше, как только создана платформа для доставки препарата к целевым тканям, — говорит Джонатан Уоттс (Jonathan Watts), специалист в области химии нуклеиновых кислот из Медицинской школы Массачусетского университета. — Перетасовывая «колоду» нуклеотидов, мы сможем нацеливаться на разные мишени, используя информацию, получаемую в результате секвенирования генома пациента с редким заболеванием. Возможность рационально использовать эту информацию — мощнейшее оружие в руках исследователя».

Забег на длинную дистанцию

Идея создания лекарственных препаратов, связывающихся с мРНК, на основе генетической информации возникла в 1978 г. Но для ее реализации нужно было найти ответ на массу вопросов. Как превратить олигонуклеотид в лекарство? Почему связывание его с мРНК даст нужный результат? И так далее, и тому подобное. Все это не смутило Крука, и в 1989 г. он покинул пост руководителя исследовательского отдела в компании *SmithKline* (сегодня *GlaxoSmithKline*) с целью заняться разработкой «антисмысловой» технологии в основанной им компании. Его команду составили его жена Розанна, тоже фармаколог, и ряд коллег, в частности Беннетт и Мониа. (Вначале компания называлась *Isis*, но затем была переименована в *Ionis Pharmaceuticals*.)

Примерно в то же время несколько других компаний перешли на эту тематику, но постепенно одна за другой отказались ею заниматься. Руководивший исследованиями в одной из них, Майкл Райордан (Michael Riordan), заявил в 1995 г., что «антисмысловая» технология не работает. И какое-то

время казалось, что токсичность новых препаратов, неспособность достигать места назначения и неочевидность потенциала создают непреодолимую преграду на пути дальнейшего продвижения.

Но Крук с коллегами были полны решимости продолжать начатое дело и в конце концов добились успеха. Свидетельство тому — толпа пациентов в главном офисе *Ionis* в Сан-Диего. Вначале они получили продукт с нужными химическими свойствами. Так, модифицировав одну из ключевых позиций (2) в молекуле рибозы (сахарного остатка, входящего в состав РНК), они повысили сходство АСО к рецепторам РНК, что позволило существенно уменьшить дозу препарата. Внося другие изменения, они добились повышения безопасности и переносимости своих продуктов. Обнаружилось также, что препараты не проникают в ткани, полученные путем культивирования, и тогда испытания стали проводить на лабораторных животных. Мониа хорошо помнит момент, когда он, просматривая результаты тестирования, основанного на измерении содержания в образце специ-

Как показали клинические испытания спинразы, вопреки ожиданиям «антисмысловая» терапия может быть особенно эффективной для борьбы с заболеваниями, затрагивающими головной мозг

фической мРНК, не обнаружил никаких ее следов: препарат проник в клетки большинства тканей, и синтез РНК в них был заблокирован.

Самые ранние попытки использования АСО в качестве лекарственных средств касаются глазных болезней, чуть позже — печеночных патологий. Результат был впечатляющим, но в коммерческом отношении сомнительным; к тому же были найдены другие подходы к избавлению от подобных недугов.

Новейшие АСО-препараты нацелены на борьбу с редкими заболеваниями. Один из них, *Exondys 51*, предназначен для пациентов с мышечной дистрофией Дюшенна, серьезным, быстро прогрессирующим нейродегенеративным заболеванием, обусловленным мутацией в гене, который кодирует белок дистрофин. Результаты тестирования этого нового АСО были не столь впечатляющими, как в случае со спинразой, но все же

на основании того, что у получавших его пациентов уровень дистрофина повысился, препарат получил разрешение на применение в контролируемых условиях. Компания, занимающаяся его маркетингом, должна представить к 2021 г. соображения о его эффективности.

Первый РНКи-препарат, *Onpattro*, продукт базирующейся в Бостоне биотехнологической компании *Amylum Pharmaceuticals*, получил разрешение на применение в 2018 г. Он предназначен для помощи больным с одним из наследственных неврологических расстройств. Той же цели служит одобренный к применению АСО-препарат *Tegsedi* компании *Ionis*. Общая для всех форм олигонуклеотидной терапии задача — расширение спектра действия и эффективности продуктов. «Очень много больных сегодня находятся в состоянии нетерпеливого ожидания, — говорит Аннемике Аартсма-Рус (*Aartsma-Rus*) из Лейденского университетского медицинского центра в Нидерландах, президент общества по применению олигонуклеотидной терапии. — Они осознают, что для них промедление смерти подобно».

Как помочь головному мозгу

Олигонуклеотиды неспособны преодолевать гематоэнцефалический барьер, поэтому «антисмысловые» компании долгое время не занимались поисками лекарственных средств, направленных непосредственно на неврологические мишени. Но Беннетт полагал, что проблему можно решить, вводя АСО в спинномозговую жидкость с помощью поясничного прокола, и уговорил Крука позволить ему проделать эту манипуляцию. «У меня было множество причин оставить все, как есть, но хотелось сказать "да", — говорит Крук. — Потому что ответ "нет" означал бы, что мы никогда не создадим столь необходимого лекарства». Начало было положено экспериментами на мышах с болезнью Гентингтона — очевидным кандидатом на роль модели для исследования возможности применения АСО для избавления от этого недуга, поскольку в основе этого заболевания лежит вполне определенная, уже давно идентифицированная мутация. В геноме пациентов с данным диагнозом присутствует повтор из триплета *CAG*, что приводит к синтезу избыточного количества белка гентингина, а это в свою очередь сопровождается разрушением клеток головного мозга. Эксперименты Беннетта и его коллег показали, что под влиянием АСО содержание гентингина у лабораторных мышей уменьшается. «Животные явно стали чувствовать себя лучше», — говорит Беннетт.

Тем временем Крайнер с коллегами занимались поисками подходов к лечению больных спинальной мышечной атрофией. Уже было известно, что в геноме здоровых людей присутствуют две версии гена одного из ключевых двигательных нейронов,

SMN1 и *SMN2*, но функционально активный белковый продукт последнего синтезируется в очень малых количествах. У больных СМА работающий ген *SMN1* отсутствует, а *SMN2* вообще не функционирует. Кодированные сегменты ДНК содержат экзоны (именно они экспрессируются) и интроны (некодирующие элементы). В ходе процесса, называемого сплайсингом РНК, интроны вырезаются, а экзоны соединяются друг с другом. Малая активность гена *SMN2* обусловлена наличием в нем некой модификации, в результате которой экзон 7 игнорируется при сплайсинге. Крайнер и Беннетт предположили, что один из АСО мог бы включить данный экзон в процесс. В 2008 г. они показали, что синтезированный ими олигонуклеотид действительно способен на это. Эксперименты проводились на лабораторных мышах, на очереди — клинические испытания.

«Это можно назвать АСО-терапией, приспособленной под конкретное заболевание, — говорит Крайнер. — Мы ориентируемся не на симптомы, а на их первопричину и изменяем ход патологического процесса». Ключевую роль здесь играет время вмешательства. Больной с такими симптомами, как у Эммы Ларсон, уже утратил некоторое количество двигательных нейронов, и восстановить их невозможно. Но терапия может предохранить оставшиеся от разрушения и обеспечить сохранение двигательной активности. Успехи, достигнутые в АСО-терапии применительно к детям, подтолкнули к массовому скринингу новорожденных на СМА; теперь эта процедура осуществляется в 16 штатах. «Чем меньше времени проходит от момента появления младенца на свет до начала его лечения, тем лучше будет результат», — говорит Крайнер.

Как показали клинические испытания спинразы, вопреки ожиданиям «антирмысловая» терапия может быть особенно эффективной для борьбы с заболеваниями, затрагивающими головной мозг. Неврологические мишени стали «легко доступным плодом», говорит Аартсма-Рус. На стадии разработки находятся несколько АСО-препаратов против болезни Гентингтона. Один такой препарат, *RG6042*, созданный фирмами *Ionis* и *Roche*, проходит третью фазу клинических испытаний. «Тесты на безопасность и переносимость показали, что он приводит к уменьшению содержания в организме больных мутантных белков», — заявляет Скотт Шобель (*Scott Schobel*), руководитель программы *Roche* по тестированию АСО на способность к борьбе с болезнью Гентингтона. — Замедление патологического процесса на 30% мы сочли бы большим достижением».

Ситуация с терапией при боковом амиотрофическом склерозе сложнее, поскольку по крайней мере в 10% случаев эта патология имеет четкий выраженный семейный характер. Наиболее

распространенная ее форма обусловлена мутацией в гене *C9orf72*; другой ген, *SOD1*, причастен примерно к 20% семейных форм данного заболевания. Надежда на избавление от БАС забрезжила только с появлением АСО-терапии. «Настроечное у меня подскочило до небес», — говорит Браун, возглавлявший группу, которая в 1993 г. идентифицировала ген *SOD1*. Сейчас проходят клинические испытания АСО-препаратов против обеих форм БАС — связанных с мутациями в генах как *C9orf72*, так и *SOD1*. Тестируемые АСО безопасны, хорошо переносятся больными и подавляют активность мутантных белков.

Брауна вдохновляет в частности тот факт, что АСО позволяют подбирать лечение индивидуально для каждого больного. Одна молодая женщина из штата Айова с крайне редкой формой БАС, вызванной мутацией в гене *FUS*, начала принимать созданный специально для нее препарат летом 2019 г. Пока она переносит лечение хорошо, и уже намечилось кое-какое улучшение в ее состоянии: появилась подвижность в руке.

Лекарство для Милы

Создание лекарственного препарата для одного-единственного больного представлялось научной фантастикой, пока невролог Тимоти Ю (*Timothy Yu*) из Бостонской детской больницы не получил такой препарат менее чем за год (мировой рекорд!) для Милы Маковец, которой сейчас исполнилось девять лет. Девочка страдает крайне редким заболеванием под названием «болезнь Баттена», имеющим семейный характер, при котором в результате мутаций нарушается синтез белков и липидов. Дети с таким диагнозом редко доживают до подросткового возраста.

Как и у многих людей, страдающих болезнью Баттена, в первые годы жизни у Милы не отмечалось никаких физических отклонений, напротив — она была необычайно подвижна, хорошо скоординирована. Но в три года у нее начали подворачиваться пальцы стоп. В период от четырех до пяти лет она становилась все более неуклюжей и постепенно теряла зрение. Врачи из Детской больницы Колорадо связали наличие этих симптомов с мутацией в одном из генов, носителем которой она была.

Но болезнь Баттена обуславливается мутациями в двух генах. Мать Милы, Джулия Витарелло, стала искать специалистов, которые смогли бы секвенировать весь геном дочери. Кроме того, она и отец Милы хотели узнать, не находится ли в группе риска их младший ребенок, Азлан. В январе 2017 г. их мольба о помощи дошла через социальные сети до жены доктора Тимоти Ю.

Его группа секвенировала геном Милы и обнаружила недостающую мутацию. Она была связана с наличием мобильного гена — транспозона,

нуклеотидной последовательности, которая перемещается по геному и оказывается в неподобающем месте. Результаты секвенирования Азлана показали, что мальчику ничто не угрожает. И тут Ю пришла в голову мысль попытаться создать лекарственный препарат специально для Милы. «Мы осознали, что могли бы проделать нечто аналогичное тому, что привело к получению спинразы, — говорит Ю. — Но вместо того чтобы использовать АСО для воздействия на экзон, долгое время оставшийся вне поля нашего зрения, мы решили выбрать в качестве мишени экзон, о котором мы давно знали, и инактивировать его».

После неудачных попыток привлечь к сотрудничеству несколько фармацевтических компаний Ю решил попробовать создать соответствующий АСО самостоятельно. На эту работу была потрачена некая часть из \$3 млн, которые Витарелло получила на исследования другого рода

Одно из огромных преимуществ «антисмысловой» терапии заключается в том, что персонифицированные препараты для всех нуждающихся в них детей не только могут быть созданы быстро, но и относительно недороги

(более точную информацию она давать не хочет). Ю назвал свой будущий препарат «миласен», имея в виду, что предназначен он для единственной пациентки. В январе 2018 г. Мила получила его первую дозу. К тому времени она полностью ослепла и ежедневно у нее случалось от 20 до 30 эпилептических припадков, некоторые длились по несколько минут. Те повреждения, которые уже произошли в организме Милы, ликвидировать было невозможно, но на фоне терапии припадки стали менее тяжелыми, а через четыре-пять месяцев их длительность сократилась до нескольких секунд. Витарелло говорит, что недавно Мила даже поднялась по лестнице — правда, с ее помощью.

История жизни Милы, обнародованная в *New England Journal of Medicine* осенью 2019 г., наделала много шума. Тут же встал вопрос о стоимости терапии и этичности создания лекарства для одного отдельно взятого больного. Специалист

по биоэтике Сара Голдкинд (Sara Goldkind), бывший внештатный сотрудник *FDA* и консультант программ по лечению людей с редкими заболеваниями, говорит, что в такой необычной ситуации очень важен контекст. Конечно, тестирование на безопасность и эффективность никто не отменял, но есть масса других факторов — мы имеем дело с редкими, смертельно опасными, быстро прогрессирующими заболеваниями, против которых нет никаких лекарств. Это заставляет *FDA* полагаться на единственное адекватное тщательное контролируемое исследование вместо положенных двух. «Здесь нужна определенная гибкость ума», — говорит Голдкинд.

Крук поддерживает разработку АСО-лекарств от сверхредких заболеваний, предназначенных для лечения слишком малого числа людей, чтобы их производство было коммерчески выгодным. В свою очередь, Витарелло и Ю надеются, что можно будет создавать персонифицированные препараты для всех нуждающихся в них детей, как это произошло с Милой. Одно из огромных преимуществ «антисмысловой» терапии заключается в том, что такие препараты не только могут быть созданы быстро, но и относительно недороги.

Эмма-фламинго

Эмму, как и Милу, не вылечили до конца. Те нейроны, которые были утрачены в первые годы жизни, восстановить невозможно. Кроме того, у нее произошли необратимые скелетные изменения. В доме Ларсонов много свободного пространства, а полы не застелены ковровым покрытием — так лучше для Эммы (ей сейчас семь лет): она раскатывает повсюду на своей инвалидной коляске, которую называет гоночным автомобилем. Ее любимое время дня — перерывы между занятиями, когда она может скатываться с детской горки и качаться на качелях.

Когда коляску убирают, родители носят Эмму по всему дому на руках или же она ползает по своей комнате с любимой игрушкой мишкой Полли. Но с помощью ходунков и распорок, прикрепленных к паре ярко-розовых теннисных кроссовок, Эмма может самостоятельно сделать несколько шагов. А в обеденной комнате, опираясь одной рукой о стол, она часто стоит на низенькой скамье, идущей вдоль стены. «Эй, посмотрите, я стою на одной ноге!» — кричит Эмма.

Жизнь Ларсонов по-прежнему полна трудностей, но они не отчаиваются, надеясь, что в конце концов их дочь сможет жить самостоятельно. И они рады за тех малышей, которые теперь могут получать АСО с рождения. «С Эммой мы немного запоздали, но зато проложили дорожку другим детям», — говорит Дайэнн. ■

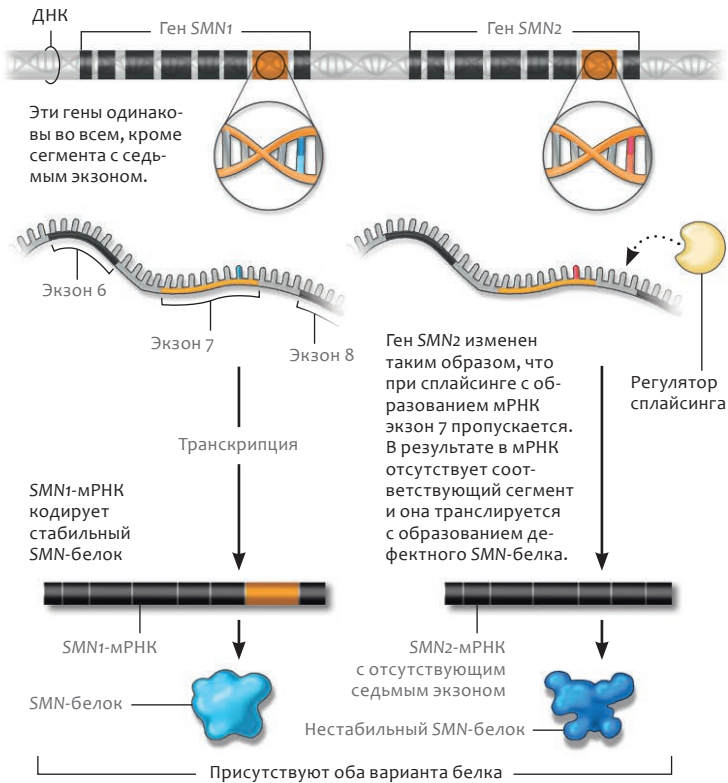
Перевод: Н.Н. Шафрановская

Нусинерсен: драматический путь к успеху

Антисмысловые олигонуклеотиды (АСО) — это короткие сегменты некодирующей цепи ДНК или молекулы мРНК, химически модифицированные таким образом, чтобы они связывались со специфическими участками мРНК и влияли на синтез соответствующих белков. После многолетних исследований ученым удалось достичь впечатляющих результатов — они получили олигонуклеотид, названный нусинерсеном, который предотвращает развитие спинальной мышечной дистрофии (СМА), опасного для жизни нейродегенеративного заболевания.

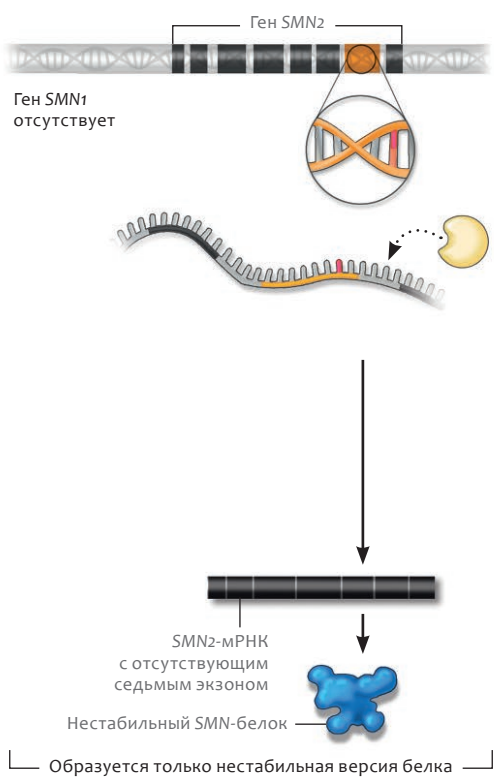
У здоровых людей

В норме в геноме человека присутствуют два варианта гена, кодирующего белок SMN. Продукт первого гена, SMN1, — стабильный белок, продукт второго — белок нестабильный.



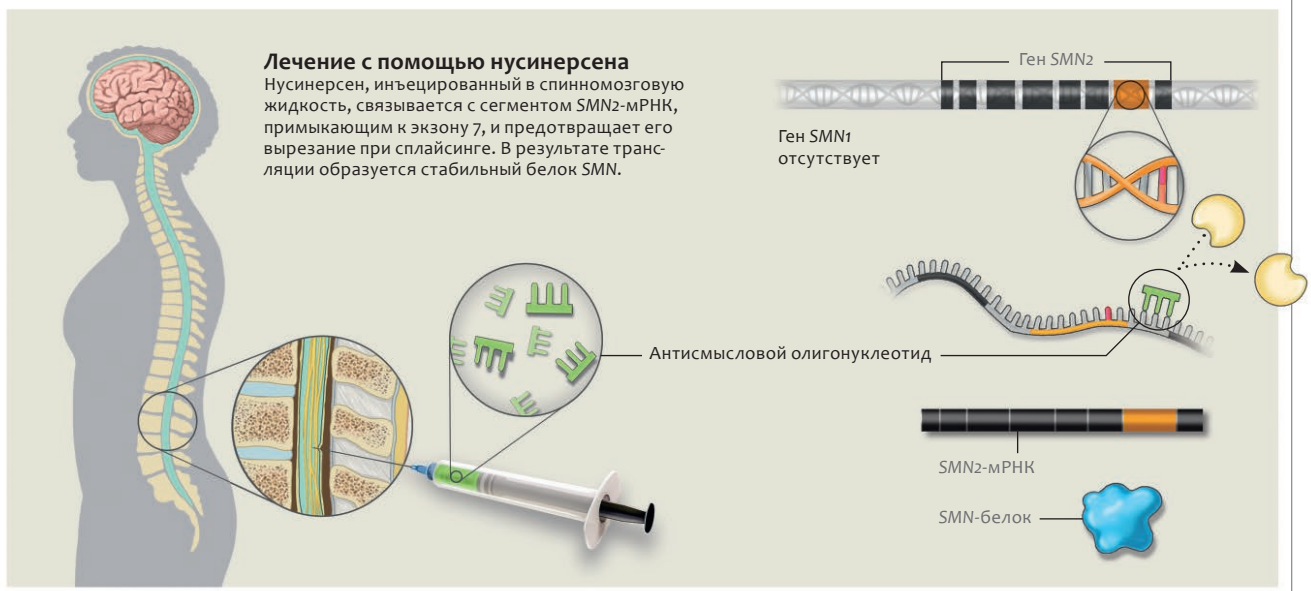
У больных СМА

У больных со спинальной мышечной атрофией отсутствует ген SMN1, а нормального продукта гена SMN2 слишком мало.



Лечение с помощью нусинерсена

Нусинерсен, инъектированный в спинномозговую жидкость, связывается с сегментом SMN2-мРНК, примыкающим к экзону 7, и предотвращает его вырезание при сплайсинге. В результате трансляции образуется стабильный белок SMN.





Авторы в своей лаборатории по изучению прионной болезни в Институте Броуда Массачусетского технологического института и Гарвардского университета

АНТИСМЫСЛОВАЯ ТЕРАПИЯ

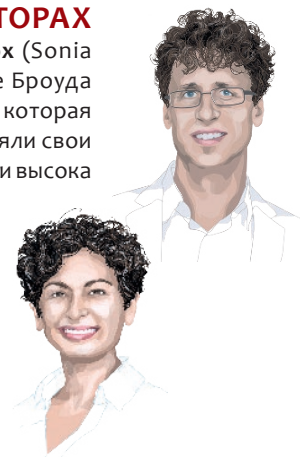
Пресечь *прионную* болезнь

Если начать лечение до появления
симптомов, есть надежда, что
смертельное заболевание мозга
удастся предотвратить

Эрик Валлабх Миникель и Соня Миникель Валлабх

ОБ АВТОРАХ

Эрик Валлабх Миникель (Eric Vallabh Minikel) и **Соня Миникель Валлабх** (Sonia Minikel Vallabh) руководят исследовательской лабораторией в Институте Броуда Массачусетского технологического института и Гарвардского университета, которая занимается разработкой лечения от прионного заболевания. Супруги поменяли свои профессии и занялись медицинскими исследованиями, когда узнали, что у Сони высока вероятность развития смертельного заболевания.



Н

икто не ожидает, что жизнь окажется разделенной на «до» и «после», что одно-единственное событие проложит непреодолимую границу между тем, что было раньше, и тем, что теперь. Когда мы встретились, полюбили друг друга и сыграли свадьбу на заднем дворе дома Сони в Эрмитаже, штат Пенсильвания, мы не подозревали, что это наша жизнь «до». Мы не собирались бросать свои карьеры юриста и инженера и начинать все заново в другой сфере. Мы и представить себе не могли, что нам придется с нуля осваивать совершенно новую область и что наступит день, когда мы оба будем защищать биомедицинские диссертации и наши доклады будут дополнять друг друга, формируя представление о первом в мире способе лечения смертельного нейродегенеративного заболевания.

Наша нынешняя жизнь началась внезапно, 9 октября 2011 г., когда Соня узнала, что у нее может быть редкая мутация ДНК, которая неизбежно приводит к смерти в молодом возрасте от быстро развивающегося поражения мозга вследствие прионного заболевания. Это заболевание возникает, когда белок под названием *PrP*, в норме присутствующий в нашем мозге, меняет свою конфигурацию, приобретая аномальную прионную форму. Тут можно запутаться, поскольку сначала была описана именно аномальная форма этого белка, ее назвали прионом, а затем позже нормальная форма белка получила название «прионный белок» (*prion protein — PrP*). Соприкасаясь с другими копиями *PrP*, прион заставляет их также превращаться в прионы. Такой каскад изменений конфигурации белка распространяется по мозгу, убивая клетки мозга быстрее, чем любое другое нейродегенеративное заболевание.

К концу года мы узнали, что Соня действительно унаследовала эту страшную мутацию. С тех пор мы работаем не покладая рук. В случае успеха мозг Сони и других людей, которым угрожает то же самое, сохранит здоровье и полную

работоспособность в течение многих лет или десятков лет, но мы надеемся, что на всю жизнь. Неудача означает, что Соню ожидает быстрый конец в расцвете лет. Через несколько недель после появления первых заметных симптомов ее мозг будет разрушен и она перестанет быть собой.

Поскольку данная болезнь связана исключительно с белком *PrP*, в котором предположительно нет необходимости для организма, мы надеемся, что с помощью современных технологий можно снизить его содержание в мозге, лишив смертельные прионы возможности распространяться. Проблема заключается в ошеломляющей скорости развития прионного заболевания, поэтому лучший шанс выиграть в битве — начать действовать прежде, чем разразится катастрофа. Однако предотвращение болезни вместо лечения уже начавшегося заболевания — это необычно. На протяжении восьми лет мы ежедневно ведем тяжелую борьбу за создание новой парадигмы в разработке лекарств: за тестирование многообещающих препаратов не только на способность замедлить развитие заболевания, но и на способность дольше сохранить здоровый мозг.



2
Соня и Эрик с дочерью Дарукой (1). Соня Валлах унаследовала мутацию, вызывающую прионное заболевание, от своей матери, которая умерла от этой болезни. Семейная пара надеется создать лекарство, которое предотвратит проявление заболевания. Дарука держит фотографию своей бабушки (2). У девочки нет этой мутации: ей был сделан тест еще на эмбриональной стадии.

Год кризисов

За несколько месяцев до того, как мы узнали о мутации у Сони, мы наблюдали развитие прионного заболевания у ее матери, Камни. В феврале 2000 г., когда она еще по-прежнему чувствовала себя хорошо и не имела когнитивных нарушений, она обратилась к офтальмологу с жалобой на нечеткость зрения. Когда 17 марта ей исполнилось 52 года и Соня позвонила, чтобы поздравить ее с днем рождения, Камни не могла закончить ни одной фразы, не упустив ход мыслей. В мае ее речь стала бессвязной, она узнавала членов семьи реже чем в половине случаев, она забывала, что не может ходить, поэтому, несмотря на наши усилия, она регулярно вставала, падала и травмировалась. С июня она была прикована к инвалидной коляске и несколько раз была госпитализирована. Она еще была способна устанавливать зрительный контакт, но начала шарахаться от прикосновений, комфорт от присутствия близких сменился для нее постоянным страхом перед принуждением, хватанием и бесконечными уколами, которыми сопровождалось присутствие людей. К июню она не могла говорить, есть и сидеть. На ее лице отражалась лишь агония, в глазах застыл страх, она непрерывно сражалась с ремнями, которыми медсестры привязывали ее руки к больничной кровати, чтобы

не дать ей выдернуть трубку для кормления и кололостому. В августе она была интубирована и постоянно подключена к аппарату искусственной вентиляции легких, немая и неподвижная. При этом ей все еще не поставили диагноз.

В течение этого года один первоначальный кризис породил другие, кризисы второго и третьего порядка. Что делать, если человеку требуется уход, который не может обеспечить один родственник или даже целая семья? Оказалось, что больницы не занимаются этим вопросом. После того как проведено обследование и исключены все возможные диагнозы, пациента выписывают домой до следующих неминуемых осложнений — травмы головы или пневмонии, оправдывающих повторную госпитализацию. Жизнь в состоянии непрерывного кризиса подразумевала внезапное прекращение всей деятельности, связанной с поддержанием домашнего хозяйства, из-за чего квитанции оказались неоплаченными, счета заблокированными, электричество было отключено. И, честно говоря, нам еще повезло. Медицинское обслуживание Камни в тот год стоило порядка \$1 млн, и страховая компания оплатила практически всю сумму.

В декабре она умерла, и мы испытали облегчение. Мы представить себе не могли, что смерть любимого человека может вызвать такое чувство.

Это было не прощание, а осознание того, что прощание уже состоялось раньше. Такова деменция — она лишает нас не только человека, которого мы любим, но и возможности проститься в настоящем времени.

После смерти Камни мы старались потихоньку оставить плохое в прошлом, однако худшее ждало нас впереди. Когда в октябре мы приехали домой отпраздновать помолвку друга семьи, то подумали, что молчаливость и отстраненность Сониного отца связана с пережитым несчастьем, одиночеством и длительной усталостью. Однако когда мы загрузили чемоданы в машину, чтобы ехать в аэропорт, он отвел Сонию в сторону и сообщил новость, которая разорвала нашу жизнь пополам. Вскрытие показало, что у Камни была фатальная семейная бессонница — разновидность наследственного прионного заболевания. У нее было нарушение в гене, отвечающем за синтез *PrP*, и для

Нам нужна новая парадигма в создании лекарств: тестирование многообещающих препаратов не только на способность замедлить развитие заболевания, но и на способность дольше сохранить здоровый мозг

Сони вероятность получить заболевание составляла 50%. В конце 2011 г. мы узнали, что Соня действительно унаследовала мутацию своей матери, и это означало, что у нее почти наверняка тоже разовьется прионное заболевание. Ей было тогда 27 лет.

Мы решили посвятить наши жизни поиску лечения. Мы записались в вечернюю школу, чтобы изучать биологию, и отказались от своих прежних профессий, заняв низкие должности в исследовательских лабораториях, а в 2014 г. поступили в аспирантуру Гарвардской медицинской школы. Сейчас мы руководим исследовательской лабораторией, занимающейся прионами, в Институте Броуда в Кеймбридже, штат Массачусетс. Разумеется, мы не пошли бы на все это только ради того, чтобы продлить Соне жизнь в состоянии глубокого слабоумия с шести месяцев до 12. Нашей целью было и остается сохранить Сонин мозг здоровым дополнительные несколько лет или десятилетий, а если получится, то на всю жизнь. Наша цель — предотвращение болезни.

Смертельная форма

Прионное заболевание проявляется по-разному, оно было описано под такими названиями, как «болезнь Крейтцфельда — Якоба», «фатальная семейная бессонница», «губчатая энцефалопатия крупного рогатого скота» (она же «коровье бешенство») и др. Многие названия были даны задолго до того, как невролог Стенли Прузинер (Stanley B. Prusiner) в 1982 г. сделал открытие, за которое позже получил Нобелевскую премию, — он обнаружил, что все эти заболевания развиваются по вине одного и того же белка. Хотя наиболее известная причина таких заболеваний — заражение (например, через мясо больных особей), таких случаев менее 1%, большинство прионных заболеваний возникают случайно. Молекула *PrP* в чем-то мозге случайно принимает аномальную форму, запуская быстро ускоряющуюся цепную реакцию. Но, помимо спонтанного прионного заболевания, примерно 15% случаев возникают из-за мутации в гене *PRNP*, кодирующем белок *PrP*. По причинам, которые пока не вполне понятны, эта мутация значительно повышает вероятность неправильного сворачивания белка. У людей с двумя нормальными копиями гена *PRNP* вероятность того, что белок *PrP* спонтанно примет неправильную конформацию, — 1 к 5 тыс., а у носителей мутации, которая была у Камни, такая вероятность составляет больше 90%.

У человека ген *PRNP* расположен на коротком плече 20-й хромосомы. Он состоит из 15 тыс. пар оснований, из которых 762 кодируют белок, чья конечная форма состоит из 208 аминокислот. Большинство мутаций, вызывающих наследственное прионное заболевание, затрагивают одну пару оснований в *PRNP*, так что в результате в молекуле *PrP* меняется всего лишь одна аминокислота. Иногда удлиняется фрагмент гена, содержащий повторы, и получается более длинная версия *PrP*.

Если нормальный белок правильно свернут, то его половина представлена хорошо упорядоченной структурой, состоящей в основном из обычных для белка «альфа-спиралей». В дальнем конце этого участка у *PrP* есть углеводный якорь, которым он прикрепляется к внешней поверхности клеточной мембраны, где в норме и должен находиться. (Один из патогенных вариантов этого гена дает укороченный *PrP* без якоря, не прикрепляющийся к мембране.) Другая половина белка не скручена, она образует гибкий хвост, который свисает в пространство между клетками.

Несмотря на то что исследователи не полностью разобрались в форме прионов, мы знаем, что у неправильной формы обычно меньше альфа-спиралей и больше «бета-листов» — сложенных и прижатых друг к другу нитей аминокислот. В этой форме белок меньше поддается расщеплению

ферментами. Такая форма становится прионом (то есть белковой инфекционной частицей) и может служить шаблоном, побуждая другие молекулы *PrP* взаимодействовать и изменять форму. Прионы распространяются по мозгу, образуя фибриллы и скопления и непонятным пока образом убивая нервные клетки.

У разных штаммов прионов различаются и свойства: клинические проявления и восприимчивость животными разных видов. Мало того, оказывается, каждый штамм может на самом деле состоять из нескольких разных неправильных конформаций белка *PrP*, подобно тому как популяция патогенных бактерий может быть генетически неоднородной, так что некоторые представители получают преимущество при изменении обстоятельств. Такой неоднородностью объясняется, почему провалилась одна из предлагавшихся стратегий лечения — поиск веществ, снижающих количество прионов в клетках. Например, противомаларийный препарат кинакрин эффективен против прионов в клеточных культурах, но исследования на людях, в том числе рандомизированное двойное слепое клиническое испытание в 2013 г., показали, что пациентам он не помогает. В ходе дальнейших экспериментов в лаборатории Прузинера в Калифорнийском университете в Сан-Франциско с кинакрином и другими веществами выяснилось, что даже если лекарство разрушает одну из неправильных форм белка, другие могут продолжить процесс, таким образом сформируется устойчивость к препарату.

Парадигма профилактики

Другая серьезная проблема — найти людей, на которых можно было бы протестировать будущее лекарство. Как правило, для клинических испытаний нового препарата набирают больных пациентов, чтобы посмотреть, будут ли те, кто принимает лекарство, чувствовать себя лучше или жить дольше, чем те, кто получает плацебо. Но при таком быстро прогрессирующем заболевании к моменту выявления у пациентов симптомов заболевания люди уже получают значительные повреждения. В самом крупном опубликованном клиническом исследовании лекарств от прионной болезни, когда был протестирован препарат доксициклин, примерно половина пациентов до начала испытания уже находилась на аппарате жизнеобеспечения. (Доксициклин не помог.)

Основная проблема — взрывной характер заболевания. Число прионов увеличивается экспоненциально. Еще до появления симптомов мозг уже наполнен миллионами прионов. И когда они начинают убивать клетки мозга, их количество еще увеличивается — и в этот момент даже эффективный противоприонный препарат вряд ли поможет.

В будущем можно пытаться выявлять пациентов на ранней стадии заболевания, но поймать эту болезнь на таком этапе невероятно трудно. Врачи даже не подозревают о прионном заболевании, пока не пройдет в среднем три месяца с момента появления первых симптомов — а к этому времени Камни уже не могла говорить. Даже если бы лекарство остановило болезнь на этом этапе, оно не устранило бы уже произошедшие повреждения мозга.

Таким образом, лекарство, которое могло бы поддерживать здоровье Сони, не помогло бы пациентам на более поздних стадиях, когда уже появились симптомы. Испытания антиприонных препаратов на мышах показали, что это касается многих, даже большинства лекарств, которые мы можем создать для борьбы с прионным заболеванием. Одна небольшая полученная в лаборатории Прузинера молекула под названием *IND24* может в четыре раза увеличивать продолжительность жизни мышей, зараженных прионами, если давать ее профилактически, но приносит меньше пользы, если давать ее позже, и теряет даже намек на эффективность, если у грызунов уже появились симптомы. Это же верно и для трех других химических соединений, для которых доказана эффективность против мышинных штаммов прионов: на чем более ранних стадиях начато лечение, тем лучше они действуют.

Выдающиеся умы годами бились над этой проблемой, сталкиваясь с болезнью Альцгеймера, для которой так же характерно скопление белков. Одно за другим испытания показывали бесполезность потенциальных лекарств, воздействующих на накопление бета-амилоида — аномального белка, обнаруженного в мозге пациентов с болезнью Альцгеймера. Тогда исследователи задумались, ошибочна ли гипотеза о механизмах или лечение просто начинают слишком поздно. Чтобы проверить, действительно ли антиамилоидные препараты задерживают развитие болезни Альцгеймера, используют два подхода. Во-первых, можно случайным образом разделить пока еще здоровых людей с высоким генетическим риском раннего старта заболевания на две группы, одна из которых получает лекарство, а другая — плацебо, и годами наблюдать, у кого из них начнется ухудшение когнитивных способностей. При другом подходе, который иногда называют вторичной профилактикой, набирают группы когнитивно здоровых людей, у которых уже выявлены молекулярные признаки заболевания, чтобы проверить, задерживает ли препарат появление симптомов. Такие молекулярные маркеры появляются за десятки лет до проявления заболевания.

Ни один из этих подходов, по-видимому, не работает для прионной болезни. Наблюдение за генетически предрасположенными людьми до начала

заболевания оказывается невозможным из-за сильного разброса возраста начала и небольшого количества пациентов. Мы и другие исследователи изучали людей с риском развития прионной болезни, но не обнаружили таких явных доказательств развивающейся патологии, какие наблюдаются при болезни Альцгеймера. Прионное заболевание, по-видимому, практически не обнаруживается до появления деменции: оно больше похоже не на товарный поезд, начинающий грохотать задолго до приближения, а на мгновенное появление падающего астероида.

Оставить болезнь без пищи

Что мы в итоге имеем? Если испытание лекарств на пациентах с симптомами дает неверные результаты, а испытания эффективности профилактики невозможны, как мы можем показать, что лекарство способно спасти жизнь Соне? Мы пришли к убеждению, что ответ был дан нам в самом начале нашего пути — в виде результата генетического теста, который изменил нашу жизнь. Мы уже знаем тот единственный ген, который вызывает заболевание, и единственный белок, из-за которого все пойдет не так. Решение в том, чтобы воздействовать на нормальный *PrP* прежде, чем он когда-нибудь примет неправильную форму.

Все говорит о том, что если мы сможем снизить количество образующегося в мозге *PrP*, то нам удастся задержать развитие заболевания. Например, у зараженных мышей, вырабатывающих в два раза меньше *PrP*, прионное заболевание развивается более чем в два раза позже. Если поблизости меньше *PrP*, прионам нужно значительно больше времени для размножения. К счастью для нас, *PrP*, по-видимому, не играет существенной роли в работе мозга. Мыши, козы и коровы, у которых был «выбит» ген, отвечающий за синтез *PrP*, здоровы, так же как и люди, у которых выключена одна из копий гена.

Прицельное снижение количества *PrP* в мозге сейчас можно осуществить с помощью антисмысловых олигонуклеотидов (АСО). Это короткие химически модифицированные фрагменты ДНК, содержащие последовательности нуклеотидов, связывающиеся с определенной молекулой РНК и способные запустить ее разрушение, так что с нее больше не будет синтезироваться белок. Недавно компания *Ionis Pharmaceuticals* в Карлсбаде, штат Калифорния, выяснила, как вырабатывать и дозировать АСО для введения в центральную нервную систему человека. Сотрудничая с этой компанией, за прошедшие пять лет мы показали, что АСО, снижающие уровень *PrP*, позволяют зараженным прионной инфекцией мышам дольше оставаться здоровыми. Эти доклинические результаты в сочетании с теми клиническими, генетическими и другими данными, которые мы собрали,

и с созданным нами регистром пациентов убедили руководство компании начать разработку лекарства от прионного заболевания на основе АСО с целью провести в ближайшие годы первые испытания на людях. Впервые крупная промышленная компания обещает создать рациональный целенаправленный способ лечения прионного заболевания.

Если АСО, снижающие содержание *PrP*, окажутся полезными для пациентов, у которых уже появились симптомы прионного заболевания, мы будем в восторге. Но нам нужно найти возможность с пользой применять такой препарат для пациентов из группы риска, даже если окажется, что он работает только в качестве профилактики. Мы предполагаем, что концентрация *PrP* в спинномозговой жидкости может служить фармакодинамическим биомаркером — молекулярной мерой того, выполняет ли препарат свою задачу. Этот показатель может, в свою очередь, показать успешность клинических испытаний там, где нельзя напрямую оценить улучшение состояния пациента. Таким образом, мы предлагаем лечить людей, которые пока еще здоровы, и показать, что уровень белка, вызывающего заболевание, у них снижается. В США для таких случаев есть программа под названием «Ускоренное одобрение» и есть прецеденты, в том числе использование «вирусной нагрузки» как маркера при одобрении лекарств от ВИЧ/СПИД.

В 2017 г. мы выдвинули это предложение на встрече с представителями Управления по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов (FDA) США, и наш профилактический подход был встречен с энтузиазмом. Мы ушли оттуда со списком задач и новой командой соратников. За прошедшие два года мы научились точно измерять количество *PrP* в спинномозговой жидкости и доказали, что белок попадает туда из центральной нервной системы. Кроме того, мы знаем, что его уровень достаточно стабилен с течением времени, и это позволит оценить снижение содержания *PrP* из-за приема препарата.

Пробиваться вперед

Мы все еще встречаем значительное сопротивление. С какого возраста надо начинать лечить людей? Как мы в итоге докажем, что лекарство отодвигает развитие заболевания? Это важные вопросы, и у нас есть способы получить аргументированные ответы. Но с учетом того, как редко терапевтическое вмешательство используется для поддержания здоровья мозга, уровень беспокойства, связанного с этой темой, довольно высок. Вероятно, самый большой вопрос, который мы получаем: будут ли страховые компании оплачивать такое лечение? А за ним стоит еще более широкий вопрос: будет ли общество в течение многих лет

оплачивать лекарство людям, которые пока еще здоровы и, если лекарство подействует, могут так никогда и не заболеть?

В кои-то веки редкость нашего заболевания может пойти нам на пользу. Пациенты с прионной болезнью встречаются редко, с наследственной формой — еще реже, а те, кто еще до начала заболевания знает, что находится в группе риска, — еще реже. Наше влияние на бюджет страховой компании ничтожно по сравнению с тем, которое оказывают миллионы людей, принимающие новые лекарства от болезней сердца или диабета. Но можно взглянуть шире. Мы как общество должны понять, чего мы хотим для наших мозгов. Если бы вы были одним из тех 20% людей, которых впереди ожидает нейродегенеративное заболевание, и если бы у вас было лекарство для предотвращения болезни, когда вы начали бы его принимать? Стали бы вы ждать, пока начнет развиваться деменция? Когда появятся легкие когнитивные нарушения? Когда МРТ покажет, что ваш мозг уменьшается? Или вы приняли бы его до того, как все это произойдет?

В случае с прионами у нас может не быть выбора. Но это также означает, что мы можем целенаправленно заняться именно предотвращением заболевания. Несмотря на прогресс современной

нейробиологии, мозг каждого человека остается невыразимо, непостижимо сложным, это сеть из связанных друг с другом примерно 100 млрд нейронов, которую мы не понимаем, не можем починить или заменить. Если вы спросите себя, чего вы хотите для своего мозга и для мозга тех, кого любите больше всего на свете, вы обнаружите, что ответ такой же, как и наш: предотвращение. ■

Перевод: М.С. Багоцкая

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Прузинер С. Диагностика коровьего бешенства // ВМН, № 10, 2004.
- Antisense Oligonucleotide Therapies for Neurodegenerative Diseases. C. Frank Bennett et al. in Annual Review of Neuroscience, Vol. 42, pages 385–406; July 2019.
- Antisense Oligonucleotides Extend Survival of Prion-Infected Mice. Gregory J. Raymond et al. in JCI Insight, Vol. 4, No. 16, Article e131175; August 22, 2019.
- The Patient-Scientist’s Mandate. Sonia M. Vallabh in New England Journal of Medicine, Vol. 382, No. 2, pages 107–109; January 9, 2020.

Выходит 6 раз в год

Познавательный журнал для хороших людей

Новый препарат против клещевого энцефалита на основе человеческого иммуноглобулина с «мышинным» фрагментом прошел доклинические испытания

Для ранней диагностики агрессивных опухолей мозга можно использовать «метаболомный профиль» крови, отражающий содержание десятков небольших молекул-метаболитов

Летучие мыши – природный резервуар опасных для человека вирусов, имеют рекордную для своего веса продолжительность жизни

А. М. Сагалаев: «Архаичная культура не нуждается в защите или оправдании, она требует понимания»

Современное понимание физического смысла «предела Chandrasekara» о максимальной массе белых карликов сильно отличается от его расхожей интерпретации

www.scfh.ru



ЗООПСИХОЛОГИЯ

Звериная птичья разумность

Некоторые виды птиц умеют
мастерить орудия и узнают
свое отражение в зеркале.
Как крошечный птичий
мозг обеспечивает такой
блестящий интеллект?

Онур Гюнтюркюн

ОБ АВТОРЕ

Онур Гюнтюркюн (Onur Güntürkün) — профессор биопсихологии в Рурском университете в Бохуме (Германия). Изучает когнитивные способности и их нейробиологические основы у людей, голубей и других животных.



Сотрудники нашей лаборатории в Рурском университете в Бохуме (Германия) осторожно извлекают обыкновенную сороку по кличке Герти из жилой клетки, закрывают голову птицы небольшим лоскутком ткани и прикрепляют к черным перьям на ее шее маленькую желтую наклейку, которую сорока видеть не может. Затем мы помещаем Герти в экспериментальный вольер с большим зеркалом и оставляем ее в покое, а сами переходим в соседнюю комнату, где с помощью монитора можно наблюдать за поведением птицы. Едва взглянув в зеркало, Герти принимается яростно отдиравать наклейку с перьев, безжалостно расчесывая шею лапой. Достигнув желаемого результата, птица бросает последний взгляд в зеркало и окончательно успокаивается. У высших приматов ученые считают такое поведение основным признаком сложного когнитивного процесса — самоузнавания. У птиц оно никогда прежде не наблюдалось.

В тот памятный день 2006 г. все мы были охвачены сильным волнением, но в воздухе, казалось, висел очевидный вопрос: «А что если ли мы ошибаемся?» Не могла ли Герти удалить наклейку просто потому, что чувствовала, что к ее шее что-то прилипло? Чтобы проверить это предположение, наша бохумская команда ученых в составе Хельмута Приора (Helmut Prior), Арианы Шварц (Ariane Schwarz) и автора настоящей статьи провела еще один эксперимент, но на сей раз мы прикрепили к шее Герти не желтую, а черную наклейку, которая почти не выделялась на фоне ее оперения. В дополнительной серии контрольных опытов мы помещали на шею сороки желтую наклейку, но зеркала в клетку не помещали. Во всех этих тестах птица не делала никаких попыток содрать с горла стикер. Таким образом, поведение, направленное на удаление наклейки, сорока обнаруживала

только в том случае, если ясно различала ее отражение в зеркале на фоне перьев. Поскольку несколько других изученных нами особей обыкновенной сороки вели себя точно так же, мы заключили, что птицы этого вида, по-видимому, прекрасно понимают, что видят в зеркале собственное отражение.

До недавнего времени способность к самоузнаванию была обнаружена помимо людей лишь у некоторых млекопитающих с очень крупным головным мозгом — шимпанзе, индийских слонов и дельфинов афалин. Эта способность — лишь одно из многочисленных проявлений сложнейшей когнитивной активности, которое у отдельных птиц (попугаев и представителей семейства врановых) ученые описали лишь несколько лет назад. Полученные факты ставят под сомнение фундаментальные представления о том, что сложные

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Попугаи, врановые птицы и другие пернатые обнаруживают сложную когнитивную активность (выявление причинно-следственных связей, планирование действий, совершенствование социальных навыков и т.д.).
- Для многих биологов высокие когнитивные способности птиц оказались сюрпризом. У птиц — животных со сравнительно небольшим головным мозгом, лишенным коры, — ученые обнаружить их попросту не ожидали.
- Небольшие размеры мозга птицы компенсируют высокой плотностью нейронов. В процессе эволюции птицы и млекопитающие (звери) независимо друг от друга сформировали сходные нейронные сети и отделы мозга, ответственные за когнитивные функции.



когнитивные навыки требуют наличия у животных хорошо развитой коры головного мозга — слоя серого вещества, покрывающего снаружи большие полушария. Согласно этой догме, поскольку мозговой коры у птиц нет, выполнять тесты на самоузнавание и прочие сложные когнитивные задания они не могут. Но изучение интеллектуальных способностей пернатых в последние годы показало, что за сотни миллионов лет эволюции птицы и млекопитающие — две группы животных, сильно различающиеся физиологией мозга, — обрели на удивление сходные когнитивные способности, лежащие в основе анализа и запоминания информации, логических операций и принятия решений.

Многоликая когнитивная эволюция

Почему же биологи так долго не замечали интеллектуальных способностей пернатых? Чтобы ответить на этот вопрос, перенесемся в Германию конца XIX столетия и посетим нейроанатомическую лабораторию Людвиг Эдингера во Франкфуртском университете им. И.В. Гете. Эдингер жил в 1855–1918 гг. и изучал строение и развитие головного мозга и когнитивные способности позвоночных животных. Ученый был убежден в постепенном характере эволюции мозга и его медленном

Обыкновенная сорока внимательно изучает свое отражение в зеркале в тесте на самоузнавание

усложнении в филогенетическом ряду позвоночных — рыб, амфибий, рептилий, птиц и млекопитающих (зверей). Эдингер установил, что все основные «комплектующие части»

мозга у позвоночных существовали всегда.

В процессе эволюции наиболее существенные изменения, похоже, претерпел так называемый передний мозг — крупный расположенный спереди отдел головного мозга. В этой трансформации ученые и видят главную причину улучшения когнитивных способностей у животных. Передний мозг состоит из двух основных частей — паллиума, или плаща, покрывающего снаружи мозговые полушария, и расположенного под ним субпаллиума (подплащевых структур). У млекопитающих мозговой плащ представлен главным образом шестислойной корой головного мозга (основным отделом мозга, ответственным за когнитивные процессы у этих животных), но содержит также и более мелкие структуры (миндалину, гиппокамп и др.). Напротив, субпаллиум млекопитающих напоминает однородное скопление нейронов, где хранятся и затем активируются приобретенные двигательные паттерны. У птиц картина совершенно иная. Поскольку их мозговой плащ (паллиум) сильно напоминает субпаллиум, Эдингер принял большую его часть за подплащевые структуры. В результате

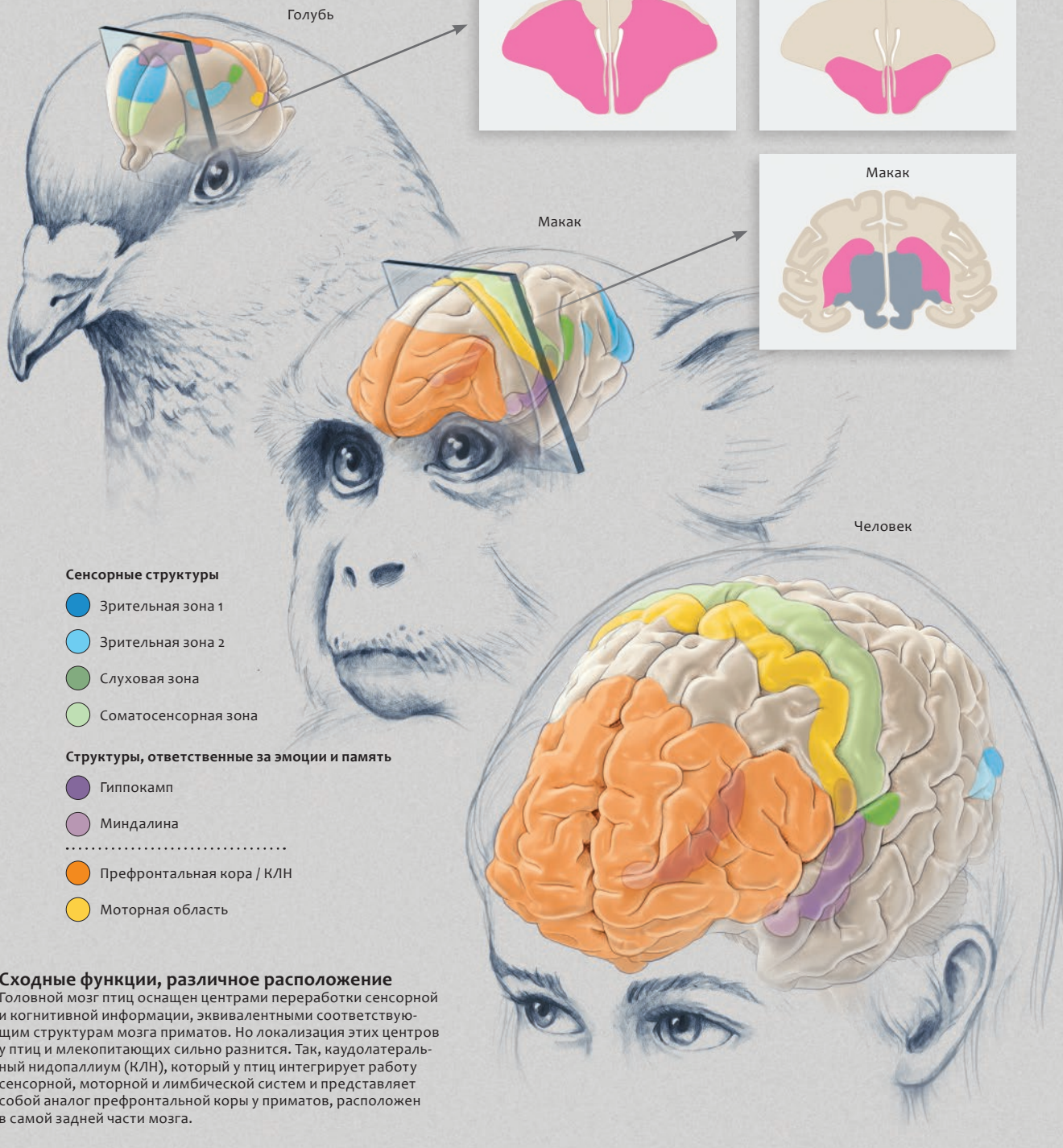
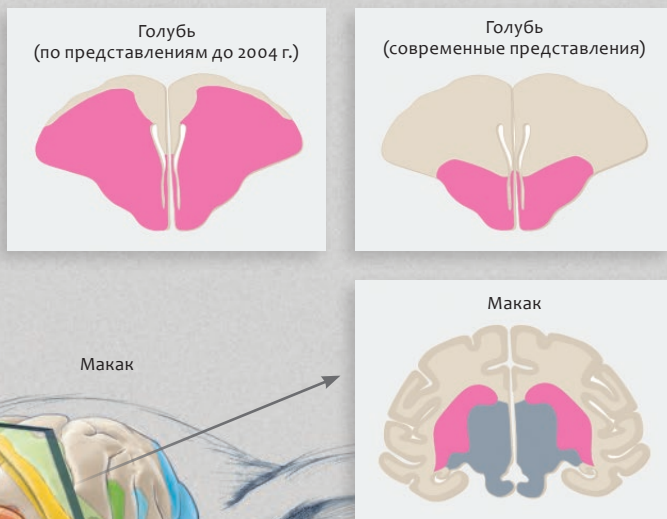
Птичья мозговитость

Из-за крошечных размеров птичьего головного мозга нейробиологи долгое время полагали, что пернатые существа попросту не могут быть умными. Сегодня, однако, выражение «куриные мозги» потеряло первоначальный смысл. В процессе эволюции птицы сформировали особую нервную сеть, нередко позволяющую им проявлять выдающиеся когнитивные способности.

Новые представления

Вплоть до 2004 г. ученые считали, что паллиум (плащ) — особая структура, ответственная за сложную когнитивную активность, — составляет у птиц лишь незначительную часть переднего мозга. Согласно новым представлениям, относительные размеры этой области у птиц сравнимы с паллиумом макаков.

○ Паллиум ● Субпаллиум ● Другие области



Сенсорные структуры

- Зрительная зона 1
- Зрительная зона 2
- Слуховая зона
- Соматосенсорная зона

Структуры, ответственные за эмоции и память

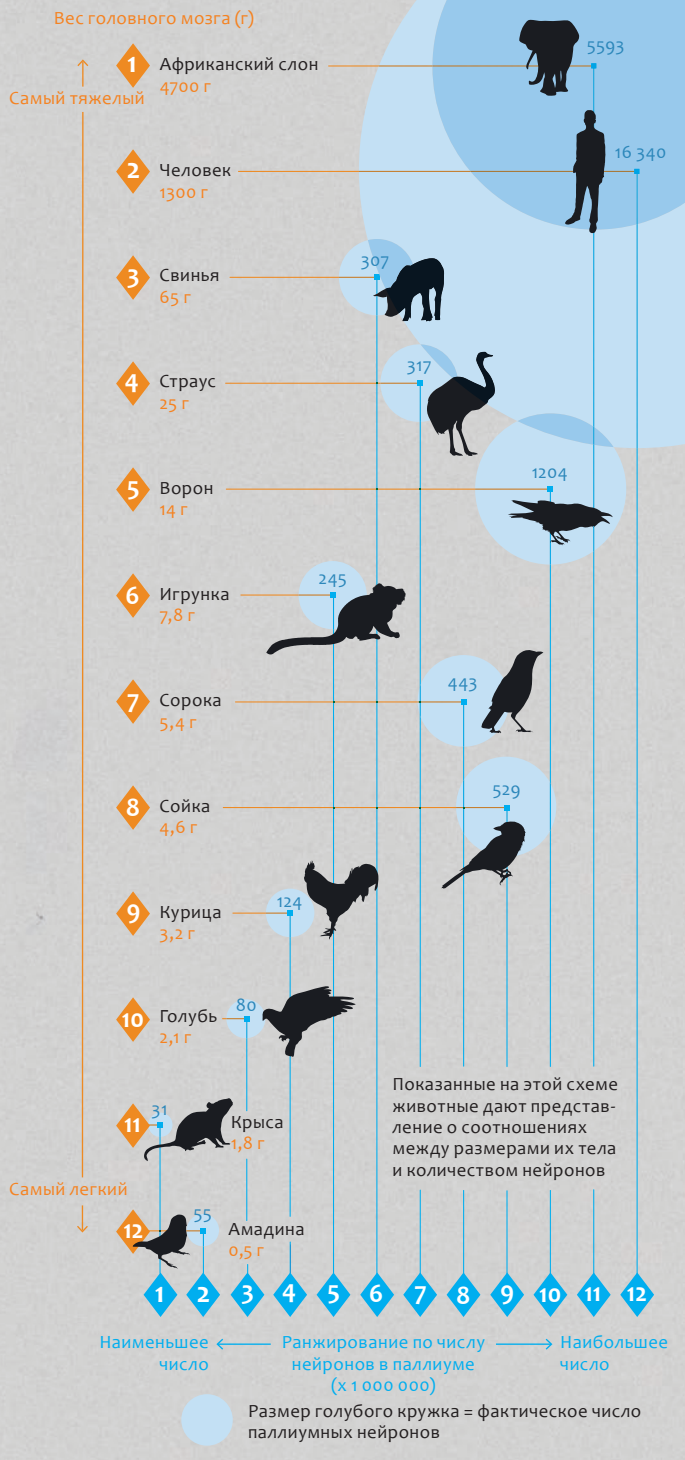
- Гиппокамп
- Миндалина
-
- Префронтальная кора / КЛН
- Моторная область

Сходные функции, различное расположение

Головной мозг птиц оснащен центрами переработки сенсорной и когнитивной информации, эквивалентными соответствующим структурам мозга приматов. Но локализация этих центров у птиц и млекопитающих сильно различается. Так, каудолатеральный нидопаллиум (КЛН), который у птиц интегрирует работу сенсорной, моторной и лимбической систем и представляет собой аналог префронтальной коры у приматов, расположен в самой задней части мозга.

Сравнение мозга различных животных

Почему птицы такие умные? Во-первых, у них больше нейронов, чем у других животных сравнимых размеров. Но количеством нейронов они все-таки сильно уступают млекопитающим. Зато нервные клетки «упакованы» в мозге пернатых гораздо плотнее, а потому сигналы, которыми они постоянно обмениваются, перемещаются на меньшие расстояния. Таким образом, меньшее количество нейронов в птичьем мозге компенсируется увеличением скорости передачи нервных сигналов.



он заключил, что птицам свойствен огромный субпаллиум и очень небольшой плащ, а потому их когнитивные способности должны быть весьма ограниченными.

Какая досадная ошибка! Но Эдинггер был весьма авторитетным ученым своего времени, и его теория, казалось, вполне убедительно объясняла превосходство когнитивных способностей млекопитающих. Ошибочные представления Эдинггера доминировали более столетия и оказывали сильное влияние на развитие нейробиологии вплоть до начала XXI в.

Птичий мозг и интеллект считались учеными «второсортными» и по иной причине. Птицы и млекопитающие сильно различаются массой и размерами головного мозга. Из всех пернатых самый крупный мозг имеет страус, но весит он всего 25 г. Между тем головной мозг шимпанзе весит примерно 400 г, человека — 1300 г, а кашалота — 9000 г! Кроме того, установлено, что у приматов, а возможно и у других животных, масса головного мозга тесно коррелирует с когнитивными способностями его обладателей. Таким образом, из-за отсутствия крупного мозгового плаща и скромных размеров мозга умственные способности пернатых долгое время считались весьма посредственными. Но как же тогда быть с сорокой Герти, с первого взгляда узнающей себя в зеркале и сильно превосходящей этой способностью большинство видов «головастых» и «мозговитых» млекопитающих? Либо мы и в самом деле переоцениваем силу птичьего интеллекта, либо что-то не так с нашими традиционными представлениями о том, что выдающиеся умственные способности требуют громадной, хорошо развитой мозговой коры.

Мастера из Новой Каледонии

Кое-какие соображения по этому поводу приходят в голову при наблюдении за жизнью новокаледонских воронов, обитающих на небольших островах в южной части Тихого океана и питающихся главным образом личинками насекомых, которых птицы ловко вытаскивают из трещин в коре деревьев. В 1996 г. Гэвин Хант (Gavin Hunt), работавший в то время в Университете Мэсси в Новой Зеландии, сообщил, что птицы этого вида способны мастерить два типа орудий, с помощью которых они и добывают пищу. Невероятная сложность этого процесса заставила Ханта сравнить его с изготовлением каменных орудий первобытными людьми среднего палеолита, жившими на планете 300–40 тыс. лет назад.

Пользоваться орудиями, похоже, способны несколько видов животных, но при строгой постановке экспериментов выясняется, что такое поведение во многом базируется на врожденных, жестко запрограммированных в мозгу последовательностях действий, а не становится результатом

когнитивной оценки стоящих перед ними проблем. А какова природа механизмов орудийной деятельности новокаледонских воронов? Для выяснения этого вопроса Алекс Тейлор (Alex Taylor) из Оклендского университета в Новой Зеландии и Рассел Грей (Russell Gray) из Института изучения истории человечества Общества Макса Планка в Йене провели ряд специальных исследований. Опыты ученых показали, что эти птицы способны решать различные проблемы путем анализа лежащих в их основе причинно-следственных связей. Они заранее планируют свои действия, используя мысленные представления о еще не существующих объектах, и делают заключения о логических связях между наблюдаемыми событиями.

Но понимание воронами механики совершаемых действий ограничено определенными рамками. Хотя птицы, например, делают правильные заключения о массе предметов, наблюдая за их раскачиванием на ветру, иногда они не в силах понять, что при падении на какую-либо поверхность более тяжелые предметы оказывают на нее более сильное воздействие, чем легкие. В целом можно утверждать, что новокаледонские вороны отлично разбираются в большинстве физических аспектов окружающего мира, но не во всех.

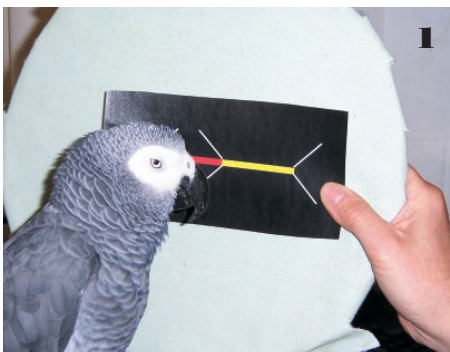
А что можно сказать об их социальных знаниях? Вороны неплохо работают в команде, но не понимают, что при решении проблем партнерам нередко выгоднее сотрудничать друг с другом и превращаться в своего рода «социальный инструмент», с помощью которого можно легче и быстрее достичь желаемых результатов. Они смотрят на предметы, которыми манипулируют другие особи, но упускают из внимания критические детали их поведения, которые позволили бы им понять смысл выполняемых последовательностей действий. Вместо этого они, похоже, мысленно представляют себе, как должно работать орудие, а затем проектируют его по памяти, а не учатся на опыте сородичей. Таким образом, в процессе

эволюции вороны научились прекрасно разбираться в физических аспектах окружающего мира, но их когнитивная активность, связанная с социальными взаимодействиями, остается на низком уровне. Свойственна ли эта особенность только новокаледонским воронам или же она характерна и для других птиц? Ответ на этот вопрос дает изучение обыкновенных воронов.

Пернатые политики

Молодые обыкновенные вороны (*Corvus corax*), еще не обзаведшиеся брачными партнерами или гнездовыми территориями, живут поодиночке либо небольшими группами, нередко собираясь в многочисленные стаи у богатых источников пищи (например, туш мертвых животных). Чтобы получить доступ к продовольственным запасам крупных четвероногих хищников, вороны созывают сородичей и прибегают к различным диверсионным тактикам. Не менее хитроумные стратегии они используют и для того, чтобы предотвратить разворовывание собственных запасов пищи другими птицами. Супружеские пары воронов, приступившие к размножению, ревностно охраняют свой гнездовой участок от вторжения сородичей. Во время возникающих при этом драк супруги, а также одинокие птицы, обладающие многочисленными и прочными социальными связями, имеют гораздо более высокие шансы одержать победу и защитить свои продовольственные кладовые. Одними из первых ученых, выявивших наличие столь высокоразвитых социальных стратегий у обыкновенных воронов, были Томас Бугняр (Thomas Bugnyar) из Венского университета и Бернд Хайнрих (Bernd Heinrich) из Вермонтского университета и их сотрудники.

Основой всех подобных форм активности служит, по-видимому, способность к интуитивной оценке социальных сетей, к которым принадлежат другие птицы, а также интуитивному пониманию намерений тех пернатых, с которыми можно столкнуться во время повседневных перемещений.



Птичья смекалка: попугай жако становится жертвой оптической иллюзии (1); ворон орудует инструментом (2); голубая сойка выполняет тест на память (3)

Вороны четко идентифицируют крики, свидетельствующие о возможном изменении социального ранга сородича, и прекрасно понимают, когда подвергаются нападению доминантного ворона. В присутствии своих кровных родственников они стараются предупредить их об опасности повторными тревожными криками, но если поблизости находится супруг атакующей птицы, вороны становятся более молчаливыми. Поскольку после образования супружеских пар иерархический ранг птиц повышается, вороны внимательно следят за брачным поведением сородичей и, чтобы помешать формированию пары, нередко даже агрессивно вмешиваются в этот процесс. Не исключено, что этим вмешательством они пытаются не дать птицам-соперникам повысить свой социальный статус.

Во многих ситуациях огромную помощь птицам оказывает их социальная компетентность. Вороны внимательно следят за тем, наблюдают ли за ними другие птицы, способные посягнуть на припрятанную ими пищу. Похоже, они понимают, что именно удалось подсмотреть другим птицам, и даже могут оценить степень осведомленности этих соглядатаев. При необходимости вороны обманывают потенциальных воров, притворяясь, что они впрямь прячут снесь в каком-нибудь тайнике.

Все социальные навыки дополняются у воронов высокой степенью самоконтроля и прекрасным пониманием того, в каких ситуациях при взаимодействиях с другими животными следует прибегать к грубой силе, а когда лучше отступить. Кроме того, как показали сотрудники Лундского университета в Швеции Кан Кабадайи (Can Kabadayi) и Матиас Осват (Mathias Osvath), вороны способны прогнозировать будущие события. Когда птицам предлагают на выбор камень или небольшое лакомство, они предпочитают обзавестись камнем — ведь на следующий день они смогут использовать его в качестве орудия и получить с его помощью более весомое вознаграждение. И за все эти многогранные когнитивные навыки и способности ответствен головной мозг массой всего 14 г!

О голубях и попугаях

Помимо обыкновенного и новокаледонского воронов, в семействе врановых есть и другие пернатые интеллектуалы. Никола Клейтон (Nicola Clayton) из Кембриджского университета в результате двадцатилетних исследований показал, что не менее выдающимися умственными способностями обладают и обитающие в Северной Америке кустарниковые сойки. Более того, эти птицы оказались первыми животными, у которых была выявлена свойственная человеку эпизодическая память, то есть способность вспоминать конкретные события из прошлой жизни и использовать их для планирования будущих действий.

Когнитивные способности, сравнимые с интеллектом обезьян, обнаруживают и некоторые попугаи. Вспомним, например, легендарного серого попугая (жако) по кличке Алекс. Сотрудница Гарвардского университета Айрин Пепперберг (Irene Pepperberg), которую наряду с Клейтоном следует считать пионером в области изучения когнитивных способностей у попугаев и врановых, выявила у Алекса способности к категоризации различных предметов, действий и цифр от 1 до 8. Кроме того, ученые подтвердили, что Алекс имел представление об относительных размерах предметов и умел выявлять сходство и различия между ними. Алекс даже умел складывать однозначные числа и понимал значение нуля.

Но сколь бы впечатляющими ни были эти исследования, приматологи вполне оправданно задаются вопросом, не ограничен ли птичий интеллект лишь несколькими узкими когнитивными областями и сравним ли он с широким диапазоном умственных способностей приматов. Если это так, попугаи и врановые птицы должны проваливать тесты, отличающиеся широким разнообразием заданий. Для проверки этой гипотезы Томас Бугняр и автор настоящей статьи решили провести анализ исследований, в которых оценивались самые разные аспекты когнитивных способностей обезьян и птиц (попугаев и врановых). Проанализировав все найденные литературные данные, мы пришли к заключению, что уровнем и многогранностью интеллекта врановые птицы и попугаи вполне сопоставимы с обезьянами.

Но попугаи и врановые славятся своим умом и смекалкой с незапамятных времен. А что в этом отношении можно сказать о голубях и прочих «обычных» пернатых? Если мозг обыкновенной сороки, обыкновенного ворона и новокаледонского ворона весит соответственно около 5,5 г, 8 г и 14 г, то его масса у сизаря составляет всего 2 г, что сравнимо с массой головного мозга крысы. Но даже голуби — довольно сообразительные существа. Как показали сотрудники Рурского университета Лоренцо фон Ферзен (Lorenzo von Fersen) и Хуан Делиус (Juan Delius), голуби могут запомнить 725 абстрактных узоров и делать транзитивные логические умозаключения (пример: если известно, что Дженнифер выше Сони, а Соня выше Сары, можно заключить, что Дженнифер выше Сары).

Недавно сотрудники Отагского университета Дэмиан Скарф (Damian Scarf) и Майк Коломбо (Mike Colombo), автор этой статьи и ряд других ученых установили, что голуби довольно быстро обучаются различать английские слова, состоящие из четырех букв, и бессмысленные сочетания звуков, состоящие из трех согласных и одной гласной. Голуби не только овладели этим навыком, но и использовали его для различения новых наборов слов и буквосочетаний с помощью

орфографических стратегий, напоминающих те, что используются школьниками начальных классов. В целом в некоторых (но далеко не во всех) когнитивных тестах голуби обнаруживают интеллектуальные способности, сравнимые с таковыми попугаев и врановых птиц. Но даже в случае успеха им требуется гораздо больше времени на то, чтобы овладеть тем или иным навыком или понять суть задания. Далеко не все пернатые столь же умны, как вороны или попугаи. Тем не менее они гораздо умнее, чем прежде считали ученые.

Птицы, успешно справляющиеся с решением сложных и разнообразных когнитивных задач, вынуждены «компенсировать» отсутствие крупного мозга и коры больших полушарий какими-то иными приспособлениями. Харви Картен (Harvey Karten), работающий сегодня в Калифорнийском университете в Сан-Диего, еще в 1960-х гг. провел серию исследований, показавших, что большая часть мозговой структуры птиц, которую Эдингер принимал за субпаллиум, — это фактически паллиум (мозговой плащ). Он установил, что сенсорные и моторные пути, соединяющие птичий паллиум с другими структурами мозга, идентичны нервным путям коры млекопитающих. В 2002 г. международный консорциум нейробиологов рассмотрел все накопленные к тому времени данные и пришел к выводу, что мозговой плащ птиц гораздо крупнее, чем считалось ранее. Кроме того, птичий паллиум сильно напоминает паллиум млекопитающих и имеет общее с ним происхождение.

Помимо мозговой коры, паллиум млекопитающих включает и другие структуры (например, гиппокамп и миндалину). Вопрос о том, какую часть птичьего паллиума можно уподобить мозговой коре млекопитающих, до сих пор составляет предмет научных споров. По мнению одних ученых, большая часть паллиума пернатых устроена точно так же, как некоторые слои коры, другие считают, что большая его часть скорее напоминает строением миндалину и другие подкорковые структуры. Важно подчеркнуть, что благодаря эволюционному процессу, получившему название конвергенции, несхожие мозговые структуры двух групп животных могут выполнять одинаковые функции. Один из наглядных примеров — префронтальная (предлобная) кора (ПФК). У млекопитающих этот отдел мозга играет ключевую роль во всех формах когнитивной активности.

В начале 1980-х гг. Йеспер Моргенсен (Jesper Mogensen) и Иван Дивак (Ivan Divac) из Копенгагенского университета в Дании сообщили, что одна из областей задней части птичьего паллиума сильно напоминает строением ПФК млекопитающих. По сути дела, этот факт и побудил меня приступить к продолжающейся и поныне серии исследований, направленной на изучение нервного субстрата когнитивной активности у птиц. Своими

экспериментами мне хотелось окончательно подтвердить, что именно эта область птичьего мозга и есть та зона, которая, подобно коре млекопитающих, опосредует взаимодействие между поступающими в мозг сенсорными сигналами и исходящими из него моторными (двигательными) командами. Эта зона получила название каудолатерального нидопаллиума (КЛН). Как и ПФК, КЛН играет ключевую роль во всех формах когнитивной активности и отвечает за понимание птицами правил эксперимента, оценку ими возможных последствий собственных действий и окончательное принятие решения.

Хотя ЛКН и ПФК обладают большим сходством, генетические свидетельства и их расположение в самой задней (у птиц) и самой передней (у зверей) части паллиума указывают на то, что возникли они, вероятно, из разных структур. Скорее всего, у древних предшественников птиц и млекопитающих они выполняли совершенно различные функции, но за 300 млн лет конвергентной эволюции превратились в образования, ответственные за когнитивную интеграцию поступающих в мозг сенсорных сигналов и исходящих из него моторных команд. Во время своих исследований я часто задумывался над знаменитой фразой одного из героев фильма «Парк юрского периода» доктора Яна Малколма: «Жизнь всегда находит какой-то выход». Если две различные группы животных отчаянно нуждаются в отделе мозга, призванном управлять когнитивной активностью, обе эти группы независимо друг от друга обзаводятся структурой, аналогичной ПФК.

Чтобы выяснить, каким образом физиологически разнородные мозговые субстраты могут обеспечивать одни и те же когнитивные функции, Мюррей Шанахан (Murray Shanahan) из Имперского колледжа Лондона, автор этой статьи и ряд других ученых провели детальное изучение коннектома (системы межнейронных связей) голубино-го паллиума. Поскольку птичий паллиум сильно отличается от мозговой коры млекопитающих, мы предполагали, что и характер нервных связей в этих структурах будет существенно различаться. На деле, однако, все оказалось иначе: нервные сети птичьего паллиума — а точнее, его отдельных областей, ответственных за те или иные функции, — поразительно напоминали нервные связи коры млекопитающих. Сделанный нами вывод был прост: если в процессе эволюции у двух групп животных формируются сходные когнитивные функции, одинаковыми у них должны быть и схемы нервных соединений.

Но главный вопрос по-прежнему оставался без ответа. Как птицам удалось достичь столь высокого уровня интеллекта при таких небольших размерах головного мозга? Пытаясь дать на него ответ, сотрудники Карлова университета в Праге

Северин Олькович (Seweryn Olkowicz) и Павел Немец (Pavel Nemes), Сузана Эркулано-Хаузел (Suzanaerculano-Houzel) из Университета Вандербильта и ряд других ученых провели оценку количества нейронов в головном мозге 28 видов птиц. Биологи с удивлением обнаружили, что в мозге врановых птиц и попугаев нейронов оказалось в два раза больше, чем можно было бы ожидать, учитывая размеры их мозга. По мнению исследователей, врановые птицы и попугаи превосходят силой интеллекта некоторых обезьян с более крупным головным мозгом, потому что эти «избыточные» нейроны располагаются у них главным образом в паллиуме.

Но даже если птицы и располагают большим количеством нейронов в сравнении с ожидаемыми значениями, из-за крайне небольших размеров головного мозга этот показатель у пернатых все равно значительно ниже, чем количество нейронов у млекопитающих, обладающих примерно таким же уровнем интеллекта. Так, в паллиуме обитающего в Новой Зеландии попугая кеа насчитывается примерно 1,28 млрд нейронов, у обыкновенного ворона — 1,2 млрд, а у шимпанзе — 7,4 млрд нервных клеток, хотя ни в одном из проведенных до сих пор исследований не было выявлено каких-либо существенных различий в уровне когнитивных способностей этих животных.

Как же птицы компенсируют этот разрыв в численности нейронов? Оказалось, что возрастание плотности нейронов в мозге птиц сопровождается уменьшением расстояний между ними. А при решении птицами задач, когда группы нервных клеток в плотно упакованном переднем мозге постоянно обмениваются между собой информацией, уменьшение межнейронных расстояний, которые преодолевают пересылаемые сигналы, может привести к значительному выигрышу во времени. Действительно, как показали Сара Лецнер (Sara Letzner) и Кристиан Бесте (Christian Beste) из Дрезденского технического университета и автор настоящей статьи, при выполнении некоторых когнитивных заданий голуби реагируют на предъявление стимулов быстрее людей. Таким образом, относительно небольшое количество нейронов в паллиуме птиц отчасти компенсируется их более высокой плотностью в этой структуре и более высокой скоростью передачи нервных сигналов.

Новый взгляд на птичий интеллект

Когда ученые разных стран мира начали описывать фантастические когнитивные способности птиц, ироничное выражение «куриные мозги» полностью лишилось научной обоснованности. В самом деле, сегодня мы твердо знаем, что головной мозг птиц и млекопитающих имеют гораздо большее сходство, чем считалось еще в недалеком прошлом.

Но это открытие позволяет заглянуть в еще более глубокие тайны природы. Прежде всего, нам нужно осознать, что две сравнительно далекие и независимые друг от друга группы животных, птицы и млекопитающие, распространились по всему земному шару, покорив практически все экологические ниши, пригодные для жизни позвоночных существ. Кроме того, обе эти группы живых существ представлены главным образом генералистами, то есть видами, не привязанными к каким-либо особым экосистемам и способными выживать в широком диапазоне условий. Хорошо развитый интеллект требовался этим животным для быстрого решения новых проблем и победы над конкурентами. Таким образом, выдающиеся когнитивные способности в обоих этих классах позвоночных животных сформировались под влиянием сильного давления естественного отбора.

В процессе эволюции обе группы животных становились все умнее. Скорее всего, их интеллектуальный рост был опосредован главным образом развитием идентичных нейронных механизмов, несмотря на различную организацию паллиума. Основу их когнитивных успехов составляло возрастание количества нейронов: у млекопитающих — за счет увеличения размеров головного мозга, а у птиц — благодаря повышению плотности нейронов. Представители обеих групп сформировали во многом сходные сети паллиумных нервных связей и образовали «префронтальные» области мозга с идентичными физиологическими, нейрохимическими и функциональными характеристиками. То же самое можно сказать и о самой когнитивной активности этих животных. Процессы, связанные с запоминанием ими новой информации, ее забыванием, обобщениями, категоризацией, принятием решений и т.д., подчиняются у них одним и тем же принципам. Таким образом, птицы и млекопитающие обзавелись в процессе эволюции сходными нейронными механизмами и способами мышления — они шли к этому разными путями, но в конечном итоге достигли одинаковых результатов. ■

Перевод: А.В. Щеглов

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Кинг Б. Ложь в дикой природе // ВМН, № 11, 2019.
- New Caledonian Crows Reason about Hidden Causal Agents. Alex H. Taylor et al. in Proceedings of the National Academy of Sciences USA, Vol. 109, No. 40, pages 16,389–16,391; October 2, 2012.
- Cognition without Cortex. Onur Güntürkün and Thomas Bugnyar in Trends in Cognitive Sciences, Vol. 20, No. 4, pages 291–303; April 1, 2016.
- Orthographic Processing in Pigeons (*Columba livia*). Damian Scarf et al. in Proceedings of the National Academy of Sciences USA, Vol. 113, No. 40, pages 11,272–11,276; October 4, 2016.



ЧТО УБИВАЕТ





МОНАРХОВ?

ЭКОЛОГИЯ

Все, казалось бы, просто: монархов, любимых бабочек американцев, убивает гербицид «Раундап». Новые данные, однако, указывают и на возможное участие иных факторов в исчезновении монархов

Гэбриэл Попкин

ОБ АВТОРЕ

Гэбриэл Попкин (Gabriel Popkin) — научный журналист, проживающий в Маунт-Рейнире, штат Мэриленд, США.



В один из дней зимы 1996–1997 гг. сотрудница Миннесотского университета эколог Карен Оберхаузер (Karen Oberhauser) взбирается на высокую гору примерно в 100 км к северо-западу от Мехико. В это дикое заповедное место Карен привела тревога за судьбу самых популярных в США бабочек — монархов. Более привычная к плоским равнинам Среднего Запада, пыхтя и отдуваясь, исследовательница с трудом преодолевает крутые горные склоны. От разреженного воздуха сильно болит голова. Но когда Оберхаузер останавливается, чтобы оглядеться вокруг, ее взгляд неожиданно падает на мириады ярких бабочек, сплошь облепивших стволы и ветви растущих на склонах пихт...

На этом горном склоне и еще в нескольких расположенных по соседству лесных массивах общей площадью всего-навсего около 18 га собралась на зимовку почти вся мировая популяция данаид монархов (*Danaus plexippus*). Биологи, изучающие монархов, знают об этом удивительном месте уже давно, но Оберхаузер оказалась здесь впервые. Один-единственный сильный шторм или незаконная вырубка леса — и этот пятючок земли будет навсегда стерт с лица планеты. «Тут я вдруг осознала невероятную уязвимость монархов», — вспоминает исследовательница.

В этом лесу берет начало знаменитый ежегодный перелет монархов на север, в США и далекую Канаду, где они проводят лето, а затем вновь возвращаются на зимовку в Мексику. По пути бабочки кормятся и размножаются на фермерских полях Среднего Запада неподалеку от дома Оберхаузер. После посещения заповедного мексиканского леса она начала подозревать, что ее место жительства стало серьезным источником угрозы для существования монархов: для уничтожения сорняков

местные фермеры опрыскивают свои кукурузные и соевые поля мощным гербицидом глифосатом, используемым во всем мире под разными торговыми названиями («Раундап», «Торнадо», «Глифос», «Агрокиллер» и т.д.). К несчастью, наряду с сорняками этот препарат убивает и ваточник — жизненно важное для монархов растение, на которое взрослые самки откладывают яйца и листья которого представляют собой едва ли не единственный корм, пригодный для их гусениц. Подсчитав количество ваточников, Оберхаузер и ее коллеги обнаружили, что на фермерских полях этих растений с отложенными на них яйцами было значительно меньше, чем на невозделанных землях, а это значит, что осенью на зимовку в Мексику отправится и значительно меньше взрослых монархов. В 2012 г. исследовательница опубликовала статью, в которой была впервые сформулирована «гипотеза об уничтожении ваточника» и пагубных последствиях этой практики: из-за «Раундапа» великие ежегодные перелеты бабочек монархов могут навсегда кануть в Лету.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Когда в начале XXI в. «Раундап» начал уничтожать ваточник, ученые объявили этот гербицид главным виновником резкого сокращения популяции монархов.
- Затем, однако, появились и другие «подозреваемые» — например, вырубка лесов в местах зимовки бабочек.
- Ученые, обеспокоенные судьбой самых популярных бабочек в США, сегодня горячо спорят о реальных угрозах существованию монархов и мерах по их спасению.

Изложенными в статье соображениями заинтересовались и рядовые любители природы, и многие ученые. Опасения Оберхаузер были вполне обоснованными: исчезновение кормового растения монархов коррелировало с сокращением популяции бабочек в Мексике. Когда к местам их зимовки навевалась Оберхаузер, здесь насчитывалось около 300 млн бабочек, а всего через десять лет их численность упала до 100 млн. В качестве одной из мер по спасению монархов Оберхаузер и ряд других ученых называли необходимость высадки как можно большего количества ваточников. На этот призыв откликнулись тысячи защитников природы. Несколько ваточников посадила в саду у Белого дома Мишель Обама. Чтобы обеспечить места обитания данаиды монарха более надежной охраной, экологи и защитники природы подали в Службу охраны рыбных ресурсов и диких животных США специальную петицию.

За истекшее время, однако, «ваточниковая гипотеза» дала несколько трещин. Хотя «переписи» монархов в США — как во время летних сезонов размножения, так и после них — не выявили сколь-либо значительного снижения численности бабочек, их количество на мексиканских местах зимовки резко сократилось. По некоторым данным, многие бабочки прилетают сюда из областей США, где фермерские поля обрабатываются глифосатом сравнительно мало. Скептически настроенные ученые утверждали, что монархи прекрасно размножаются на севере, но что-то губит их по пути в Мексику. «Миграцию животных можно сравнить с марафоном, — говорит эколог из Университета Джорджии Эндрю Дэвис (Andrew Davis). — Если число людей, начинающих марафонский забег, на протяжении, скажем, 20 лет не изменяется, но количество бегунов, пересекающих финишную черту, постоянно при этом снижается, нельзя делать вывод об общем сокращении численности человечества. Логичнее заключить, что со спортсменами что-то происходит во время забега».

Но что именно случается с монархами во время воздушного марафона в Мексику? Ответа на этот вопрос у ученых нет до сих пор. Некоторые данные позволяют предположить, что в природе стало меньше растений, нектаром которых взрослые бабочки кормятся во время своего путешествия на юг, и что вырубке подверглись все крупнейшие лесные массивы, где они могли отдохнуть в конце перелета. Ученые не исключают также, что мигрирующие бабочки гибнут от какой-то паразитарной инфекции. Численность менее крупной популяции монархов, зимующей на калифорнийском побережье, в последнее время также резко сократилась. Энтомологи сильно обеспокоены судьбой этой группы монархов, но поскольку местообитания ее представителей



Монархам для размножения требуется ваточник. На листья и стебли этого растения взрослые бабочки откладывают яйца (1). Вылупляющиеся из яиц гусеницы питаются исключительно ваточником (2).

не перекрываются с местообитаниями бабочек восточной популяции, ученые полагают, что, скорее всего, сокращение этих популяций вызвано различными причинами.

Почти все экологи признают тот факт, что численность зимней мексиканской популяции монархов на протяжении последних 30 лет постепенно уменьшается. Но меры, направленные на противодействие этому спаду, должны зависеть от его причин. Оберхаузер и ее единомышленники по-прежнему усматривают главный корень зла

в сокращении популяции ваточника. Многие, однако, указывают на участие в этом процессе и других факторов. А если так, помочь бабочкам будет гораздо сложнее.

С севера на юг

Первое внятное сообщение о массовой миграции монархов появилось в 1857 г., когда некий натуралист описал появление огромных стай бабочек в долине Миссисипи, «затмевающих своими крыльями солнечный свет». Вскоре биологи поняли, что монархи появляются в этой речной долине — а также в других частях Северной Америки — каждую весну и что их самки откладывают яйца на более чем 70 видов растений, главным образом на представителей рода ваточник (*Asclepias*). Взрослая самка монарха может отложить до 500 яиц. После этого она погибает, а из яиц вылупляются гусеницы, со временем превращающиеся в куколок и взрослых бабочек; этот цикл повторяется четыре-пять раз в течение года.

Монархи, перезимовавшие в Мексике, летят на север и весной откладывают яйца неподалеку от ее границы с Техасом. Потомство этих бабочек живет от двух до шести недель и в свою очередь дает новые поколения монархов, которые направляются на Средний Запад и Юг США и в конце концов достигают района Великих озер, Новой Англии и Канады. Осенью, когда дни становятся заметно короче, на свет появляется последнее поколение монархов (так называемое суперпоколение). Поскольку метаболизм у этих насекомых замедленный и они не расходуют драгоценную энергию на размножение, срок их жизни может составлять целых восемь месяцев. Супермонархи летят на юг, преодолевая за день до 160 км. В декабре бабочки, уцелевшие во время перелета, собираются на мексиканских пихтах. Они живут здесь до ранней весны, а затем улетают на север и дают потомство, которое продолжает славную воздушную одиссею монархов.

В конце 1970-х гг. после длительных поисков ученые наконец обнаружили в Мексике несколько крошечных участков горного леса, где зимуют монархи. Покойный биолог Линкольн Брауэр (Lincoln Brower), работавший вначале в Амхерстском колледже, а затем во Флоридском университете, помог убедить мексиканских чиновников в необходимости строгой охраны этих пятачков леса. По сути дела, эта акция и положила начало движению за спасение монархов.

В начале 2000-х гг. Оберхаузер и эколог из Университета штата Айова Джон Плезантс (John Pleasants) обнаружили одно из крупнейших местобитаний монархов — фермерские поля Айовы и других штатов Среднего Запада, где среди культурных растений обильно росли ваточники, буквально усыпанные яйцами этих бабочек. Очевидно, эти поля фактически представляли собой

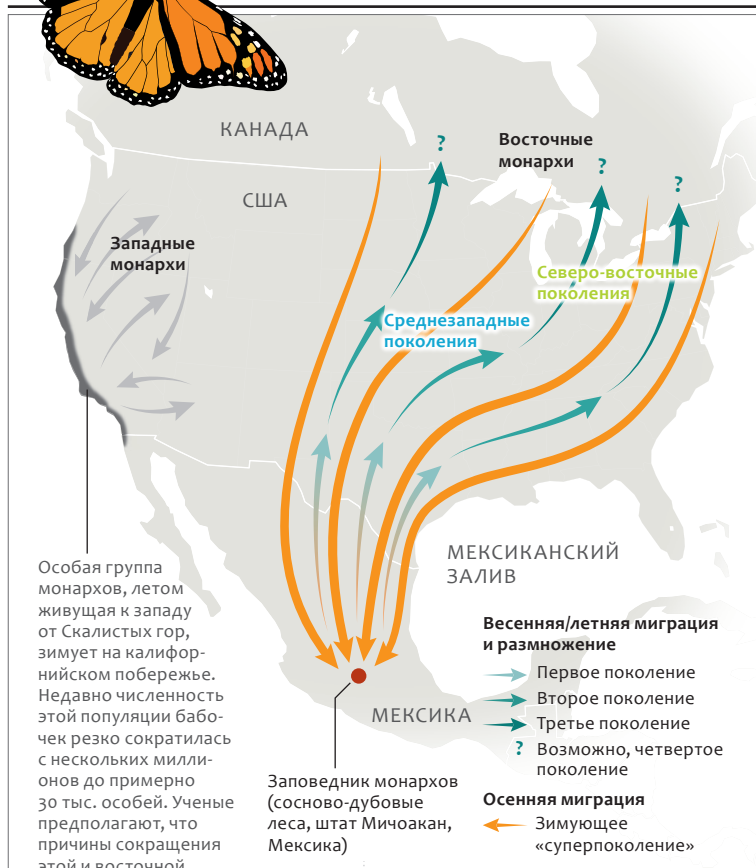
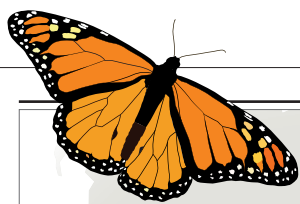
огромный инкубатор для разведения монархов. «И тут я словно прозрела, — вспоминает Оберхаузер. — Я внезапно поняла, какую важную роль в поддержании биоразнообразия могут играть сельскохозяйственные угодья, которые мы обычно рассматриваем как экосистемы со скудной флорой и фауной».

Последующее изучение этих полей двумя исследователями показало, что количество яиц монархов на ваточниках здесь было в четыре раза больше, чем на ваточниках, произрастающих в девственных прериях и на фермерских участках с рациональным использованием земель. «Казалось, эти поля притягивают монархов как магнит», — замечает Плезантс.

Между тем в скором времени многие поля американских фермеров должны были подвергнуться беспрецедентной экологической чистке. Агротехническая компания *Monsanto* создала генно-модифицированные кукурузу и сою с повышенной устойчивостью к глифосату. По сути дела, это открывало путь к бесконтрольному распыливанию препарата, который для культур, приносящих фермерам прибыль, был совершенно безвредным, но убивал все остальные растения на поле. Для кукурузы и сои новый препарат «Раундап Реди» оказался настоящим благословением, а для других растений, приютившихся в междурядьях, — смертным приговором. В 2007 г. фермеры США уже обрабатывали этим средством почти все кукурузные поля и более половины полей, где росла соя.

Основываясь на полученных в Айове данных, Плезантс и Оберхаузер заключили, что в период между 1999 и 2010 гг. общее количество ваточника на Среднем Западе США сократилось на 58%. А Брауэр и его сотрудники сообщили, что за этот же отрезок времени резко сократились и зимующие в теплых краях популяции монархов. Так, зимой 2009–2010 гг. территория, занимаемая ими в мексиканских лесах, уменьшилась более чем наполовину по сравнению с предыдущим годом; впервые с начала 1990-х гг., когда был дан старт наблюдению за бабочками, ее площадь сократилась до менее чем 2 га. Связь между этими двумя тенденциями казалась совершенно очевидной. Это и подтолкнуло Плезантса и Оберхаузера к публикации в 2012 г. нашумевшей статьи, где вся вина за исчезновение монархов возлагалась на уничтожение ваточника.

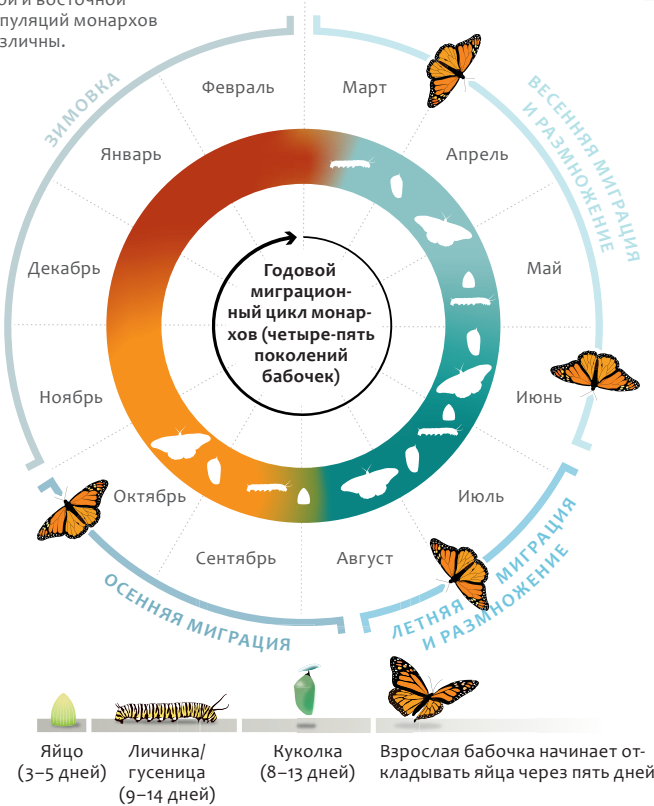
Если бы в этой статье речь шла о каком-нибудь другом насекомом, скорее всего, она привлекла бы внимание лишь узкого круга ученых-специалистов. Но монархи занимают в сердцах жителей Северной Америки особое место. Благодаря золотисто-оранжевой расцветке, крупным размерам, изяществу порхающего полета, а, главное, ежегодно совершаемым далеким перелетам эти бабочки снискали у американцев огромную любовь, уважение и популярность.



Особая группа монархов, летом живущая к западу от Скалистых гор, зимует на калифорнийском побережье. Недавно численность этой популяции бабочек резко сократилась с нескольких миллионов до примерно 30 тыс. особей. Ученые предполагают, что причины сокращения этой и восточной популяций монархов различны.

Заповедник монархов (сосново-дубовые леса, штат Мичоакан, Мексика)

- Весенняя/летняя миграция и размножение**
- Первое поколение
 - Второе поколение
 - Третье поколение
 - ? Возможно, четвертое поколение
- Осенняя миграция**
- ← Зимующее «суперпоколение»

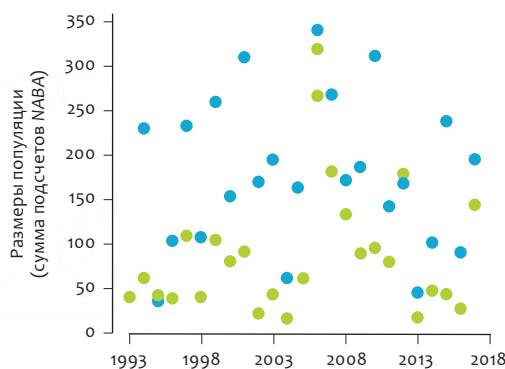


Срок жизни летних поколений составляет примерно один месяц; срок жизни зимующего «суперпоколения» достигает восьми месяцев.

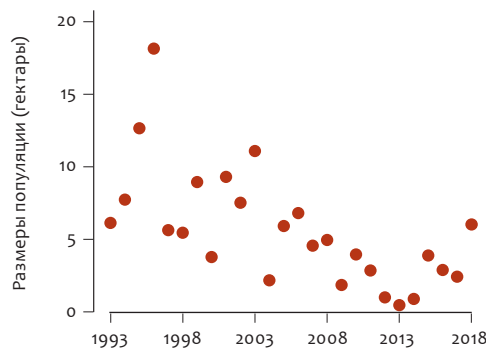
Кто виноват?

Каждый год миллионы монархов улетают с мест зимовки в мексиканских горных лесах и мигрируют к летним местам размножения на востоке США и в Канаде. За последние годы зимующая популяция этих бабочек сильно сократилась. Вначале ученые возложили вину за это на уничтожение гербицидами ваточника — растения, которым на Среднем Западе питаются гусеницы монарха. Судя по последним данным, однако, из года в год численность популяций бабочек сильно колеблется. Это заставляет некоторых экологов говорить о том, что за исчезновение монархов ответственны иные факторы. Большинство ученых по-прежнему усматривают корень зла в уничтожении ваточника.

Численность среднезападной и северо-восточной популяций колеблется



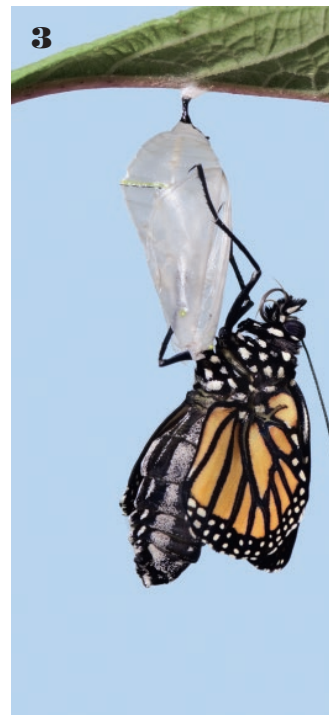
Размеры зимующей популяции сокращаются



Сезоны и тренды

Как показывают подсчеты монархов на Среднем Западе и Северо-Востоке США, проводившиеся с 1993 г. экологом из Корнеллского университета Анурагом Агравалом и его сотрудниками, численность этих бабочек постоянно колеблется, обнаруживая чередующиеся подъемы и спады. Такая динамика заставляет ученых предполагать, что исчезновение ваточника не представляло собой угрозы летним поколениям монархов. Но подсчет монархов в местах их мексиканской зимовки выявляет стойкую тенденцию к снижению численности. (За последние три года эта группа бабочек несколько восстановилась, но так и не достигла прошлого изобилия.) Это указывает на то, что наиболее серьезные проблемы (связанные, возможно, с исчезновением лесов или нектароносных растений) монархи испытывают в конце перелета.

SOURCES: "MECHANISMS BEHIND THE MONARCH'S DECLINE," BY ANURAG A. AGRAWAL AND HIROTOSHI INAMINE, IN SCIENCE, VOL. 360, JUNE 2016; WORLDWIDE FUND, MEXICO (2016 winter population data); JOURNALS NORTH CITIZEN SCIENCE PROJECT; UNIVERSITY OF WISCONSIN—MADISON ANNOBETUM (annual cycle); Graphic by Nigel Hawtin



1 В течение примерно десяти дней гусеница превращается в куколку во взрослую бабочку. Куколка защищена прочной оболочкой (1), которая рвется во время вылупления бабочки (2). Выйдя из куколки, монарх расправляет и сушит крылья (3, 4). Каждый год бабочки дают четыре-пять поколений.

Появляется в истории про монархов и злодей, вызывающий лютую ненависть общественности. Им, конечно же, становится производитель «Раундапа» компания *Monsanto* (сегодня она входит в состав конгломерата *Bayer*), олигетворяющая собой все страхи и опасения многих людей относительно геной инженерии и корпоративного контроля в сельском хозяйстве. А потому мысль о том, что брендовый продукт *Monsanto* убивает «брендовое» насекомое Америки, быстро завоевывает умы широкой общественности, а гипотеза Плезанта и Оберхаузер начинает горячо обсуждаться в самых разных СМИ.

Для спасения монархов мобилизуется целая армия защитников природы. К 2014 г. по всей стране было создано более 10 тыс. «станций» для отдыха и кормежки бабочек во время миграций. Эта инициатива во многом была обязана программе высадки ваточников под руководством энтолога и эколога из Канзасского университета Орли Тейлора (Orley Taylor). На следующий год президент Барак Обама и его мексиканский и канадский коллеги обещали обеспечить бабочкам надежную охрану, а камеры репортеров однажды запечатлели, как первая леди США в компании детей высаживает ваточники в саду у Белого дома.

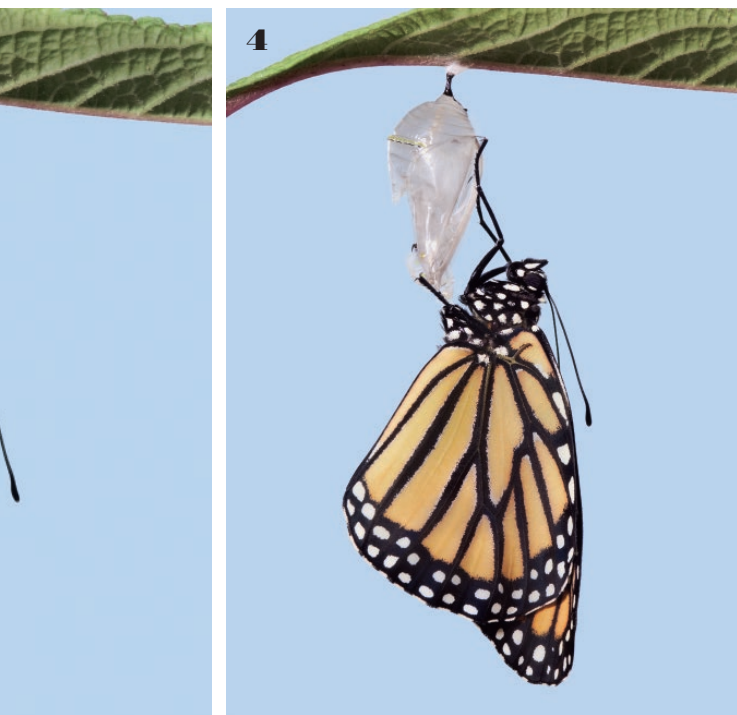
Нестыковки и противоречия

Хотя гипотеза о пагубном влиянии уничтожения ваточников на судьбу монархов и получила мощную общественную поддержку, по мнению некоторых ученых, она зиждилась на довольно шатком фундаменте. Одним из первых сомнения в ее

научной обоснованности высказал Эндрю Дэвис из Джорджии. Эколог подверг анализу данные подсчета монархов, которые в конце лета, по пути на зимовку в Мексику, были вынуждены преодолевать несколько «бутылочных горлышек» (например, Верхний полуостров Мичигана и мыс Кейп-Мей — полуостров на восточном побережье США в штате Нью-Джерси). В каждом из этих мест добровольцы в течение нескольких десятилетий вели подсчет насекомых и птиц, направлявшихся в конце лета в южные края. Дэвис отмечает, что цифры, связанные с осенними миграциями монархов, не обнаруживают какого-либо устойчивого снижения, но значительно колеблются из года в год, что вообще характерно для популяций самых разных насекомых.

Опубликованная в 2012 г. статья Дэвиса не привлекла особого внимания ученых. Ознакомившись с ней, Оберхаузер и Плезантс отметили, что «бутылочные горлышки» расположены к северу и востоку от кукурузного пояса США, а потому эти участки суши не отражают эффекты уничтожения ваточника на фермерских полях Среднего Запада. «Как ни дико это звучит, но никто, похоже, и слышать не хотел о том, что монархов в природе отнюдь не становится меньше», — иронизирует Дэвис.

Между тем к статье Дэвиса проявил горячий интерес Анураг Агравал (Anurag Agrawal), эколог-эволюционист из Корнеллского университета, изучавший механизмы использования монархами химических веществ, вырабатываемых ваточником. По мнению этого ученого, обладая достаточной четкостью и убедительностью, гипотеза



Плезантса и Оберхаузер не могла дать исчерпывающего объяснения динамике численности насекомых, пересекающих столь обширные и разнообразие ландшафты. Так, в штате Нью-Йорк, где жил Агравал, фермерские поля разбросаны среди лугов, пастбищ и прочих экосистем. Ученому всегда казалось, что даже если ваточник полностью уничтожить на культурных полях, останется множество других мест, где монархи легко смогут найти это растение.

Точку зрения Агравала, однако, разделяли далеко не все ученые. На симпозиуме, организованном Оберхаузер в 2012 г. в Миннесотском университете, он спросил у группы участников, что они думают по поводу недавно опубликованной статьи Дэвиса. Агравал вспоминает, как Орли Тейлор быстро схватил его за руку и посоветовал «поменьше распространяться» о возможном преувеличении нависшей над монархами опасности, так как это может привести к ослаблению мер по охране бабочек. «Меня охватило полное недоумение, — говорит Агравал. — Человек внезапно вторгается в твоё личное пространство, хватая тебя за руку и шипит: "Ничего не хочу даже слышать об этом!" Никогда этого не забуду». А по словам самого Тейлора, он этой встречи совсем не помнит и сильно сомневается в том, что подобное вообще могло случиться.

Но колебания Дэвиса и Агравала разделяли и другие ученые. Так, эколог из Джорджтаунского университета Лесли Рис (Leslie Ries), также принимавшая участие в симпозиуме, обратила внимание ученых на данные, полученные в результате

реализации программы по мониторингу монархов, проводимой Североамериканской ассоциацией по изучению бабочек (*North American Butterfly Association, NABA*). Учет бабочек осуществляла группа добровольцев, находившихся в определенных местах и регистрировавших всех бабочек, которых им довелось увидеть в течение одних суток в радиусе 12 км. В статье, опубликованной в 2015 г., Рис заключает, что, согласно этим данным, какие-либо свидетельства о сокращении популяции монархов на севере страны (и в частности в штате Иллинойс) за последний 21 год отсутствуют.

Агравал пошел еще дальше, обобщив результаты нескольких долгосрочных подсчетов численности популяций монархов на разных стадиях развития. Ученый и его сотрудники хотели выяснить, позволяют ли оценки численности бабочек, находящихся на одной стадии развития, предсказывать их численность на следующей стадии. Этот анализ позволил бы подтвердить или опровергнуть предположение, что летнее уменьшение количества ваточников на Среднем Западе приводит к сокращению количества зимующих в Мексике бабочек. В статьях, опубликованных в 2016 г. в журнале *Oikos* и в 2018 г. в журнале *Science*, ученые сообщили о значительном расхождении данных подсчета бабочек на последнем этапе этого мониторинга: результаты их подсчета в конце лета фактически не позволяют предсказывать состояние их зимних популяций. Как обнаружила Рис, летние подсчеты численности монархов всегда оставались примерно постоянными даже в том случае, если результаты зимних подсчетов снижались. В этой связи Агравал и его сотрудники предположили, что во время осенних миграций на юг некие факторы вызывали, по-видимому, «выбраковку» монархов, причем в жизни бабочек эти факторы, вероятно, играли более важную роль, чем события, связанные с их летним размножением.

Позиции ученых-скептиков еще сильнее укрепили результаты другого исследования. В 2017 г. популяционный биолог из Гуэлфского университета в провинции Онтарио (Канада) Тайлер Флокхарт (Tyler Flockhart) решил прояснить не вопрос, отчего гибнут монархи, а вопрос, откуда они берутся. Флокхарт и его сотрудники провели анализ водородных и углеродных изотопов в тканях более чем 1 тыс. экземпляров монархов, собранных в Мексике Брауэром и другими учеными за 40 лет наблюдений. В разных регионах эти изотопы присутствуют в природных объектах в различных соотношениях. Затем они поглощаются бабочками и накапливаются в их тельцах и крыльях, образуя своего рода «географические подписи», указывающие, в каких местах кормились зимующие насекомые. Флокхарт установил, что лишь 38% зимующих в Мексике монархов прилетают из штатов Среднего Запады. Множество бабочек мигрируют

сюда из северо-восточных и южных регионов США и из центральной и восточной Канады, где кукурузные и соевые поля в процентном отношении занимают гораздо менее значительные площади, чем на Среднем Западе США.

Новые подозреваемые

По мнению Агравала и Дэвиса, факты, обнаруженные Флокхарт, по сути дела ставят крест на гипотезе о пагубной роли ваточника в судьбе монархов. Если из каждых пяти монархов, зимующих в Мексике, только две бабочки прилетают сюда из кукурузного пояса США, каким образом, резонно спрашивают эти ученые, уничтожение ваточника может быть повинно в столь драматическом сокращении мексиканской популяции насекомых?

Сам Флокхарт высказывается более осторожно. Хотя ваточников в Северной Америке пока вполне хватает для поддержания жизнеспособной популяции монархов, ученый подозревает, что со временем «Раундап» может существенно изменить характер распространения этих растений, что причинит бабочкам большой вред. Как предполагает Флокхарт, в результате использования этого препарата растения ваточника оказываются сосредоточенными на небольших участках земли за границами фермерских полей и самкам монарха приходится откладывать яйца более скученно. Это в свою очередь приводит к обострению конкуренции между гусеницами за кормовые ресурсы и повышению уровня стресса в популяциях.

Весной 2019 г. независимая команда исследователей выявила еще двух возможных виновников сокращения численности монархов: исчезновение нектароносных растений на пути миграции бабочек и изменение плотности леса (густоты древостоя) в мексиканских горах. В статье, опубликованной в журнале *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, группа ученых под руководством эколога и математика из Мичиганского университета Элиз Зипкин (Elise Zipkin) изучила статистические корреляции между размерами популяций монархов в разное время года и многочисленными факторами окружающей среды. Это было первое исследование, в котором все зимующие монархи были разбиты на 19 отдельных групп (колоний), а не рассматривались в виде единой популяции, занимающей несколько лесных участков с различными характеристиками. Оказалось, что чем гуще был лес, где обитала колония, тем больше бабочек она насчитывала. «Удивительно, что никто этого раньше не заметил!» — восклицает Зипкин.

Кроме того, для количественной оценки живой растительности в том или ином ландшафте команда Зипкин использовала спутниковые изображения. Если осенью южные регионы США выглядели на этих снимках более зелеными, в Мексику

прилетало больше монархов; если эти области были более коричневыми, что отмечается во время засухи, бабочек было меньше. Зипкин и ее коллеги предположили, что такая закономерность была связана с тем, что зеленые, более здоровые растения вырабатывают больше нектара, способного прокормить большее количество мигрирующих монархов. В самом деле, когда между 2010 и 2013 гг. в южных регионах США свирепствовала сильная засуха, численность мексиканской популяции монархов была наименьшей.

По мнению Агравала и Дэвиса, это исследование прямо указывает на истинные причины падения численности монархов на поздних этапах миграции. «В нем проведен математический анализ проблемы», — говорит Агравал. Возможно, однако, что монархи гибнут и по иным причинам. В качестве одной из наиболее вероятных из них Дэвис называет паразита из группы простейших. Согласно результатам исследования, проведенного женой Дэвиса и его коллегой по Университету Джорджии экологом Соней Алтайзер (Sonia Altizer), бабочки из южных регионов США сильнее заражены *Ophryocystis elektroscirrha* — одноклеточными организмами, способными ослаблять и даже убивать монархов. Кроме того, по мнению Дэвиса и некоторых других исследователей, под влиянием изменений окружающей среды у мигрирующих бабочек может повышаться уровень физиологического стресса, что снижает их выносливость во время долгого и утомительного осеннего перелета.

Как спасти монархов

Рассмотренные выше новые данные указывают на то, что ответственность за исчезновение монархов, вероятно, несут не один, а несколько факторов. Такую возможность не исключает даже создательница «ваточниковой гипотезы» Карен Оберхаузер. «По-видимому, я все-таки ошибочно полагала, что во время миграций с бабочками не может происходить ничего страшного», — говорит исследовательница, сегодня занимающая пост директора дендрария Висконсинского университета в Мадисоне. Некоторые другие ученые характеризуют печальную участь монархов как «гибель от тысяч невзгод».

Оберхаузер, однако, и поныне убеждена, что самая серьезная из этих невзгод — исчезновение ваточника. «Я хорошо знакома и с Энди, и с Анурагом. И они оба мне очень симпатичны, — говорит Оберхаузер. — Но, честно говоря, весь этот спор о главном виновнике падения зимней численности бабочек мне уже порядком надоело». Исследовательница спрашивает: каким образом фактор, уничтожающий столько бабочек во время их перелета в Мексику, до сих пор может оставаться невыявленным? Согласно результатам компьютерного моделирования, проведенного Оберхаузер и ее

сотрудниками в 2017 г., на численность монархов способны оказывать заметное влияние лишь допустимость ваточника и капризы погоды.

Оберхаузер и Плезантс утверждают также, что много вопросов возникает и по поводу стабильности результатов летних подсчетов бабочек, на которые ссылаются Агравал, Рис и Дэвис. Эти подсчеты выполнены добровольцами, которые не отважились наведаться на фермерские поля, а потому не учитывали резкое сокращение количества монархов в этих местах. По логике вещей, настаивает Оберхаузер, летний спад численности бабочек обязательно должен был иметь место. Если зимние популяции монархов год от года сокращаются, каким образом потомство этой постоянно уменьшающейся группы на протяжении стольких долгих лет смогло бы обеспечить стабильно высокую летнюю численность бабочек? «Все это лишено всякого биологического смысла», — заявляет исследовательница.

«Ваточниковую гипотезу» нельзя сбрасывать со счетов и по мнению Зипкин. Как и Оберхаузер, эта исследовательница обнаружила, что использование глифосата в сочетании с весенними капризами погоды может сильно влиять на локальную численность монархов в летние месяцы. «Даже трудно поверить, чтобы количество ваточника в той или иной местности совсем не сказывается на численности монархов. Вопрос лишь в том, насколько сильно это влияние», — говорит Зипкин.

На самом деле этот вопрос волнует всех. Чтобы получить на него ответ, ученые приступили к реализации Интегрированной программы мониторинга монархов (*Integrated Monarch Monitoring Program*), предназначенной для подсчета этих бабочек в сотнях мест по всей континентальной части США и увязки полученных данных с различными характеристиками их местообитаний. Руководители программы выбрали места для подсчета монархов случайным образом и пригласили энтомологов, экологов и других ученых отслеживать бабочек и, пользуясь стандартными инструкциями, отсылать полученные данные в соответствующие центры для обработки специалистами. Ученые-добровольцы приступили к этой работе в 2017 г.; сегодня их ряды насчитывают 120 человек, которые ведут наблюдения за монархами в 235 пунктах. «Малопомалу мы набираем обороты и увеличиваем объемы работ», — говорит Оберхаузер.

Все ученые согласны с тем, что монархи не могут ждать, пока будут улажены все научные споры. Участок мексиканского леса, где зимуют бабочки, в 2013 г. резко сократился до рекордно низких размеров — площадь этого крошечного пятка земли не превышает размеров футбольного поля. Хотя с тех пор мигрирующая популяция монархов несколько восстановилась, большинство ученых считают, что этот вид находится в уязвимом

положении. По заявлениям представителей Службы охраны рыбных ресурсов и диких животных США, в скором времени эта организация будет ходатайствовать о присвоении виду статуса вымирающего.

По мнению Оберхаузер, чтобы бабочкам в стране жилось лучше, Министерство сельского хозяйства США в соответствии с Программой восстановительной резервации земель (*Conservation Reserve Program*) должно увеличить площадь заповедных территорий в сельскохозяйственных штатах страны, которая с 2007 г. уменьшилась с 15 до 9,3 млн гектаров.

Серьезные меры должны быть приняты и для более строгой охраны мексиканских лесов, говорит исследовательница. Хотя основные лесные массивы в этой стране официально находятся под охраной (они имеют статус природного объекта Всемирного наследия ЮНЕСКО), на их периферии, где монархи проводят часть времени, продолжается нелегальная вырубка деревьев и разбиваются плантации авокадо. Не исключено, что из-за потепления климата в мексиканских заповедных лесах перестанут расти пихты, на которых зимуют монархи и которым для жизни требуются довольно низкие температуры. Уже ведутся работы по высадке этих деревьев на более высоких и прохладных горных склонах.

Для многих американцев монархи — не просто бабочки. Садоводы и натуралисты восхищаются их красотой, защитники природы считают делом чести спасти их от вымирания, политики видят в них международных посланников доброй воли, а рядовые граждане связывают с ними свои тревоги о постоянно растущем пагубном влиянии человечества на планету. В XIX в. массовые миграции монархов стали загадкой для ученых, а в следующем столетии, когда эта тайна была раскрыта, они провозгласили бабочек уникальным чудом природы. Сегодня монархи задали ученым еще одну загадку. И на сей раз от ответа на нее будет зависеть судьба этих удивительных насекомых. ■

Перевод: А.В. Щеглов

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Milkweed Loss in Agricultural Fields Because of Herbicide Use: Effect on the Monarch Butterfly Population. John M. Pleasants and Karen S. Oberhauser in *Insect Conservation and Diversity*, Vol. 6, No. 2, pages 135–144; March 2013.
- Monarch Butterfly Population Decline in North America: Identifying the Threatening Processes. Wayne E. Thogmartin et al. in *Royal Society Open Science*, Vol. 4, No. 9, Article No. 170760; September 2017.
- Mechanisms behind the Monarch's Decline. Anurag A. Agrawal and Hidetoshi Inamine in *Science*, Vol. 360, pages 1294–1296; June 22, 2018.

Загадка



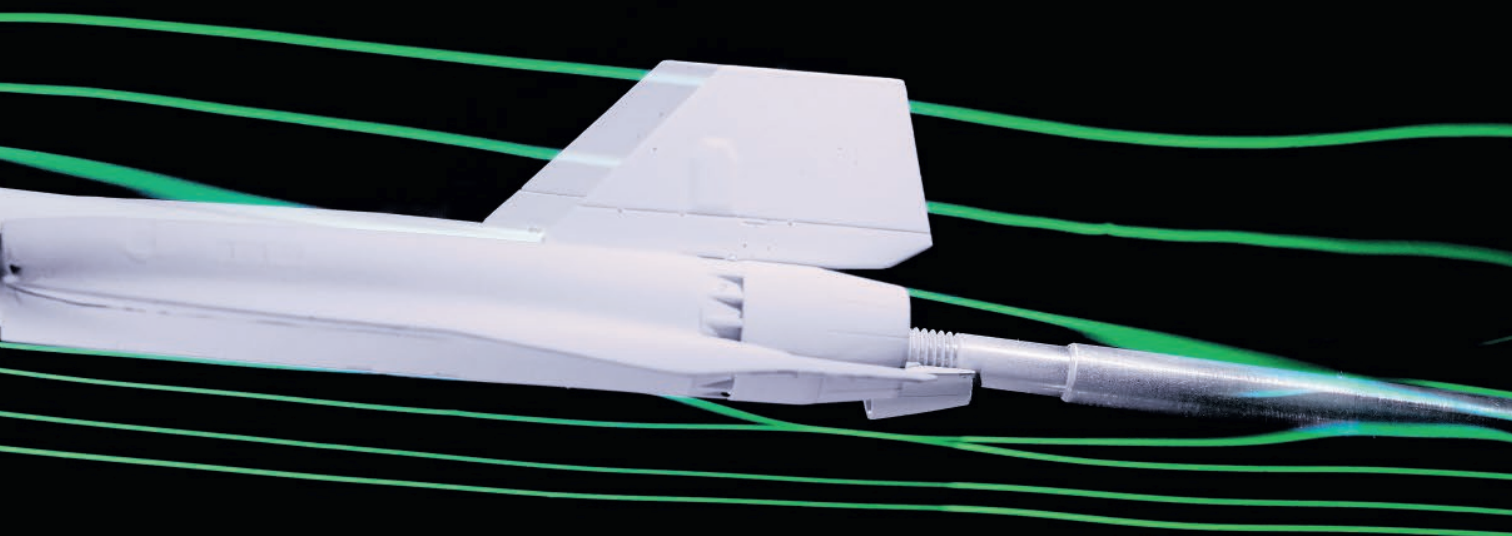
ФИЗИКА

ПОД

Никто не может точно объяснить,
что удерживает самолет в воздухе

Эд Реджис

В лаборатории NASA AMES
Fluid Mechanics наблюдают
за тем, как струйки красителя
в потоке воды в трубе
обтекают модель самолета



земной силы

ОБ АВТОРЕ

Эд Реджис (Ed Regis) написал десять научных книг, к том числе такой монументальный труд, как «Крушение "Гинденбурга" и рождение патологической технологии» (*The Hindenburg Disaster and the Birth of Pathological Technology*, 2015). На его счету — тысяча часов полета в качестве частного пилота.



В декабре 2003 г. в ознаменование столетия первого полета на самолете с двигателем, осуществленного братьями Райт, газета *New York Times* опубликовала статью под названием «Оставаясь в воздухе; почему это происходит?». Смысл статьи в двух словах заключался в следующем: что удерживает самолеты в воздухе? Чтобы ответить на этот вопрос, редакция обратилась к Джону Андерсону — младшему (John D. Anderson, Jr.), куратору отдела аэродинамики Национального музея авиации и космонавтики и автору нескольких учебников в этой области.

Однако Андерсон сказал, что единого мнения по поводу того, что порождает аэродинамический эффект — так называемую подъемную силу, — не существует. «Нет простого однозначного ответа на этот вопрос, — заявил он в интервью газете. — Люди по-разному объясняют это явление, некоторые даже дают ему религиозное толкование». И сегодня, спустя 15 с лишним лет, ситуация не изменилась: происхождение подъемной силы объясняют по-разному, и каждое объяснение имеет авторитетных ревностных приверженцев. Такая ситуация немного озадачивает. В конце концов, естественные процессы эволюции, работающие без участия разума и понимания законов физики, много миллионов лет назад позволили некоторым живым существам подняться в воздух. Почему же ученым до сих пор так трудно объяснить этот феномен?

Ситуация усугубляется тем, что существуют два подхода к решению этой проблемы: технический и нетехнический. Они

дополняют друг друга, но цели их различаются. Один представляет собой строгую математическую теорию, где фигурируют уравнения, символы, числа, используется компьютерное моделирование. По поводу уравнений и методов их решения серьезных разногласий мало, можно сказать — их вообще нет. Задача математической теории состоит в том, чтобы дать точные предсказания и получить результаты, полезные для авиаконструкторов, разрабатывающих сложные машины.

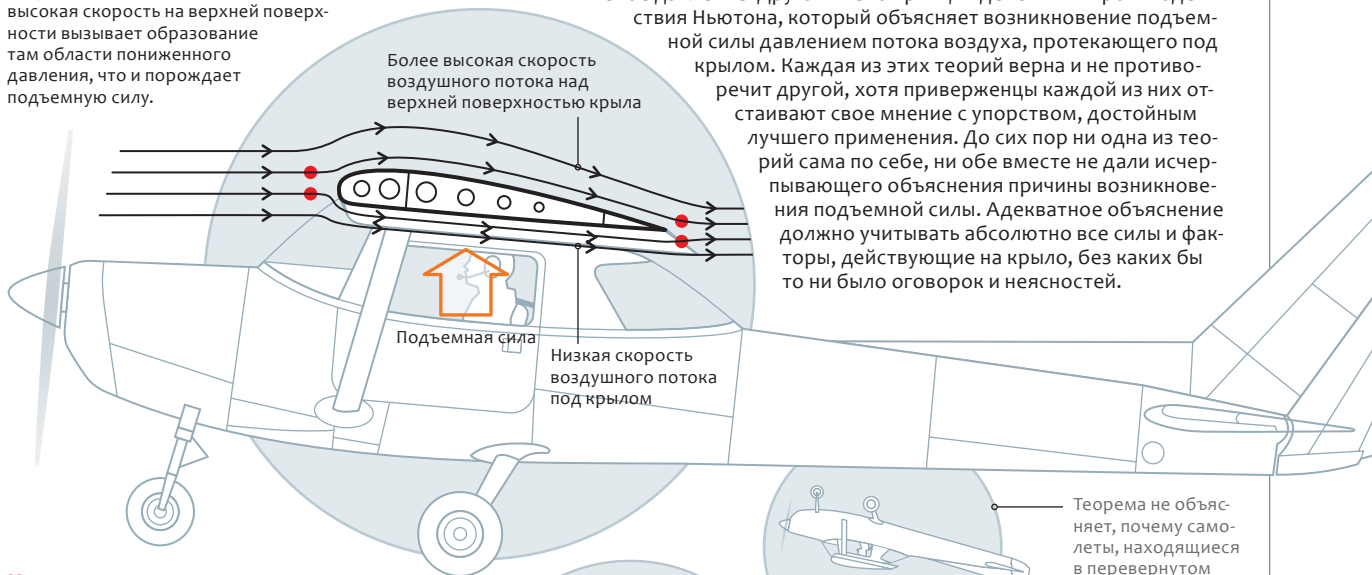
Но сами по себе ни уравнения, ни их решения ничего не объясняют. Второй, нетехнический, подход нацелен на объяснение природы подъемной силы с точки зрения физической — и здравого смысла. Его задача — сформулировать интуитивное представление о действующих силах и факторах, которые удерживают самолет в воздухе. Этот подход основан не на числах и уравнениях, а на понятиях и принципах, знакомых и понятных неспециалистам.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- На строго математическом уровне инженерам известно, как создавать самолеты, способные держаться в воздухе. Но соответствующие уравнения не дают четкого объяснения природы подъемной силы.
- Есть две теории, которые раскрывают силы и факторы, участвующие в образовании подъемной силы. Но ни одна из них не дает исчерпывающего ответа на вопрос о ее природе и возникновении.
- Недавно специалисты в области аэродинамики попытались заполнить пробелы в этом вопросе, однако к единому мнению так и не пришли.

Теорема Бернулли

Применительно к крылу самолета — в технике оно называется «аэродинамический профиль» — теорема Бернулли объясняет возникновение подъемной силы как следствие искривления верхней поверхности крыла. Идея заключается в том, что поток воздуха обтекает верхнюю, искривленную, поверхность крыла с большей скоростью, чем нижнюю, плоскую. Более высокая скорость на верхней поверхности вызывает образование там области пониженного давления, что и порождает подъемную силу.



Недостатки классического подхода

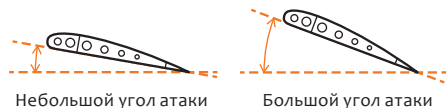
Исходя из здравого смысла и основ классической физики были выдвинуты две теории, объясняющие, почему самолет взлетает и остается в воздухе. Одна из них, базирующаяся на теореме Бернулли, связывает существование подъемной силы с тем, что над верхней поверхностью крыла скорость обтекающего его потока воздуха выше и там создается более низкое давление. Другая — это принцип действия и противодействия Ньютона, который объясняет возникновение подъемной силы давлением потока воздуха, протекающего под крылом. Каждая из этих теорий верна и не противоречит другой, хотя приверженцы каждой из них отстаивают свое мнение с упорством, достойным лучшего применения. До сих пор ни одна из теорий сама по себе, ни обе вместе не дали исчерпывающего объяснения причины возникновения подъемной силы. Адекватное объяснение должно учитывать абсолютно все силы и факторы, действующие на крыло, без каких бы то ни было оговорок и неясностей.

Но...

Хотя теорема Бернулли в общем и целом верна, есть несколько причин, по которым основанное на ней объяснение нельзя считать исчерпывающим. Экспериментальный факт состоит в том, что поток воздуха движется быстрее вдоль искривленной поверхности, но теорема не объясняет причину этого явления, а также то, почему высокая скорость на верхней части крыла приводит к понижению давления. А кроме того, самолет с изогнутыми крыльями — а на самом деле и с плоскими — может лететь в перевернутом положении, правда, при условии, что поток воздуха набегает на аэродинамический профиль под определенным углом.

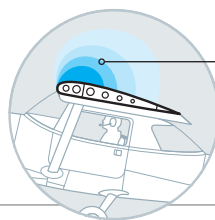
Третий закон Ньютона

Воздух обладает определенной массой. Согласно третьему закону Ньютона, давление крыла, направленное вниз, приводит к равному по величине и противоположному по направлению давлению вверх. Этот подход к объяснению природы подъемной силы применим к крыльям любой формы — изогнутым и плоским, симметричным и несимметричным, а также в случае полета самолета в перевернутом положении или на боку (решающий фактор — угол атаки). Поэтому для объяснения природы подъемной силы этот подход представляется более универсальным, чем теорема Бернулли.



Но...

Сам по себе принцип действия и противодействия не объясняет, почему давление над верхней поверхностью крыла выше, причем независимо от того, изогнута аэродинамическая поверхность или нет.



Теорема не объясняет, почему самолеты, находящиеся в перевернутом положении или оснащенные плоскими крыльями, могут летать.

Она не объясняет, почему частицы воздушного потока, разделенного крылом на верхний и нижний, достигают задней кромки крыла одновременно, а верхний имеет большую скорость, чем нижний.

Не объясняет, почему зона пониженного давления покрывает не всю верхнюю поверхность крыла.

Крыло оказывает на воздух давление, направленное вниз, что приводит к появлению равной по величине и обратной по направлению подъемной силе

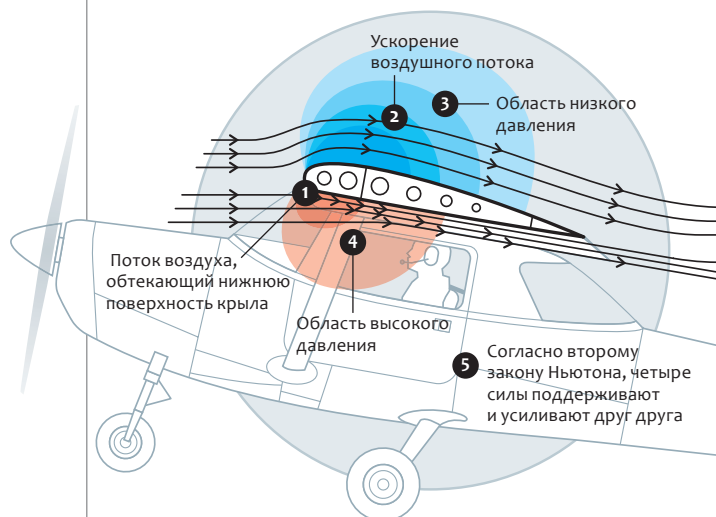
Не дает точного объяснения, почему зона пониженного давления охватывает не всю верхнюю поверхность крыла.

Новые идеи

Конструируя современные самолеты, используют компьютерное моделирование гидродинамических процессов, а также уравнения, которые учитывают реальную вязкость воздуха. Хотя у нас нет однозначного, не оставляющего никаких вопросов объяснения природы подъемной силы, некоторые недавние изыскания существенно приблизили нас к этой цели.

Взаимозависимость четырех факторов, составляющих подъемную силу

Для объяснения природы подъемной силы специалист в области аэродинамики Даг Маклин указал четыре основополагающих фактора, которые базируются на втором законе Ньютона, утверждающем, что сила равна массе, умноженной на ускорение. Ускорение тела — в данном случае потока воздуха — пропорционально приложенной к нему силе. Поток воздуха воздействует на элементы конструкции самолета и удерживает его в воздухе.

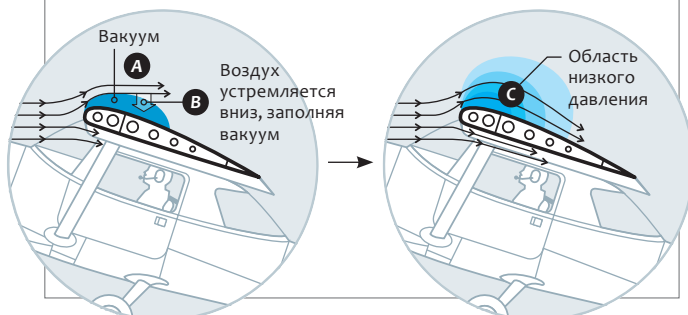


Но...

Хотя Маклин утверждает, что пониженное давление на верхней поверхности крыла и повышенное на нижней — результат того, что аэродинамический профиль «полностью окружен воздушным потоком», это не объясняет, почему именно над верхней поверхностью давление понижено.

Почему над крылом образуется область низкого давления

Специалист по гидродинамике Марк Дрела попытался разобраться в том, чего не учли теории, основанные на втором законе Ньютона и теореме Бернулли: как над крылом создается низкое давление, или частичный вакуум. В первый момент воздух над крылом течет горизонтально назад (А), в результате чего создается вакуум. Этот вакуум втягивает воздух вниз (В), заполняя пустое пространство и таким образом устраняя большую — но не всю — часть вакуума. Остается ровно столько вакуума, чтобы придать воздушному потоку криволинейную траекторию, которая следует за профилем крыла (С).



Именно на этом втором уровне разгорается полемика. Обычно для объяснения природы подъемной силы предлагаются две теории; их сторонники отстаивают свою точку зрения в статьях, книгах и в интернете. Проблема состоит в том, что обе эти нетехнические теории сами по себе верны. Но ни та ни другая не дают исчерпывающего объяснения, которое учитывало бы все основные силы, факторы и физические условия, управляющие подъемной силой, не оставляя неразрешенных вопросов. Дает ли такое положение дел право теории на существование?

Две конкурирующие теории

Самое популярное объяснение существования подъемной силы базируется на уравнении Бернулли, представленном швейцарским математиком Даниилом Бернулли в 1738 г. в его трактате «Гидродинамика». Бернулли — выходец из семьи математиков. Его отец Иоганн внес значительный вклад в исчисление бесконечно малых, а его дядя Якоб, помимо всего прочего, ввел термин «интеграл». Уравнение Бернулли связывает скорость и давление в потоке идеальной несжимаемой жидкости при установившемся течении. Воздух — это, по существу, тоже жидкость, и его движение подчиняется тому же закону: чем выше скорость потока, тем меньше его давление, и наоборот.

Согласно теореме Бернулли, подъемная сила возникает вследствие искривления верхней поверхности аэродинамического профиля — крыла самолета. Воздух над верхней его поверхностью движется быстрее, чем под нижней, менее изогнутой или почти плоской, и в соответствии с теоремой Бернулли это приводит к образованию там области пониженного давления, что и порождает направленную вверх подъемную силу.

Неопровержимым доказательством справедливости принципа Бернулли служит масса эмпирических данных о линиях потока, полученных в ходе испытаний в аэродинамической трубе, лабораторных экспериментах на соплах и трубках Вентури. Тем не менее есть несколько причин, по которым теорема Бернулли не дает исчерпывающего объяснения природы подъемной силы. То, что поток воздуха движется быстрее, огибая искривленную поверхность, — это экспериментально доказанный факт, однако сама по себе теорема Бернулли не объясняет, почему так происходит. Другими словами, теорема не отвечает на вопрос, почему скорость потока над искривленным крылом выше, чем под ним.

Этому существует множество весьма сомнительных объяснений. Согласно самому распространенному из них — «теории равного транзитного времени», — частицы воздуха, которые при рассеении потока разделяются на передней кромке крыла, должны воссоединиться на его задней кромке. Поскольку за одно и то же время поток воздуха над верхней поверхностью крыла проходит большее расстояние, чем под нижней, он должен двигаться быстрее. Загвоздка состоит в том, что нет никакой физической причины, по которой обе части разделенного потока должны достичь задней кромки крыла одновременно. И действительно, эмпирический факт заключается в том, что поток воздуха над крылом движется гораздо быстрее, чем предполагает «теория равного транзитного времени».

Существует также общеизвестная «демонстрация» принципа Бернулли, которая встречается в разного рода заметках, на видеороликах в *YouTube* и даже в некоторых учебниках. Представьте, что вы удерживаете у рта горизонтально расположенный лист бумаги и дуете вдоль него. Лист начинает подниматься, якобы демонстрируя эффект Бернулли. Если бы вы дули вдоль нижней поверхности листа, он под действием потока воздуха должен был изгибаться вниз. Но, как это ни парадоксально, лист изгибается вверх.

Лист изгибается вверх, когда поток воздуха обдувает его с одной стороны, «не потому, что воздух движется вдоль верхней или нижней поверхности с разной скоростью», — поясняет Холгер Бабинский (Holger Babinsky), профессор аэродинамики из Кембриджского университета, в своей статье «Как работают крылья?». Чтобы продемонстрировать это, подуйте вдоль плоского листа бумаги, когда он висит вертикально вниз, и вы увидите, что он не отклоняется ни в ту ни в другую сторону, поскольку «давление с обеих его сторон одинаково, несмотря на очевидную разницу скорости обтекающего его потока воздуха».

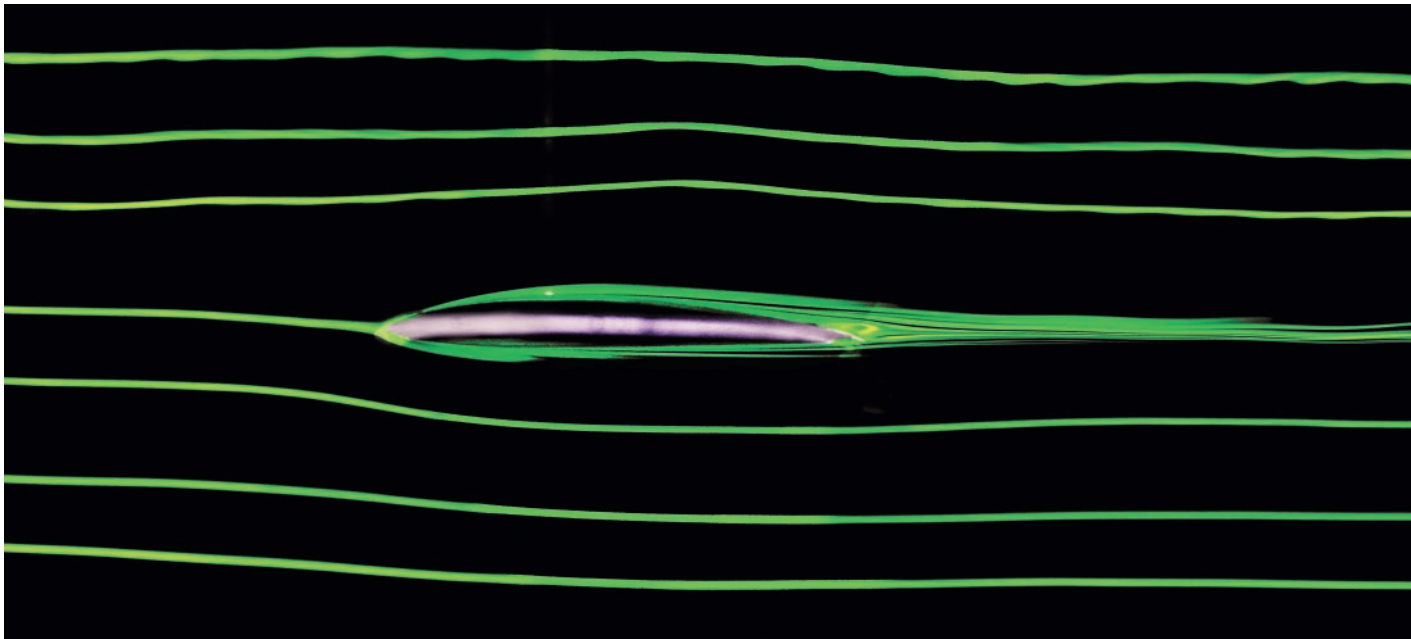
Второй вопрос, на который не отвечает теорема Бернулли, заключается в том, что она не объясняет, как и почему более высокая скорость потока у верхней поверхности крыла создает пониженное, а не повышенное давление. Было бы естественно полагать, что вследствие кривизны крыла воздух вытесняется вверх и сжимается, что приводит к увеличению давления на крыло. Такого рода «бутылочное горлышко», как правило, замедляет процессы в обычной

жизни, а не ускоряет их. Когда на шоссе две или три полосы соединяются в одну, движущиеся по ним автомобили не едут быстрее, а, наоборот, замедляются вплоть до образования глухой пробки на дороге. Молекулы воздуха, обтекающие верхнюю поверхность крыла, ведут себя не так, но теорема Бернулли не объясняет причину этого явления.

Третий, самый значимый, аргумент против состоятельности теоремы Бернулли при объяснении происхождения подъемной силы таков: самолет с искривленной верхней поверхностью крыла может летать в перевернутом положении. В таком полете изогнутая поверхность крыла становится нижней, и, согласно теореме Бер-

Неопровержимым доказательством справедливости принципа Бернулли служит масса эмпирических данных о линиях потока, полученных в ходе испытаний в аэродинамической трубе и лабораторных экспериментах. Тем не менее есть несколько причин, по которым теорема Бернулли не дает исчерпывающего объяснения природы подъемной силы

нулли, это приводит к понижению давления под крылом. В совокупности с силой тяжести это должно сопровождаться снижением самолета, а не удерживать его в воздухе. Более того, самолеты с симметричным аэродинамическим профилем — или даже с плоскими верхними и нижними поверхностями — также способны летать в перевернутом положении, пока крыло не встретится со встречным потоком под соответствующим углом атаки. Следовательно, одной только теоремы Бернулли недостаточно для объяснения всех этих фактов.



Для визуализации процесса обтекания модели крыла самолета в гидродинамической трубе в лаборатории NASA Ames Fluid Mechanics используют флуоресцентный краситель. Линии тока, движущиеся слева направо и изгибающиеся при столкновении с крылом, помогают понять физику подъемной силы.

Другая теория, касающаяся подъемной силы, основана на третьем законе движения Ньютона, принципе действия и противодействия. Эта теория утверждает, что крыло удерживает самолет в полете, толкая воздух вниз. Воздух имеет массу, и, согласно третьему закону Ньютона, давление крыла вниз создает равную по величине и обратную по направлению силу, а именно — подъемную. Подход Ньютона применим к крыльям любой формы — неважно, с изогнутыми или плоскими поверхностями, симметричными или нет. Он справедлив для полета самолета как в перевернутом положении, так и на боку. Действующие в этом случае силы знакомы нам из повседневного опыта — например, когда вы высовываете руку из окна движущейся машины и чуть-чуть отводите ее от горизонтали, набегающий воздушный поток отклоняется вниз, а ваша рука поднимается вверх. Итак, третий закон Ньютона представляется более подходящим для объяснения подъемной силы, чем теорема Бернулли.

Но сам по себе принцип равенства действия и противодействия тоже не может объяснить, почему понижается давление на верхней поверхности крыла независимо от того, изогнут его профиль или нет. И только когда самолет приземляется и останавливается, область низкого давления у верхней поверхности крыла исчезает,

оно сравнивается с давлением окружающей среды и становится одинаковым у верхней и нижней поверхностей. Но пока самолет находится в полете, эта область остается неизменным элементом аэродинамической подъемной силы — и этому должно быть найдено достоверное объяснение.

Немного истории

Конечно, ни Бернулли, ни Ньютон не пытались объяснить, что удерживает самолет в воздухе, поскольку они жили задолго до развития авиации. Сформулированные ими законы были просто «перепрофилированы», когда братья Райт совершили свои первые полеты, и стали основным подспорьем для ученых в попытках объяснить природу подъемной силы.

Большинство теоретических объяснений сути этого явления были сделаны в Европе. В начале XX в. несколько британских ученых продвинулись в техническом и математическом обосновании природы подъемной силы, сделав допущение, что воздух — это идеальная жидкость, несжимаемая и имеющая нулевую вязкость. Эти допущения были далеки от истины, но они давали возможность понять суть нового явления — управляемого полета механизма, оснащенного двигателем. Эти предположения позволили упростить и сделать более понятной лежащую в их основе математическую базу,

но эта простота имела свою цену: какими бы ни казались успешными расчеты движения аэродинамического профиля в идеальном газе, они становились некорректными при реальных испытаниях.

В Германии одним из ученых, занявшихся решением проблемы подъемной силы, был не кто иной, как Альберт Эйнштейн. В 1916 г. он опубликовал в журнале *Die Naturwissenschaften* короткую статью под названием *Elementary Theory of Water Waves and of Flight* («Элементарная теория волн воды и полета»), в которой пытался объяснить несущую способность крыльев летательных аппаратов и парение птиц в воздухе. «В этих вопросах много неясного, — писал Эйнштейн. — Должен признаться, что не встречал однозначного ответа на этот вопрос даже в специальной литературе».

Затем Эйнштейн предложил объяснение, предполагавшее наличие несжимаемой жидкости, в которой отсутствует трение, — то есть идеальной жидкости. Не упоминая имени Бернулли, он дал объяснение, которое согласуется с его принципом, а именно: давление жидкости выше там, где ее скорость меньше, и наоборот. Основываясь на этой разнице давлений, Эйнштейн предложил аэродинамический профиль с выпуклой верхней поверхностью, утверждая, что такая форма поверхности увеличит скорость потока воздуха над ней, что приведет к уменьшению давления в этой области.

Возможно, Эйнштейн полагал, что его расчеты для идеальной жидкости будут применимы к потокам реальной жидкости. В 1917 г. ученый на основе своей теории разработал аэродинамический профиль, который позднее получил название «кошачья спинка» по причине его внешнего сходства с выгнутой спиной потягивающейся кошки. Он предложил свою конструкцию расположенной в Берлине (ныне не существующей) германской авиастроительной компании *LVG (Luftverkehrsgesellschaft)*, которая по его проекту создала новый летательный аппарат. Летчик-испытатель сообщил, что машина «ковыляла» в воздухе, как «беременная утка». Много позже, в 1954 г., сам Эйнштейн назвал свой опыт в авиации «юношеской глупостью». Человек, сформулировавший революционные теории относительно как микро-, так и макромира, оказался не в состоянии разобраться в природе подъемной силы и спроектировать применимую на практике конструкцию аэродинамического профиля.

К полноценной теории подъемной силы

Современные научные подходы к проектированию летательных аппаратов тесно связаны с компьютерным моделированием в области гидродинамики и так называемыми уравнениями Навье — Стокса, которые учитывают вязкость реального воздуха. Решение этих уравнений и осуществляемое на их основе компьютерное моделирование дают представление о распределении давления, характере воздушного потока и количественные результаты, которые становятся основой для проектирования новейших типов самолетов. Но и они сами по себе не обеспечивают достоверного физического объяснения природы подъемной силы.

В последние годы ведущий аэродинамик Даг Маклин (Doug McLean) попытался выйти за сугубо формальные математические рамки и вплотную заняться физическими причинно-следственными связями, которые могли бы объяснить возникновение подъемной силы во всех ее проявлениях. Маклин, который большую часть своей карьеры проработал инженером в компании *Boeing Commercial Airplanes*, где специализировался на развитии компьютерного моделирования, опубликовал в 2012 г. свои новые идеи в книге «Понимание спорных вопросов аэродинамики на основе реальной физики» (*Understanding Aerodynamics: Arguing from the Real Physics*).

Если учитывать, что книга состоит из 500 с лишним страниц сплошного технического анализа, вызывает удивление наличие в ней раздела (7.3.3), озаглавленного «Общее обоснование природы подъемной силы аэродинамического профиля для нетехнической аудитории». Написание этих 16 страниц нелегко далось Маклину, высококвалифицированному специалисту в своей области. «Наверное, эту часть книги писать было труднее всего, — отмечает автор. — Я правил ее снова и снова и все равно не был полностью удовлетворен результатом».

Сложное объяснение сути подъемной силы начинается с основного допущения, принятого классической аэродинамикой: воздушный поток, обтекая профиль крыла, ведет себя как сплошная среда и деформируется, следуя контурам профиля. Эта деформация затрагивает слой жидкости, обтекающей как верхнюю, так и нижнюю поверхность крыла. «Аэродинамическая поверхность оказывает давление на обширную область в так называемом барическом поле (поле давления), — пишет Маклин. —

Когда возникает подъемная сила, над аэродинамической поверхностью всегда образуется диффузное облако низкого давления, а под ней — диффузное облако высокого давления. Там, где эти облака касаются крыла самолета, они создают разность давлений, которая и порождает действующую на профиль подъемную силу.

Крыло толкает воздух вниз, что приводит к нисходящему повороту воздушного потока. В соответствии с принципом Бернулли воздух над крылом разгоняется. Следовательно, здесь создается зона пониженного давления, а под крылом — повышенного. По словам Маклина, это означает, что для создания подъемной силы необходимы четыре компонента: нисходящий поворот воздушного потока, увеличение его скорости, а также области низкого и высокого давления.

В некоторых дискуссиях, касающихся подъемной силы, рассматриваются не сами факты, а то, как их можно интерпретировать, что может привести к возникновению проблем, которые нельзя решить экспериментальным путем

Именно взаимосвязь этих четырех компонентов — отличительный аспект теории Маклина. «Они поддерживают друг друга, находясь во взаимной причинно-следственной связи, и ни один из них не работал бы в отсутствие других, — пишет автор. — Разница давлений порождает подъемную силу, действующую на аэродинамический профиль, а эту разницу обеспечивают поворот потока воздуха вниз и изменение его скорости». Эта взаимосвязь четырех компонентов и составляет пятый элемент объяснения Маклина. Другими словами, для существования и функционирования четырех составляющих подъемной силы необходимо их постоянное взаимодействие и четкое поддержание причинно-следственной связи.

В этих совместных действиях есть что-то магическое. Процесс, как его описывает

Маклин, похож на то, как если бы четыре находящиеся в воздухе парашютиста подтягивали стропы парашюта друг друга, чтобы без постороннего воздействия оставаться в воздухе. Как говорит сам Маклин, это случай «круговой причинно-следственной связи». Каким образом каждый компонент поддерживает все остальные? И в чем причина этого взаимовыгодного динамического взаимодействия? Ответ Маклина: второй закон Ньютона.

Согласно этому закону, ускорение твердого тела или объема жидкости пропорционально приложенной силе. «Второй закон Ньютона говорит нам, что когда разность давлений действует на некий объем жидкости, его скорость и направление движения меняются», — поясняет Маклин. Но, в свою очередь, разность давлений возникает и зависит от ускорения этих объемов жидкости.

Не получаем ли мы в таком случае что-то из ничего? Маклин говорит, что нет: если бы крыло находилось в состоянии покоя, ни один из компонентов не мог бы существовать. Но крыло движется в воздухе, где каждый элемент влияет на все остальные, и в полете между ними устанавливается устойчивая связь.

Что еще влияет на подъемную силу

Вскоре после публикации книги *Understanding Aerodynamics* Маклин осознал, что он учел не все элементы подъемной силы, поскольку не привел убедительного объяснения, какие факторы вызывают изменение давления на крыло в потоке. В ноябре 2018 г. он опубликовал статью из двух частей в *The Physics Teacher*, где дал «исчерпывающее объяснение происхождения подъемной силы».

Статья в значительной мере повторяет более ранние рассуждения Маклина, однако в ней делается попытка более четко объяснить природу неоднородности барического поля и высказываются предположения относительно соответствующих физических факторов. В частности, автор рассматривает взаимодействие в потоке и объясняет неоднородность барического поля действием нисходящей силы, оказывающей давление на воздух аэродинамическим профилем.

Вопрос, можно ли назвать раздел (7.3.3) книги Маклина и его последующую статью исчерпывающим объяснением природы подъемной силы, остается открытым; материал нуждается в дальнейших трактовке и обсуждении. Есть несколько причин, по которым трудно осуществить четкий,

простой и убедительный анализ природы подъемной силы. В частности, поток жидкости — более сложный и трудный для понимания объект, чем движение твердого тела; особенно это касается потоков, которые разделяются передней кромкой крыла и затем подвергаются различным физическим воздействиям, проходя вдоль верхней и нижней его поверхностей. В некоторых дискуссиях, касающихся подъемной силы, рассматриваются не сами факты, а то, как их можно интерпретировать, что может привести к возникновению проблем, которые нельзя решить экспериментальным путем.

Тем не менее на данный момент остается лишь несколько нерешенных вопросов. Подъемная сила, как вы помните, возникает в результате разницы давлений на верхней и нижней поверхностях аэродинамического профиля (крыла). У нас уже есть приемлемое объяснение того, что происходит в нижней части аэродинамического профиля: набегающий поток воздуха толкает крыло как вверх (создавая подъемную силу), так и горизонтально назад (создавая сопротивление). Воздействие в вертикальном направлении обусловлено более высоким давлением под крылом, возникающим вследствие действия и противодействия в соответствии с третьим законом Ньютона.

Однако над верхней поверхностью крыла ситуация не настолько простая. Там есть область пониженного давления, вносящая вклад в подъемную силу, происхождение которой ни принцип Бернулли, ни третий закон Ньютона не объясняют. Так где же искать ответ? Из наблюдений за линиями потока мы знаем, что воздух под крылом плотно прилегает к его нижней поверхности. Но почему частицы воздуха, движущиеся вдоль верхней поверхности крыла, повторяют его искривления, а не отрываются от крыла и не летят назад в горизонтальном направлении?

Марк Дрела (Mark Drela), профессор гидродинамики из Массачусетского технологического института, автор труда *Flight Vehicle Aerodynamics* («Аэродинамика летательного аппарата»), предлагает такой ответ: «Если поток воздуха моментально слетит по касательной с верхней поверхности крыла самолета, там образуется вакуум, — объясняет он. — Этот вакуум будет втягивать молекулы воздуха, пока те не заполнят пустоту, то есть пока поток снова не будет двигаться по касательной вдоль аэродинамического профиля. Такова физическая основа того, что молекулы не отрываются и движутся

вдоль крыла. Незначительный вакуум все же остается — именно он удерживает частицы воздуха на искривленной траектории».

Образованию области пониженного давления сопутствует и другой фактор: более высокая скорость воздушного потока над верхней поверхностью крыла. «Пониженное давление над поднимающимся крылом тянет в горизонтальном направлении частицы воздуха, приближающиеся к крылу из потока, так что ко времени обтекания верхней поверхности крыла они приобретают большую скорость, — говорит Дрела. — Увеличение скорости частиц, когда они выходят из восходящего потока, можно рассматривать как побочный эффект пониженного давления в этой области».

Но, как всегда, когда мы пытаемся объяснить происхождение подъемной силы с технической точки зрения, находится специалист, который дает другой ответ. Аэродинамик из Кембриджа Бабинский говорит: «Мне не доставляет удовольствия спорить с моим уважаемым коллегой Марком Дрелой, но если образование вакуума служит объяснением процесса, тогда как же понять, что поток тем не менее иногда отрывается от крыла? Во всем остальном я с ним согласен. Проблема состоит в том, что нет простого и краткого объяснения».

Сам Дрела признает, что его аргументация не совсем корректна. «Очевидный вывод таков: единого общепринятого объяснения не существует», — говорит он. Так что же нам остается? На самом деле именно с этого мы и начали: с Джона Андерсона, который заявил: «На этот вопрос нет однозначного ответа».

Перевод: С.Э. Шафрановский

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- How Do Wings Work? Holger Babinsky in *Physics Education*, Vol. 38, No. 6, pages 497–503; November 2003.
- The Enigma of the Aerofoil: Rival Theories in Aerodynamics, 1909–1930. David Bloor. University of Chicago Press, 2011.
- Understanding Aerodynamics: Arguing from the Real Physics. Doug McLean. Wiley, 2012.
- You Will Never Understand Lift. Peter Garrison in *Flying*; June 4, 2012.
- Flight Vehicle Aerodynamics. Mark Drela. MIT Press, 2014.



Возраст фигуративного изображения, найденного в пещере в Индонезии, оценивается в 43,9 тыс. лет. Оно значительно старше, чем сравнимые образцы из Европы.

АРХЕОЛОГИЯ

Первая ИСТОРИЯ

Наскальные рисунки из Сулавеси —
древнейший известный образец
сюжетной живописи

Кейт Вонг

ОБ АВТОРЕ

Кейт Вонг (Kate Wong) — старший редактор материалов об эволюции и экологии в *Scientific American*.



В

зале № 67 мадридского музея Прадо перед зрителем предстает картина Франсиско Гойи «Сатурн, пожирающий своих детей», на которой запечатлена омерзительная сцена. На полотне представлен греческий миф о Кроносе (Сатурн в римской мифологии), который проглатывал своих детей из-за страха быть свергнутым ими. Критики интерпретируют созданный Гойей образ — безумный взгляд широко раскрытых глаз бога-каннибала, поглощающего своего сына, наполнен явными ужасом и стыдом — как аллегорию ужасов войны, разложения испанского общества, ухудшающегося психологического состояния самого художника.

Это полотно — одно из величайших произведений сюжетной живописи всех времен. Несомненно, ничтожно малое число людей обладает таким мастерством визуального рассказчика, но даже в усеченных формах подобное творческое выражение представляет особый случай: известно, что только наш вид, *Homo sapiens*, придумывает вымышленные истории и передает их с помощью репрезентативных образов.

Археологи активно ищут истоки характерного для человека творческого поведения. Долгое время древнейшие образцы фигуративного искусства (в отличие от абстрактных знаков) и изображения вымышленных существ находили на стоянках в Европе, возраст которых составляет менее 40 тыс. лет. Однако в последние годы исследователи стали обнаруживать более древние примеры фигуративного искусства в Юго-Восточной Азии. Археологи, работающие на индонезийском острове Сулавеси, нашли самые древние на данный

момент образцы фигуративной живописи. В статье, опубликованной в декабрьском номере *Nature*, Максим Обер (Maxime Aubert), Адхи Агус (Adhi Agus), Октавиана и Адам Брум (Oktaviana & Adam Brumm) из австралийского Университета Гриффита вместе с коллегами сообщают, что на наскальных изображениях, по-видимому, показаны несколько фантастических человеческих фигур в момент охоты на реально существующих животных. Если ученые правы, то находка представляет собой древнейший в мире пример рассказа посредством живописных образов, а также свидетельство размышлений о сверхъестественном.

Древняя сцена

Команда ученых обнаружила древний рисунок в 2017 г. на юге Сулавеси в пещере Леанг Булу Сипонг 4 в карстовой зоне Марос-Пангкеп — впечатляющем ландшафте из выступающих башен известняка и скал. На шероховатой стене пещеры

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- *Homo sapiens* — единственный известный вид, способный заниматься фигуративным искусством, предаваться духовным размышлениям и передавать вымышленные истории посредством образов.
- Многие годы древнейшие следы такого творческого выражения находили в Европе, в связи с чем появилась теория о том, что Европа была «пансионом благородных девиц» для нашего вида.
- Наскальные рисунки в Индонезии, на которых, как считается, изображена сцена охоты, содержащая сверхъестественные детали, старше любого сравнимого европейского образца.



изображены шесть крошечных охотников с лассо или копьями перед большим буйволом. Рядом нарисованы другие охотники, нападающие на других буйволов и диких свиней. Охотники похожи на людей, но обладают загадочными чертами животных: у одного, например, есть хвост, а у другого — клюв. Такие гибриды человека и животного называются териантропами (от греч. *therion* — «зверь» и *anthropos* — «человек»); они считаются показателем духовного мышления, как, например, Минотавр с головой быка в греческой мифологии и египетский бог Анубис с головой шакала. Исследователи предполагают, что разные фигуры, нарисованные пигментом цвета старой ржавчины, — это детали одной сцены, на которой, возможно, представлена стратегия совместной охоты, известной как загон дичи, в ходе которой жертву, вспугивая, заставляют бежать из логова и гонят на охотников.

Для датировки изображений исследователи провели оценку радиоактивного распада урана в минеральных отложениях, сформировавшихся над рисунками. Проанализировав образцы отложений

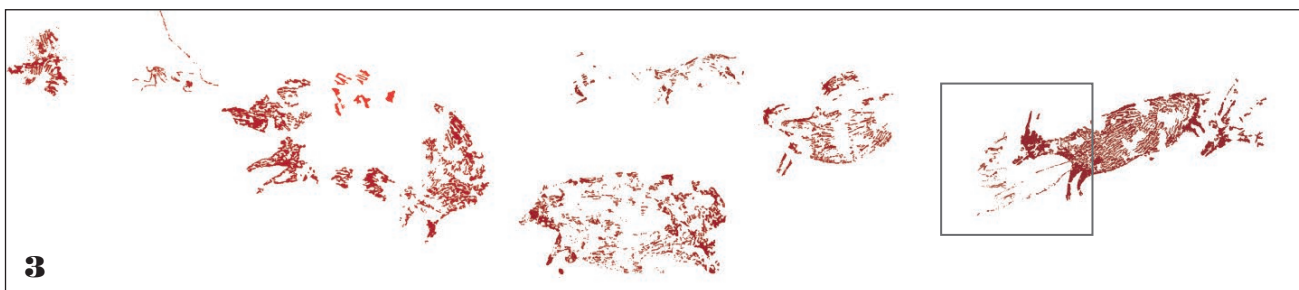


Наскальный рисунок был обнаружен археологами на стоянке Леанг Булу Сипонг 4 на индонезийском острове Сулавеси (1). До входа в пещеру, расположенного высоко над землей, трудно добраться (2).

с разных участков нарисованной сцены, команда получила разброс минимального возраста находки от 43,9 до 35,1 тыс. лет. Если этому изображению по меньшей мере 43,9 тыс. лет, как заявляют Обер и его коллеги, тогда оно на несколько тысячелетий старше и лучше самого древнего из ранее известных образцов фигуративной живописи — обнаруженного в пещере на Борнео рисунка возрастом 40 тыс. лет, на котором представлено животное, похожее на корову. Если ученые правы, то наскальный рисунок из Леанг Буллу Сипонг 4 старше и найденной в Германии статуэтки человека-льва возрастом от 39 до 40 тыс. лет, долгое время считавшейся древнейшим изображением териантропа, и древнейшей сцены охоты возрастом 17 тыс. лет из знаменитой пещеры Ласко во Франции.

Географическое местоположение наскальных рисунков имеет большое значение. Хотя специалисты давно признали, что человек произошел из Африки, из-за того что все древнейшие известные образцы искусства и других видов сложного поведения были найдены в Европе, как говорит Эйприл

Считается, что изображенные в одной части наскального рисунка фигурки — это териантропы (мифические существа, сочетающие черты человека и животного), охотящиеся на маленького буйвола аноа, эндемика этого региона (1). Хотя изображение частично истерто, на «сшитой» из серии панорамных снимков панорамной фотографии всего панно (2) и скопированном рисунке (3) видны дополнительные фигурки териантропов и еще несколько буйволов и диких свиней. Для определения возраста образцов минеральных отложений, сформировавшихся поверх нарисованных фигур, использовали метод урановых серий, основанный на оценке радиоактивного распада урана. Минимальный возраст образцов составил от 43,9 до 35,1 тыс. лет.



«Очень интересная особенность человека — наша развитая рабочая память. Она дает нам возможность мысленно планировать, выстраивать последовательность событий еще до их осуществления и, конечно, рассказывать истории»

Эйприл Ноуэлл, Университет Виктории

Ноуэлл (April Nowell) из канадского Университета Виктории, «Европа когда-то считалась "пансионом благородных девиц" для человечества». Однако на самом деле наблюдавшаяся закономерность в том, что касалось открытий, лишь стала отражением непропорционально большого числа археологических исследований, проводившихся в Европе, особенно во Франции. «Это новое открытие дополняет богатый перечень различных образцов ранней наскальной живописи из Индонезии и Австралии и подчеркивает важность проведения исследований за пределами Европы», — говорит Ноуэлл.

Расположение рисунка, обнаруженного в пещере, вход в которую находится на высоте примерно 7 м над землей, так что современным посетителям трудно добраться до него без лестницы или альпинистского снаряжения, тоже весьма интригующе. В Европе древние наскальные рисунки часто находят в глубоких, очень темных коридорах, до которых, по-видимому, было трудно добраться и где было тяжело работать, поэтому, возможно, такие места имели особое значение для художников. Адам Брумм отмечает, что на Сулавеси древние изображения находят преимущественно рядом со входами в пещеры и скалистые убежища, так что они находятся в освещенной, а не в темной зоне. Однако рисунки в Леанг Буллу Сипонг 4 были созданы в высоких, труднодоступных пещерах и нишах на поверхностях выступов известняка и скал, характерных для региона. «Помимо живописи, на этих стоянках нет свидетельств обитания человека, и мы предполагаем, что древние люди использовали их только для создания изображений. — говорит Брумм. — Почему? Мы не знаем. Но, возможно, создание наскальных рисунков в таких недоступных пороговых местах высоко над землей имело более глубокое культурное и символическое значение». Брумм также подчеркивает: чтобы добраться до этих мест, художникам, вероятно, приходилось карабкаться вверх по виноградным лозам или стволам бамбука, или, в некоторых случаях, пробираться через сеть коридоров внутри карстовых пещер. Однако, несмотря на то что и древние художники на Сулавеси, и их собратья в Европе создавали свои произведения в местах,

возможно, имеющих особое значение, и использовали некоторые сходные стилистические условности, изображая свои сюжеты, как говорит Брумм, «маловероятно, что существуют какие-либо прямые исторические или культурные взаимосвязи между анималистическим искусством ледникового периода в Индонезии и в Европе».

На самом деле, хотя найденные рисунки, вероятно, отодвигают еще дальше в прошлое дату появления первых образцов фигуративного и сюжетного искусства, а также изображений террантропов, они мало что говорят о движущей силе, с которой связано возникновение таких форм творческого выражения. Десятилетиями ученые ломают голову над тем, что между появлением анатомически современного человека и современного человеческого поведения, такого как создание произведений искусства, по-видимому, существует большой временной разрыв. Анатомически современный человек появился в результате эволюции сотни тысяч лет назад, а элементы современного поведения, как свидетельствуют образцы материальной культуры, сохранившиеся в археологической летописи, сформировались довольно поздно. Некоторые ученые постулируют, что последний когнитивный сдвиг, возможно, интенсивно стимулировал способность наших предков к изобретательству. Другие предполагают, что творческие порывы древних людей поддерживали культурные, социальные или экологические факторы, или какие-то их сочетания. «Датированные нами наскальные рисунки не дают каких-либо прямых ответов на этот интересный вопрос. К сожалению!» — отмечает Брумм. Однако в свете имеющихся доказательств он подозревает, что вымышленное повествование появилось задолго до этого изображения, «возможно, даже до того как произошло расселение нашего вида из Африки».

Рисунок может также пролить свет на другие особенности психики наших предшественников. «Одна из наиболее интересных особенностей человека — наша развитая рабочая память, — объясняет Эйприл Ноуэлл. — Она дает нам возможность мысленно планировать будущее, выстраивать последовательность событий до их осуществления

и, конечно, рассказывать истории». Эйприл отмечает: антрополог Полли Висснер (Polly Wiessner) из Университета Юты продемонстрировала, что во многих племенах современных охотников-собирателей говорят о разных вещах в зависимости от времени суток. В светлые часы люди обычно обмениваются слухами или обсуждают экономические проблемы и политику. По вечерам, наоборот, они рассказывают истории и поют песни.

«Именно рассказы и песни собирают людей вместе, — замечает Ноуэлл. — Такой набор предполагает, что традиция повествования уходит корнями в прошлое на десятки тысяч лет. Истории могут быть о реальных или мифологических событиях; они могут служить и наставлением, и развлечением одновременно». И хотя мы, вероятно, никогда не узнаем, о чем конкретно повествует изображение из пещеры на Сулавеси, как говорит Ноуэлл, «когда мы собираем эти истории, эти сцены, то начинаем постепенно понимать, что было важным для этих конкретных людей именно в то время и в том месте».

Нерешенные вопросы

Остается открытым вопрос о том, кто нарисовал фигурки в Леанг Булу Сипонг 4: человеческие скелетные останки, относящиеся к тому периоду, не обнаружены ни в этой пещере, ни на других стоянках на Сулавеси. Известно, что виды человека, близкие *Homo sapiens*, в том числе неандертальцы, создавали произведения искусства, хотя до настоящего времени, по-видимому, исключительно абстрактные. Нам также известно, какие виды населяли Юго-Восточную Азию в не очень далеком прошлом: на индонезийском острове Флорес 60 тыс. лет назад обитал *Homo floresiensis*, на Филиппинах еще 50 тыс. лет назад жил *Homo luzonensis*, а генетический анализ показал, что всего 15 тыс. лет назад в Индонезии или Новой Гвинее, возможно, происходили скрещивания между представителями сохранившейся группы денисовцев и *Homo sapiens*. Когда Брумма спрашивают, возможно ли, что сцену охоты нарисовали представители других видов человека, он говорит: «Если принимать во внимание сложный характер изображения, наша рабочая гипотеза заключается в том, что этот наскальный рисунок создан человеком современного типа — людьми с точно такой же когнитивной "архитектурой", как у нас. Предполагается, что эти люди заселили Сулавеси в период первичной волны расселения *Homo sapiens* в Индонезии, по меньшей мере от 70 до 50 тыс. лет назад».

Однако сложность изображения выступает предметом спора. Специалист по раннему искусству из Даремского университета в Англии археолог Пол Петтитт (Paul Pettitt), не участвовавший в новом исследовании, указывает, что хотя

возраст рисунка одного животного в группе составляет 43,9 тыс. лет, большинство других фигур не датированы. «"Сцены" очень редко встречаются в искусстве плейстоцена, — отмечает Пол. — Если бы такие изображения находились в Европе, Африке или Северной Америке, их возраст датировался бы периодом не более 10 тыс. лет назад». Петтитт замечает, что размеры так называемых териантропов не соответствуют размерам животных, на которых, как говорят, они охотятся. Археолог задается вопросом: «Может быть, они не связаны с животными?» Или, возможно, териантропы были нарисованы гораздо позже? «Нам известно, что в Европе изображения в "расписных пещерах" на самом деле создавались в несколько этапов, отделенных друг от друга тысячами лет», — рассказывает Петтитт. Для того чтобы убедиться, что рисунки в Леанг Булу Сипонг 4 относятся к одному периоду, можно было бы использовать геохимический анализ применявшихся пигментов.

Пол Петтитт не убежден и в том, что охотники — это териантропы и вообще похожи на людей. «Некоторые фигуры расплывчаты и, несомненно, вызывают вопросы», — говорит ученый. Он добавляет, подчеркивая горизонтальное изображение фигур: «Даже на самых отчетливых изображениях могут быть четвероногие. А предполагаемые копыта — это всего лишь длинные линии, которые просто проходят близко к некоторым "людям", вряд ли это оружие в руках. Так что остается открытым вопрос, представлены ли здесь люди и, если на изображении показана сцена, сцена ли это охоты».

Дальнейшая работа позволит ответить на многие вопросы. Открытие, сделанное группой археологов на стоянке в этом регионе, добавилось к множеству других с образцами фигуративной живописи, которые еще необходимо датировать. Возможно, они предоставят новые данные об истоках современного человеческого разума, способного к созданию образов, придумыванию мифов и повествованию. ■

Перевод: С.М. Левензон

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Вонг К. На заре современного разума // ВМН, № 9, 2005.
- Earliest Hunting Scene in Prehistoric Art. Maxime Aubert et al. in Nature, Vol. 576, pages 442–445; December 19–26, 2019.



ФОТО И ВИДЕО КОНКУРС

СНИМАЙ
НАУКУ

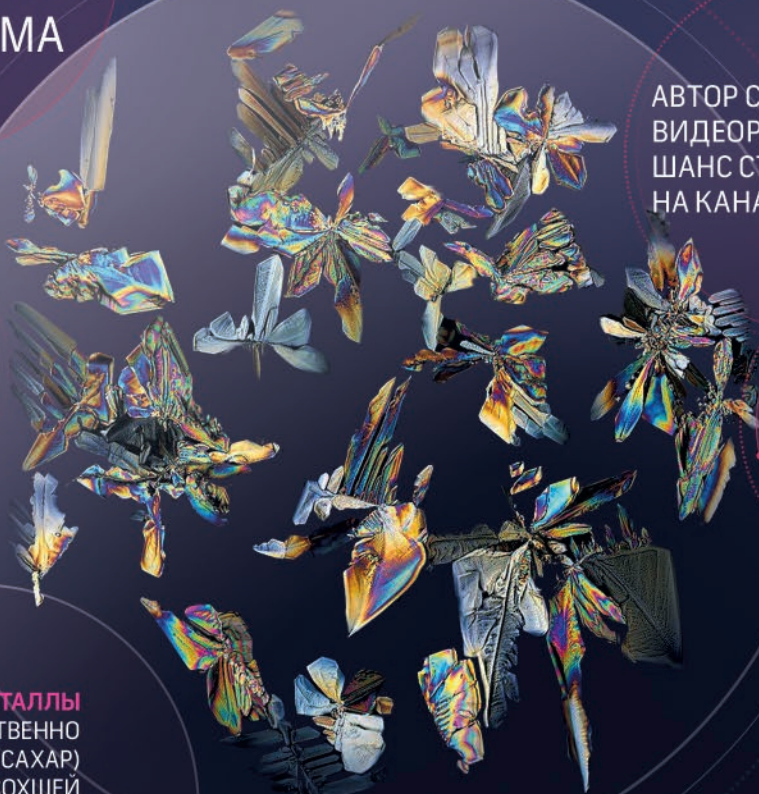
СПЕЦПРИЗ
ЗА САМЫЕ
ЯРКИЕ РОЛИКИ
СНЯТЫЕ ДОМА

ЛУЧШИЕ
ФОТОРАБОТЫ
ПРОИЛЛЮСТРИРУЮТ
СТАТЬИ ВИКЕПЕДИИ

КРИСТАЛЛЫ
(ПРЕИМУЩЕСТВЕННО
САХАР)
В ВЫСОХШЕЙ
КАПЛЕ КОКА КОЛЫ
ПОД МИКРОСКОПОМ.
ПОЛЯРИЗАЦИЯ.
СКРЕЩЕННЫЕ
ПОЛЯРИЗАТОРЫ.

АВТОР САМОЙ УДАЧНОЙ
ВИДЕОРАБОТЫ ПОЛУЧИТ
ШАНС СТАТЬ ВЕДУЩИМ
НА КАНАЛЕ

ВЫИГРЫВАЙ
ЦЕННЫЕ
ПРИЗЫ



12+
РЕКЛАМА

ПОДРОБНОСТИ НА САЙТЕ
NAUKATV.RU

ВНИМАНИЕ!
ПРОСИМ ВСЕХ ОТВЕТСТВЕННО ОТНЕСТИСЬ К ТЕКУЩЕЙ СИТУАЦИИ С КОРОНАВИРУСОМ,
СОБЛЮДАТЬ КАРАНТИН И СНИМАТЬ НАУКУ.



ПОЗНАНИЕ



МОЯ ПЛАНЕТА
телеканал



КАНАЛ
НАУКА



ЖИВАЯ ПЛАНЕТА
телеканал



ПЛАНЕТА HD
телеканал



ИСТОРИЯ
телеканал



ДОКТОР
телеканал



ТЕЛЕКАНАЛ
24



Australopithecus anamensis

ОБ АВТОРЕ

Кейт Вонг (Kate Wong) — старший редактор материалов об эволюции и экологии в *Scientific American*.



ПАЛЕОАНТРОПОЛОГИЯ

ЛИЦО ИЗ ГЛУБИНЫ ВРЕМЕН

Недавно найденный ископаемый череп может изменить семейное дерево человечества

Первые ископаемые останки анамского австралопитека (*Australopithecus anamensis*) были описаны почти 25 лет назад, и вот для этого безвестного предка человека наконец настал звездный час. Работающие в Эфиопии исследователи обнаружили почти полный череп давно исчезнувшего представителя группы гомининов, к которой относят *Homo sapiens* и его ближайших вымерших родственников. По этому черепу возрастом 3,8 млн лет впервые стало возможным определить, каким было лицо *A. anamensis*. Ранее о данном виде знали по находкам челюстей, зубов и фрагментов костей туловища. У найденного образца есть признаки, указывающие на необходимость пересмотреть наше семейное дерево.

По некоторым данным, *A. anamensis* — самый древний из известных нам достоверно подтвержденных представителей гомининов, причем возраст ряда находок составляет 4,2 млн лет. Многие годы этот вид занимал ключевое положение на генеалогическом древе: предполагалось, что он прямой предок австралопитека афарского (*Australopithecus afarensis*), которого общепринято считать предком нашего собственного рода *Homo*. Руководствуясь возрастом и характеристиками исследуемых ископаемых, палеоантропологи считали, что *A. afarensis* произошел от *A. anamensis* в процессе анагенеза. Анагенезом называют такие эволюционные изменения, когда один вид превращается в другой. Новая находка совсем не соответствует этой теории.

Йоханнес Хайле-Селассие (Yohannes Haile-Selassie) из Кливлендского музея естественной истории вместе с коллегами обнаружили череп в районе Ворансо-Милле, расположенного в Афарском регионе на северо-востоке Эфиопии. Особенности зубов и челюстей позволили связать его с известными ранее фрагментами останков *A. anamensis*. Череп принадлежал существу с выступающей лицевой частью, большими клыками, массивными скулами, гребнем на голове, к которому крепились

мощные челюстные мышцы, и длинной узкой мозговой частью, в которой помещался мозг размером как у шимпанзе. Исследователи предполагают, что череп принадлежал взрослому самцу *A. anamensis*.

Так как же эта находка могла бы изменить общепринятую точку зрения? Хайле-Селассие с коллегами считают, что на основании более полных сведений о строении *A. anamensis*, полученных благодаря недавно описанному черепу, можно предположить, что одна загадочная лобная кость возрастом 3,9 млн лет, найденная в Белохдили, также в Афарском регионе Эфиопии, принадлежала другому австралопитеку — *A. afarensis*. Если это действительно так, то *A. anamensis*, который, судя по ископаемым останкам, жил 4,2–3,8 млн лет назад, и *A. afarensis*, живший предположительно 3,9–3,8 млн лет назад, в течение как минимум 100 тыс. лет одновременно существовали в Афаре. Такое перекрывание означает, что *A. afarensis* не мог развиваться из *A. anamensis* в процессе анагенеза. Вместо этого *A. afarensis* отделился от *A. anamensis*, некоторое время продолжавшего существовать параллельно со своим дочерним видом. Подобный тип эволюционного процесса называется кладогенезом и может происходить, когда популяции одного вида изолируются друг от друга и таким образом получают возможность развиваться в разных направлениях.

Однако предположение о кладогенезе основано исключительно на том, что лобная кость из Белохдили возрастом 3,9 млн лет принадлежала *A. afarensis*. При этом до сих пор не найдено никаких других таких же старых останков *A. afarensis*. Однако имея для сравнения только одну кость *A. anamensis* из недавно найденного черепа, нельзя исключить, что у других особей лобные кости могли быть другими, такими же, как у находки из Белохдили. Устранить сложившуюся неопределенность можно только найдя другие ископаемые черепа. ■

Перевод: М.С. Багоцкая

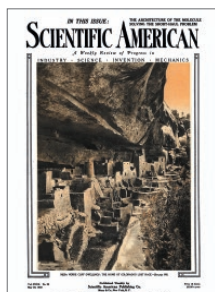


МАЙ 1970

Рецидив «обезьяней войны».

Полемика по поводу эволюции снова вспыхнула в Калифорнии. Управление образования штата включило в новую редакцию методических указаний, подготовленных комитетом учителей естественных наук, формулировку: «Научные

данные относительно происхождения жизни предполагают по крайней мере дуализм или необходимость использовать несколько теорий». Это, вероятно, потребует, чтобы такие соперничающие теории, как история, рассказанная в книге Бытия, и теория Аристотеля о спонтанном зарождении, изучались наряду с дарвинизмом. Это решение, вероятно, повлияет на преподавание биологии по всей стране, поскольку в Калифорнии продается около 10% всех учебников и вряд ли издатели отдадут кому-нибудь калифорнийский рынок или станут публиковать специальные версии, удовлетворяющие требованиям единственного штата.



МАЙ 1920

Летающая лошадь. Из Санта-Барбары дошли слухи, что лошадь, представленная на выставке, проводимой в этом городе, прибыла из Лос-Анджелеса на аэроплане. Перелет был задержан на день, пока сотрудники Общества защиты животных не пришли к твердому убеждению, что путешествие не причинит ей страданий.

Связующее звено. Забастовки различного рода усиливают физическую изоляцию Нью-Йорка и диктуют необходимость, чтобы остров Манхэттен получил транспортные коммуникации, которые обеспечат непрерывающееся движение между Нью-Джерси и той стороной реки Гудзон,

на которой расположен Нью-Йорк. Главный инженер Клиффорд Холланд (Clifford Holland) и его эксперты приняли решение в пользу чугунного двухгалерейного туннеля и метода прокладки с помощью щитов. Такая технология до этого уже была применена при прокладке 22 железнодорожных туннелей под Гудзоном и Ист-Ривер.



Женщина использует облегчающее труд приспособление, помогающее извлечь косточки из вишен, 1870 г.



МАЙ 1870

Торговля животными. В одном из английских журналов сказано: «...торговля дикими зверями — система столь же обычная, как торговля чаем, кофе или хлопком. Некоторых тварей, из которых больше всего попугаев, привозят моряки, вероятно, в качестве подарка возлюбленным, но как только сходят на берег, продают их за грог или табак. Если кто-то захочет заполучить слона для частной езды, тигра для украшения своего сада, крокодила или гиппопотама в озеро, страуса или эму на лужайку, желание легко может быть исполнено путем отправки письма лондонскому дилеру».

Готовим дома. Публикуем гравюру, на которой изображено аккуратное и оригинальное устройство для извлечения косточек из вишен, слив и других фруктов, а также семян из изюма, клюквы и т.п. Улучшенная модель была запатентована Джорджем Гиrom (George Geer) из Гейлсбурга, штат Иллинойс.



ПРАЗДНУЕМ
175
ЛЕТ

Эволюция и техника для приготовления пищи

Способ приготовления людьми еды неразрывно связан с нашей эволюцией и развитием техники. Первое использование огня для приготовления пищи дало людям питательные вещества, которых не было в сырой еде. Обложка августовского номера нашего журнала за 1994 г. демонстрирует воздействие на скелеты эпохи неолита физических усилий, затрачиваемых на помол зерна, после возникновения сельского хозяйства 11 тыс. лет назад. В середине XIX в. пища обычно выращивалась рядом с жилищем, перерабатывалась и поедалась там же. Непрерывный поток изобретений и новшеств в областях транспорта, замораживания, мореплавания, массовой переработки и в сельском хозяйстве сформировал современную продовольственную систему со всеми ее достоинствами и разного рода побочными эффектами.

Кости скелета женщины эпохи неолита, жившей в северной Сирии 11 тыс. лет назад, несут заметные отпечатки тяжелого труда по помолу зерна

Acting Editor in Chief:

Copy Director:

Creative Director:

Managing Editor:

Chief Features Editor:

Chief News Editor:

Chief Opinion Editor:

Senior Editors:

Associate Editors:

Curtis Brainard
 Maria-Christina Keller
 Michael Krak
 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

© 2020 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

по РФ и странам СНГ:

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

Читайте в следующем номере

Новый взгляд на Млечный Путь

Астрономы на удивление мало знают о нашей галактике, в том числе даже о количестве ее спиральных рукавов и положении Солнца внутри нее. Недавняя попытка составить максимально точную карту структуры Млечного Пути дает беспрецедентное представление о нашем космическом доме.

Помощь после цунами

Как ликвидация последствий стихийного бедствия уничтожила сообщество коренных жителей.

Зубные проблемы

В наше время у людей зубы часто расположены слишком скученно и подвержены кариесу. Но так было не всегда.

Выживший

Крошечное шестиногое животное выдержало более 30 ледниковых периодов в Антарктиде. Ученые пытаются выяснить, как ему это удалось.

Кошки против хомяков

Как защитить вымирающий вид, если самая большая угроза ему безмерно любима людьми?

GPS под угрозой

Мы доверяем системе GPS, но оказалось, что взломать ее несложно — и что у США нет защиты от взлома.



В мире науки

SCIENTIFIC
AMERICAN

Ежемесячный
научно-информационный
журнал

www.sci-ru.org

4/5 2020

12+

КАК МЫ УЧИМСЯ // ПСИХОЛОГИЯ ПАНДЕМИИ // ЛЕЧЕНИЕ РЕДКИХ БОЛЕЗНЕЙ

КОСМИЧЕСКИЙ КРИЗИС

Как быстро расширяется
Вселенная? Мнения
ученых разделяются –
и это проблема

ПРАЗДНУЕМ
175
ЛЕТ

