

# В мире науки

SCIENTIFIC  
AMERICAN

Ежемесячный  
научно-информационный  
журнал

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

3 2022

12+

## ЧУДО ДРЕВНЕГО МИРА

Новые  
идеи для  
объяснения  
искусных  
астрономических  
расчетов,  
производимых  
при помощи  
антикитерского  
механизма

УДИВИТЕЛЬНЫЙ МИР  
КАРЕЛЬСКИХ БОЛОТ

ПЕРЕОСМЫСЛИВАЯ ПОГРАНИЧНОЕ  
РАССТРОЙСТВО ЛИЧНОСТИ





# СОДЕРЖАНИЕ

Март 2022

## Темы номера

### АРХЕОЛОГИЯ

#### Великое чудо древнего мира

Тони Фрит

Раскрыты новые подробности устройства антикитерского механизма — сложнейшего астрономического прибора, изобретенного в Древней Греции

### ПРОДОВОЛЬСТВИЕ

#### Защита даров Аляски

Карен Пинчин

Общины коренных народов развивают научные сети взаимодействия для тестирования моллюсков на токсины, появляющиеся в результате вредного цветения водорослей

### ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

#### Когда океан «зацветает»

Ольга Беленицкая

О феномене вредоносного цветения водорослей, его причинах и способах противостояния ему рассказывает академик Андрей Адрианов

### МЕДИЦИНА

#### 4 Ковидные хроники: как сохранить здоровье психики 40

Наталья Лескова

В условиях пандемии все больше людей нуждаются в помощи психиатров и психотерапевтов. Доступность такой помощи — спасение нации, считает член-корреспондент РАН Борис Цыганков



#### 16 Человек и вирус: война или мир? 48

Янина Хужина

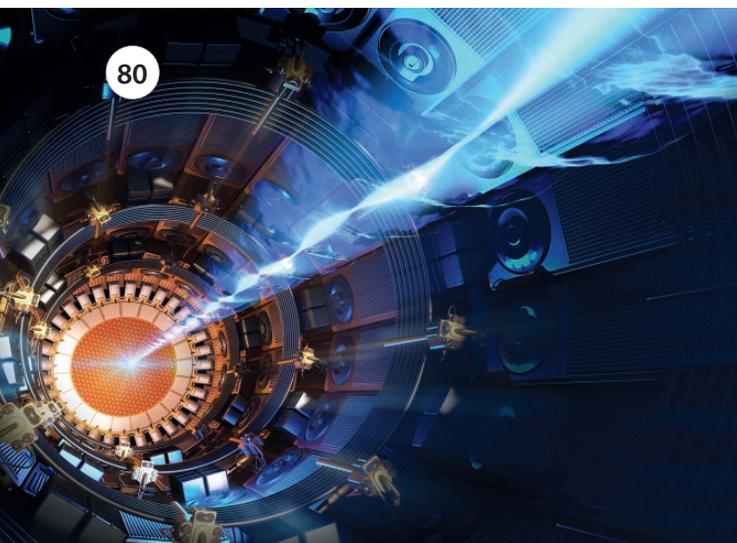
Почему на Земле появились вирусы и как они помогают нам жить дольше? Какой иммунитет лучше защищает от коронавируса? На эти и многие другие вопросы отвечает член-корреспондент РАН Сергей Нетесов



#### 32 Иммунитет на страже 56

Анастасия Рогачева

Как иммунитет реагирует на новые варианты вирусов? Где иммунные клетки обучаются распознавать врага? Когда ждать очередного прорыва в иммунологии? Объясняет академик Сергей Недоспасов





100



16

## БИОЛОГИЯ

### Главные легкие нашей планеты — это болота

*Янина Хужина*

Болота хранят память о прошлом Земли на протяжении миллионов лет и служат домом для многих животных, включая редкие виды водоплавающих птиц. О сложном болотном мире — наш разговор с доктором биологических наук **Олегом Кузнецовым**

## КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

### Капризы космической погоды

*Анастасия Рогачева*

Пока мы сетуем на холод и зной, в околоземном пространстве проявляются более масштабные капризы погоды. О ветре, дожде и бурях в космосе — беседа с членом-корреспондентом РАН **Анатолием Петруковичем**

## КВАНТОВАЯ ФИЗИКА

### Бомовская рапсодия

*Анил Анантасвами*

Измерение времени, необходимого частицам для перемещения между двумя точками, может стать лучшей проверкой альтернативной квантовой теории

64



72



80

## ТЕХНОЛОГИИ

### Слежка за вашими эмоциями

*Джон Маккуэйд*

Сегодня ИТ-компании используют искусственный интеллект для распознавания человеческих эмоций — например, в ходе собеседований с соискателями вакансий, да и в любых общественных местах. Но, как оказалось, искусственному интеллекту тоже не чужды расовые, культурные и гендерные предрассудки

88

## ПСИХОЛОГИЯ

### Длинная тень травмы

*Дайана Квон*

Пограничное расстройство личности — один из наиболее стигматизированных психиатрических диагнозов. Не пора ли начать рассматривать его как последствия травмы?

100

## Разделы

От редакции

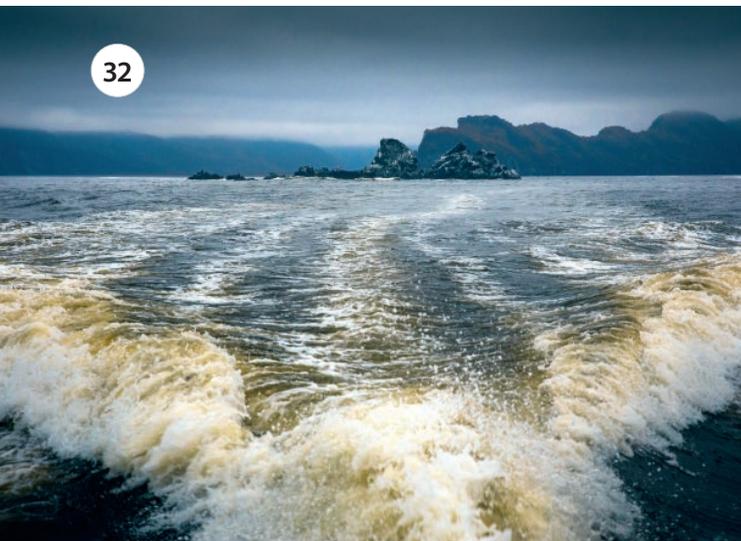
Науки о здоровье

50, 100, 150 лет тому назад

3

110

112



32



72

# В мире науки

SCIENTIFIC  
AMERICAN

## Наши партнеры:



НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»



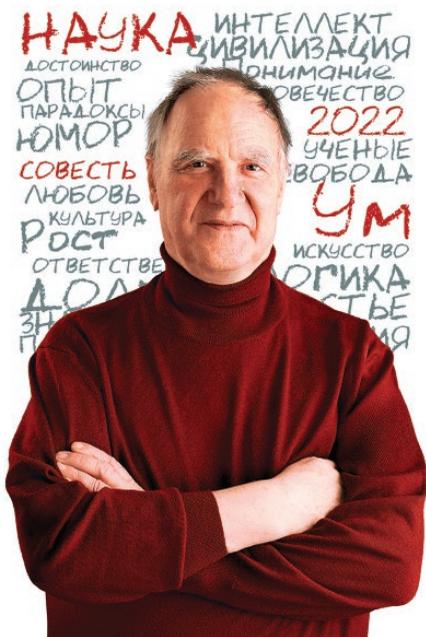
РОСАТОМ



Сибирское отделение РАН



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



## Учредитель и издатель:

Некоммерческое партнерство «Международное партнерство  
распространения научных знаний»

## Главный редактор:

В.А. Садовничий

## Главный научный консультант:

президент РАН академик А.М. Сергеев

## Ответственный секретарь:

О.Л. Беленицкая

## Шеф-редактор иностранных материалов:

А.Ю. Мостинская

## Выпускающий редактор иностранных материалов:

В.Д. Ардагатская

## Зав. отделом российских материалов:

О.Л. Беленицкая

## Выпускающий редактор:

М.А. Янушкевич

## Обозреватель:

В.Ю. Чумаков

## Администратор редакции:

Э.Х. Мусина

## Научные консультанты:

академик А.В. Адрианов; д.б.н. О.Л. Кузнецов; академик С.А. Недоспасов;  
член-корр. РАН С.В. Нетесов; член-корр. РАН А.А. Петрукович; член-корр. РАН Б.Д. Цыганков

## Над номером работали:

М.С. Багоцкая, А.П. Кузнецов, С.М. Левензон, Н.Л. Лескова, И.В. Ногаев, А.И. Прокопенко,  
А.И. Рогачева, О.С. Сажина, Д.С. Хованский, Я.Р. Хужина, С.Э. Шафрановский

## Дизайнер:

А.Р. Гукасян

## Верстка:

А.Р. Гукасян

## Корректора:

М.А. Янушкевич

## Фотографы:

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

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

А.Ш. Геворгян

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

В.К. Малахина

## Финансовый директор:

Л.И. Гапоненко

## Главный бухгалтер:

Ю.В. Калинкина

## Адрес редакции:

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

## Отпечатано:

ПАО «Можайский полиграфический комбинат», 143200, г. Можайск, ул. Мира, 93,  
www.oaomprk.ru, www.oaompk.rf, тел.: 8 (495) 745-84-28, 8 (4963) 82-06-85  
Заказ № 1023

© 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.



## Надежда на науку

О том, что есть такое природное явление — «красный прилив», многие впервые услышали осенью 2020 г., когда на побережье Камчатки произошла массовая гибель морских животных. Именно «красным приливом» — так называется масштабное цветение воды, вызванное бурным размножением водорослей из группы динофлагеллят, — был вызван тот трагический эпизод. Об этом нам рассказали ученые и эксперты, которые на месте и в лабораториях выяснили истинные причины экологической катастрофы. Они и сейчас активно изучают это явление, становящееся все более обширным и частым. Ему посвящены две статьи этого номера — «Защита даров Аляски» Карен Пинчин и интервью с академиком А.В. Адриановым «Когда "зацветает" океан».

Тема *COVID-19*, новые волны которого продолжают терзать жителей нашей планеты, остается по-прежнему актуальной. В условиях пандемии все больше людей нуждаются в помощи психиатров и психотерапевтов. Ситуация настолько серьезна, что доступность такой помощи становится

вопросом спасения нации, считает член-корреспондент РАН Б.Д. Цыганков, интервью с которым опубликовано в этом номере журнала под заголовком «Ковидные хроники: как сохранить здоровье психики».

Еще два интервью номера посвящены таким аспектам коронавирусной инфекции, как мутации вируса SARS-CoV-2 и возможности иммунитета человека справляться с тяжелым заболеванием. Каковы особенности нового варианта коронавируса «омикрон»? Будет ли он мутировать дальше? Почему на Земле появились вирусы и всегда ли они приносят людям зло? Об этом рассказывает член-корреспондент РАН С.В. Нетесов в статье «Люди и вирусы: война или мир?»

Второй материал — интервью с академиком С.А. Недоспасовым «Иммунитет на страже», в котором речь идет о том, как работает иммунитет, как он реагирует на новые угрозы, как иммунные клетки учатся распознавать врага, и о многих других важных темах. ■

**Редакция журнала «В мире науки» /  
Scientific American»**

# ВЕЛИКОЕ ЧУДО ДРЕВНЕГО МИРА





**АРХЕОЛОГИЯ**

**Раскрыты новые  
подробности  
устройства  
антикитерского  
механизма —  
сложнейшего  
астрономического  
прибора, изобретенного  
в Древней Греции**

**Тони Фрит**

**Снаружи и внутри.** Главное ведущее колесо антикитерского механизма: фотография его нынешнего состояния (*слева*) и снимок, полученный с использованием микрофокусной рентгеновской компьютерной томографии (*справа*)

## ОБ АВТОРЕ

**Тони Фрит** (Tony Freeth) — член Антикитерской исследовательской группы Университетского колледжа Лондона. Математик и отмеченный наградами кинорежиссер, Фрит проводит исследования антикитерского механизма с 2000 г. и занимается его популяризацией при помощи фильмов и презентаций.



**В** 1900 г. водолаз Элиас Стадиатис (Elias Stadiatis), одетый в медно-латунный шлем и тяжелый парусиновый костюм, вышел из моря, дрожа от страха и бормоча что-то о «куче мертвых голых людей». Он был одним из греческих водолазов с острова Сими в Эгейском море, которые добывали морские губки. Их группа укрылась от сильного шторма возле небольшого острова Антикитера (ныне Андикитира), расположенного между Критом и материковой Грецией. Когда шторм утих и ловля губок возобновилась, водолазы случайно наткнулись на затонувший корабль, полный греческих сокровищ. Как позже выяснилось, это была самая значительная находка останков кораблекрушения Древнего мира на тот момент. «Мертвые обнаженные люди» на деле оказались мраморными скульптурами, разбросанными по морскому дну вместе с многочисленными артефактами. Это открытие повлекло за собой первые в истории крупные подводные археологические раскопки.

Одним из объектов, найденных во время раскопок, оказался кусок, состоящий из бронзы и морских отложений, размером с большую книгу. Поначалу он остался незамеченным среди более интересных находок. Однако несколько месяцев спустя в Национальном археологическом музее Афин этот кусок раскололся и стали видны бронзовые искусно сделанные зубчатые колеса размером с монету. Согласно представлениям тех лет об уровне технологического прогресса в Древнем мире, подобные шестерни могли появиться в Греции или где-либо еще лишь через много столетий после кораблекрушения. Находка, известная как антикитерский механизм, вызвала серьезные споры.

Этот необычный объект сбивает с толку историков и ученых уже более 120 лет. За десятилетия он распался на 82 фрагмента, которые теперь, словно чертовски сложную головоломку, необходимо собрать заново. Этот механизм выглядит как астрономическая вычислительная машина повышенной сложности. Сегодня у ученых есть представление о некоторых его функциях и возможностях, но все еще остаются неразгаданные тайны. Определенно можно сказать, что этот объект по крайней мере так же стар, как и корабль, на котором он был найден, то есть датируется 60–70 гг. до н.э. Однако по другим исследованиям он мог быть сделан еще раньше, около 200 г. до н.э.

В марте 2021 г. моя группа, известная как Антикитерская исследовательская группа Университетского колледжа Лондона, опубликовала новый анализ этого механизма. В команду входим я — математик и кинорежиссер Тони Фрит (Tony Freeth), материаловед Адам Вуйчик (Adam Wojcik), специалист по визуализации Линдси Макдональд (Lindsay MacDonald), археометаллург Мирто Георгакопулу (Myrto Georgakopoulou) и два аспиранта: часовщик Дэвид Хиггон (David Higgon) и физик Арис Даканалис (Aris Dacanalis). В нашей статье предлагается новое объяснение предназначения и функционирования зубчатой передачи на передней части механизма. Теперь мы куда лучше понимаем сложность антикитерского механизма. Это вызов многим нашим предубеждениям насчет технологических возможностей древних греков.

## Астрономия древних

Сегодня нам известно, что греки преуспели в науке о движении небесных тел, которую в те времена можно было назвать «астрономией невооруженного глаза». Позиция наблюдателя была геоцентричной: каждую ночь по мере оборота Земли вокруг своей оси древние ученые наблюдали вращающийся купол из звезд. Относительное положение светил оставалось неизменным, поэтому греки называли их «неподвижными звездами». Ранние астрономы

## Астрономическая вычислительная машина

Антикитерский механизм, найденный более века назад среди обломков кораблекрушения, на сегодня признан наиболее технологически сложным объектом, созданным в эпоху Древнего мира. Бронзовое устройство, датированное между 205 и 60 гг. до н.э., содержит десятки маленьких шестеренок с зубьями длиной около 1 мм, которые использовались для предсказания положения Солнца, Луны и планет в любое выбранное время. Недавнее исследование, проведенное Антикитерской исследовательской группой Университетского колледжа Лондона, предложило новую модель функционирования передней части этого механизма.

**Передняя сторона.** Главное ведущее колесо внутри механизма вращало все шестерни, которые в свою очередь перемещали стрелки и concentрические кольца, отвечающие за положение различных небесных тел. Маленькие сферы показывали положение Солнца, Луны и фазу Луны. Цветные бусины отмечали расположение планет на эклиптике, плоскости Солнечной системы.

**Задняя сторона.** На задней панели находились два больших и несколько маленьких циферблатов. Большой верхний циферблат представлял собой календарь, отражающий так называемый Метонов цикл — период в 19 лет, за который повторяется 235 лунных фаз. Большой нижний циферблат отвечал за интервал времени, называемый Сарос, и был разделен на 223 месяца. Он использовался для предсказания дат солнечных и лунных затмений.



## Механизмы для «истинного» Солнца, Марса, Юпитера и Сатурна

Шестерни для индикации положения Солнца, Марса, Юпитера и Сатурна были установлены на круглой пластине, соединенной стойками с главным приводным колесом.

- Солнце
- Марс
- Юпитер
- Сатурн

Механизм «истинного» Солнца

Шестерня с 53 зубьями в системе, отвечающей за регулируемое движение Луны

Ведущая коронная шестерня (соединяется с рукояткой, не показана)

Прямоугольная пластина

- Меркурий
- Венера

## Механизмы для Меркурия и Венеры

Положения Меркурия и Венеры рассчитывались шестернями, соединенными с прямоугольной пластиной, которая в свою очередь соединялась стойками с главным приводным колесом.

## Главное ведущее колесо

Это центральное колесо управляло различными зубчатыми передачами, ответственными за расчет положения Солнца, Луны и планет в любой момент времени.

- Солнце
- Луна
- Лунные узлы

Главное ведущее колесо

Шестерня с 38 зубьями

Стойка

ПЕРЕДНЯЯ ПАНЕЛЬ, ВИД ИЗНУТРИ

Лунный указатель

Указатель лунных узлов

## Основная плита с отверстиями

Центральная пластина внутри механизма служила для монтажа шестерен, отвечающих за вращение стрелок и колец на передней и задней пластинах.

Выходная ось для системы, отвечающей за регулируемое движение Луны

Шестерни с пазами и штифтами для описания переменного движения Луны

### «Переменные лунные шестерни»

И древние вавилоняне, и греки знали, что Луна движется неравномерно относительно звезд. В современных терминах это объясняется ее эллиптической орбитой. Сложная зубчатая передача создана специально для расчета переменного движения Луны.

Шестерня с 127 зубьями для расчета движения Луны

Зубчатый венец с 188 зубьями (припаян к шестерне с 223 зубьями)

## ЗАДНЯЯ ПАНЕЛЬ

## ВНУТРИ МАШИНЫ

Новая модель антикитерского механизма предлагает в общей сложности 69 шестерен, образующих невероятно сложный инструмент для астрономических расчетов. Все передачи, особенности крепления и соединения шестерен скрыты внутри устройства, каждое из зубчатых колес играет свою роль в вычислении необходимых астрономических параметров. При этом некоторые шестерни выполняли двойную функцию. Используя внешнюю ручку, пользователь этого «античного компьютера» мог повернуть стрелку календаря в нужную точку прошлого, настоящего или будущего, а шестеренки внутри перемещали указатели на циферблатах, отображая соответствующее расположение небесных тел.

- Календарь, основанный на Метоновом и Калиповом циклах
- Календарь олимпиад
- Календарь Сароса/Экселигмоса

### Задние циферблаты

Система верхних большого и малых циферблатов представляла собой календарь, основанный на Метоновом и Калиповом циклах, суть которого была в согласовании лунного месяца с солнечным годом. Один из меньших циферблатов показывал четырехлетний олимпийский цикл Панэллинических игр, обычно используемый для периодизации. Нижний циферблат представлял собой календарь Сароса/Экселигмоса (период, равный трем Саросам), который предсказывал солнечные и лунные затмения в соответствии с 223-месячным циклом Сароса. Соответствующие надписи на задней пластине описывали характеристики предсказанных затмений.

имели возможность наблюдать также движение тел на фоне «неподвижных звезд»: Луна совершает оборот каждые 27,3 дня, Солнце — каждый год.

Другими движущимися телами оказались планеты, которых греки называли «скитальцами» из-за их беспорядочного движения. Планеты стали серьезной проблемой для астрономии того времени. Ученые задались вопросом, что представляют собой эти тела, и заметили, что иногда «скитальцы» движутся в том же направлении, что и Солнце, — в «прямом» движении, а затем останавливаются и меняют направление — в «попятном» (ретроградном) движении. Через некоторое время они достигают другой стационарной точки и снова возобновляют прямое движение. Эти вращения определяют синодические периоды движения планет — промежутки времени между одинаковым их положением относительно Солнца. Странные, на первый взгляд, движения планет обусловлены тем, что, как мы теперь знаем, планеты вращаются вокруг Солнца, а не Земли, как считали древние греки.

Говоря современным языком, все движущиеся астрономические тела имеют орбиты, близкие к плоскости движения Земли вокруг Солнца, к так называемой эклиптике. Древним астрономам было очень трудно предсказать положение планет на этой плоскости. Эта задача, как оказалось, была одной из основных функций антикитерского механизма. Другая функция заключалась в отслеживании положения Солнца и Луны относительно «неподвижных звезд».

В основе большей части конструкции этого механизма — мудрость еще более древних ученых с Ближнего Востока. Астрономия, как и другие науки, претерпела изменения в I тыс. до н.э. в Вавилоне и Уруке (древнейших городах, находившихся на территории современного Ирака). Вавилоняне фиксировали ежедневное положение астрономических тел, занося данные на глиняные таблички. Они свидетельствовали, что движение Солнца, Луны и планет циклично, — этот факт имел решающее значение для предсказаний. Луна, например, по отношению к звездам проходит 254 цикла каждые 19 лет. В конструкции антикитерского механизма используются некоторые данные вавилонских исследований.

В первые годы изучения антикитерского механизма ключевую роль сыграл немецкий филолог Альберт Рем (Albert Rehm) — первый ученый, увидевший в механизме вычислительную машину. Между 1905 и 1906 гг. он совершил ряд важных открытий, зафиксировав их в своих неопубликованных заметках. Им было, например, обнаружено число 19, выгравированное на одном из сохранившихся фрагментов механизма. Это число было ссылкой на 19-летний лунный цикл, известный как Метонов цикл, названный в честь греческого астронома, но открытый намного раньше

вавилонянами. На том же фрагменте Рем нашел числа 76 (греческое уточнение 19-летнего цикла), и 223 (число лунных месяцев в вавилонском цикле предсказания затмений, составляющее так называемый Сарос, или драконический период). Эти повторяющиеся астрономические циклы — краеугольные камни вавилонской астрономии.

Второй ключевой фигурой в истории исследования антикитерского механизма стал британский физик и историк науки Дерек Джон де Солла Прайс (Derek John de Solla Price). В 1974 г., после 20 лет исследований, он опубликовал важную статью «Греческие шестеренки — календарный компьютер до нашей эры», в которой он ссылается на цитаты римского юриста, оратора и политика Цицерона (106–43 гг. до н.э.). В одной из цитат описывалась машина, созданная математиком и изобретателем Архимедом (около 287–212 гг. до н.э.), — «такая сфера, на которой представлены движения Солнца, Луны и пяти звезд, называемых странствующими и блуждающими <...>. Изобретение Архимеда <...> изумительно именно тем, что он придумал, каким образом при несходных движениях во время одного оборота сохранить неодинаковые и различные пути». Это описание сильно напоминает антикитерский механизм. Несмотря на то что Архимед жил до того времени, когда (как мы полагаем) было создано это устройство, он мог основать традицию, создать базовую конструкцию, приведшую в итоге к изобретению антикитерского механизма.

### Чертovski сложный

Не одно десятилетие ученые пытались расшифровать принципы работы и предназначение этого устройства по одному только внешнему виду все возрастающего числа деталей. В начале 1970-х гг. им наконец удалось заглянуть внутрь. Чтобы получить рентгеновские снимки этих фрагментов, Прайс обратился к помощи греческого физика Хараламбоса Каракалоса (Charalambos Karakalos). К своему удивлению, исследователи обнаружили 30 различных шестеренок: 27 в самом большом фрагменте и по одной в трех других. Каракалос со своей женой Эмили впервые смогли оценить количество зубьев у всех шестерен, что стало важным шагом на пути к пониманию предназначения механизма. Машина выглядела сложнее, чем кто-либо мог себе представить.

Рентгеновские снимки были двухмерными и показали лишь частичные изображения большинства шестерен, а значит, и структуру зубчатой передачи можно было оценить только приблизительно и по плоскому изображению. Ученые могли лишь строить догадки о точном количестве зубьев на многих шестернях. Невзирая на эти неточности, Прайс идентифицировал зубчатую передачу — набор связанных шестерен, — по которой можно было вычислить среднее положение

Луны в любую конкретную дату, используя повторяемость взаимного расположения Луны и Солнца (254 последовательных возвращения Луны в одно и то же место небесной сферы за 19 лет). Эта зубчатая передача, приводимая в движение специальной деталью на передней части механизма, называемой главным ведущим колесом, начинается с шестерни с 38 зубьями (два раза по 19, поскольку шестерня с 19 зубьями была бы слишком маленькой). Эта шестерня с 38 зубьями приводит в движение (через некоторые другие шестерни) шестерню с 127 зубьями (половину от 254, для полного числа потребовалась бы слишком большая шестерня).

Похоже, что устройство можно было использовать для предсказания положения Солнца, Луны и некоторых планет в любой конкретный день прошлого или будущего. Создателю машины пришлось бы откалибровать ее с известными положениями этих тел. Затем любой пользователь мог просто повернуть рукоятку на желаемый период времени, чтобы увидеть астрономические прогнозы. Например, устройство могло отображать одно из 12 значений на «зодиакальном циферблате», расположенном на передней части механизма, где круговая шкала была разделена на дюжину 30-градусных секций, отвечающих за зодиакальные созвездия. На основе данных рентгеновского снимка Прайс разработал подробную модель всех зубчатых передач механизма.

Именно модель Прайса стала моим первым знакомством с антикитерским механизмом, а моя первая статья «Оспаривая классическое исследование» (*Challenging the Classic Research*) представляла собой исчерпывающий разбор большей части предложенной Прайсом конструкции зубчатой передачи. Тем не менее Прайс верно описал взаимное расположение основных фрагментов и определил общую архитектуру механизма с циферблатами дат и зодиакальными созвездиями на передней части и двумя большими циферблатами сзади. Достижения Прайса стали важным шагом в расшифровке тайны антикитерского механизма.

Третьей ключевой фигурой в истории этих исследований стал Майкл Райт (Michael Wright), бывший куратор отдела машиностроения в лондонском Музее науки. В сотрудничестве с австралийским

профессором информатики Аланом Бромли (Alan G. Bromley) Райт провел второе рентгеновское исследование механизма в 1990 г. с использованием линейной томографии. Бромли умер до того, как эта работа принесла плоды, но Райт проявил настойчивость и добился успеха, например, в определении количества зубьев шестерен и в исследовании верхнего циферблата на задней панели механизма.



**Скрытое сообщение.** Новые надписи на антикитерском механизме удалось прочесть благодаря рентгеновскому компьютерному томографу, созданному в 2005 г. В том числе удалось разобрать список планетарных циклов на передней стороне (на фотографии) и «руководство пользователя» на задней стороне механизма.

В 2000 г. я предложил провести третье рентгенологическое исследование, которое было осуществлено в 2005 г. группой ученых из Англии и Греции в сотрудничестве с Национальным археологическим музеем Афин. Британская компания *X-Tek Systems* (в настоящее время принадлежащая *Nikon*) разработала прототип рентгеновского аппарата для получения трехмерных изображений высокого разрешения с использованием микрофокусной рентгеновской компьютерной томографии. Для улучшения детализации изображения была применена новая техника обработки, созданная в компании *Hewlett — Packard*, — так называемое полиномиальное наложение текстуры.

Новые данные нас удивили. Первым крупным прорывом стало мое открытие: в дополнение к движению астрономических тел механизм способен предсказывать затмения. Это открытие было связано с найденной Ремом надписью, в которой упоминался Сарос — цикл, состоящий

из 223 синодических лунных месяцев, с помощью которого можно предсказать лунные и солнечные затмения. Новые рентгеновские снимки показали большую шестерню с 223 зубьями в задней части механизма, которая вращает стрелку-указатель на циферблате, представляющем собой четыре оборота спирали, разделенной в общей сложности на 223 секции. Циферблат Сароса, названный в честь древневавилонского открытия, предсказывает, в какие месяцы будут происходить затмения, а также характеристики каждого затмения согласно соответствующим надписям на механизме. Впечатление от новой возможности этого прибора было омрачено только тем, что назначение группы из четырех шестерен, расположенных вокруг большого зубчатого колеса, оставалось неизвестным.

Месяцы ушли на то, чтобы понять механизм их действия. Но когда я это сделал, результаты были ошеломляющими. Выяснилось, что эти шестеренки очень изящно описывают изменения в движении Луны. Говоря современным языком, поскольку Луна движется вокруг Земли по эллиптической орбите, скорость ее движения по отношению к звездам меняется в зависимости от расстояния до Земли. Но орбита Луны также не фиксирована: период поворота большой оси ее орбиты составляет чуть менее девяти лет. Древние греки не знали об эллиптических орбитах, но они постарались добиться точности в описании движения Луны, объединив два круговых движения с помощью так называемой эпициклической теории.

Я понял, как антикитерский механизм использует эпициклическую теорию, опираясь на замечательное наблюдение Райта. Он изучил два загадочных зубчатых колеса из четырех в задней части механизма и увидел, что у одного из них на лицевой стороне есть штифт, который входит в прорезь на другом колесе. Это может показаться излишним, потому что колеса наверняка будут вращаться вместе с одинаковой скоростью. Однако Райт заметил, что оси вращения этих колес различны и отстоят чуть более чем на миллиметр друг от друга, то есть система генерирует переменное движение. Все эти детали видны на рентгеновских снимках. Выяснилось, что оси шестерен не закреплены, зубчатые колеса установлены плантарно на большой шестерне с 223 зубьями.

Райт отказался от идеи, что эти шестерни рассчитывали переменное движение Луны, — в его модели шестерня с 223 зубьями вращалась слишком быстро, чтобы это имело смысл. Но в моей модели эта шестерня вращается достаточно медленно, чтобы повернуть стрелку циферблата Сароса. Вычисления, учитывающие эпициклическую теорию движения Луны, в сочетании с планетарной зубчатой передачей — неожиданное и гениальное решение, замечательная концепция древних греков. Подобная изобретательность подтверждает

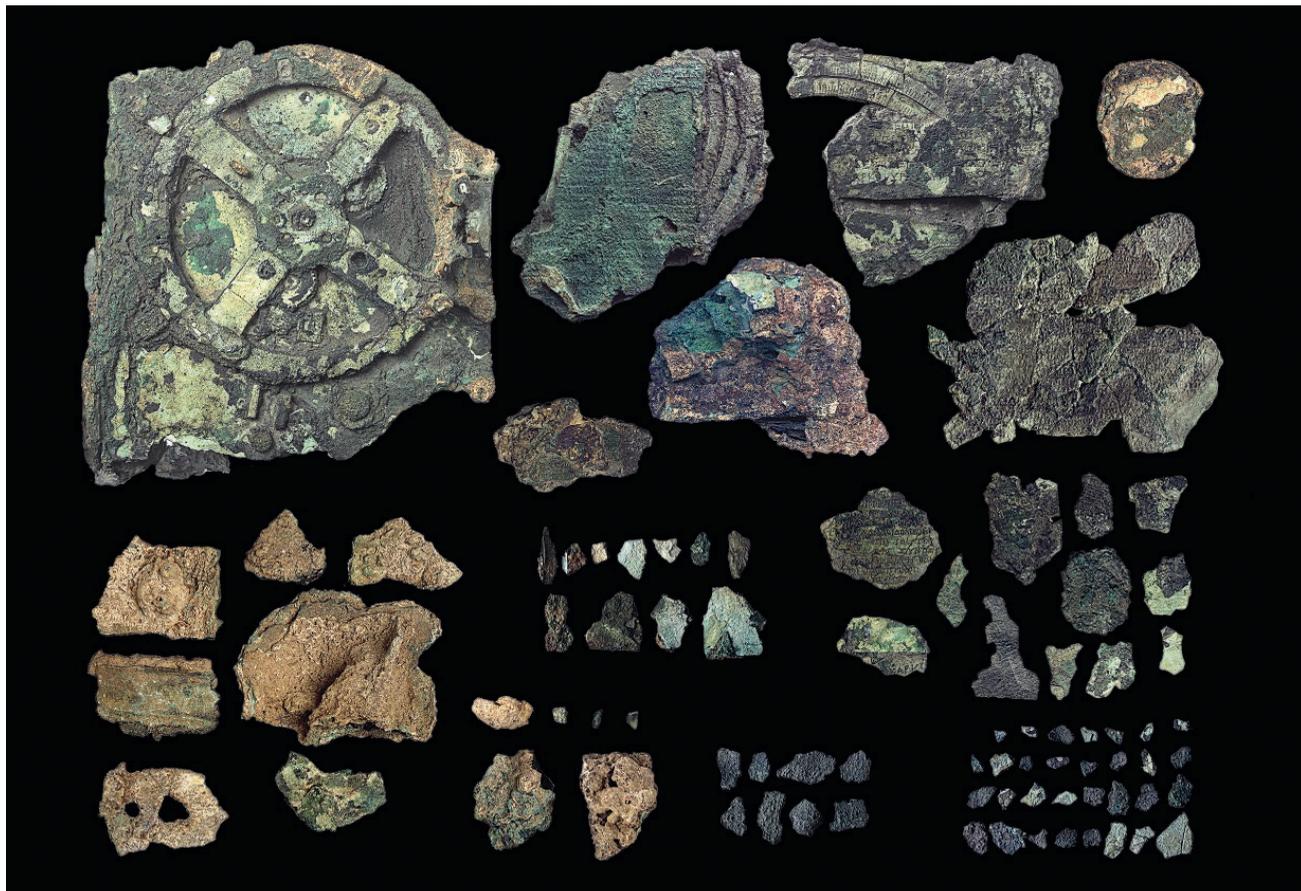
идею о том, что машина была создана Архимедом. Это исследование циферблатов и зубчатых передач завершило наше понимание задней части механизма, согласовав все доказательства. Мы с коллегами опубликовали результаты наших исследований в 2006 г. в журнале *Nature*. Однако другая — передняя — сторона устройства все еще оставалась загадкой.

### Передняя часть механизма

Наиболее заметный элемент передней части самого крупного фрагмента механизма — главное ведущее колесо, один поворот которого соответствовал одному году. Это не плоский диск, как большинство других зубчатых колес. Оно имеет четыре спицы и покрыто загадочными отметинами. Поскольку на спицах есть специальные круглые отверстия для осей, очевидно, что там располагались меньшие по размеру шестерни. На внешнем крае ведущего колеса расположено кольцо небольших столбиков — вертикально торчащие выступы с проткнутыми концами, которые явно предназначались для крепления пластин. Четыре коротких выступа держали прямоугольную пластину, а четыре длинных — круглую.

Вслед за Прайсом Райт предположил, что система, включающая ведущее колесо и установленные на нем шестерни, должна была моделировать эпициклическую теорию — идею одновременного движения по двум окружностям, которую греки использовали для объяснения странного реверсивного движения планет. Райт даже сконструировал настоящую модель зубчатой передачи из латуни, чтобы показать, как она работает. В 2002 г. он опубликовал новаторскую планетарную модель антикитерского механизма, на которой были изображены все пять планет, известных в Древнем мире (открытие Урана и Нептуна в XVIII и XIX вв. соответственно потребовало появления телескопов). Тем самым Райт показал, что эпициклическая теория, созданная для описания переменного движения планет, нашла свое воплощение в механике планетарных зубчатых передач с механизмами штифтов и пазов.

Когда я впервые увидел модель Райта, я был потрясен ее механической сложностью. Она даже имела восемь соосных стержней-трубок, которые вращались с различной скоростью и тем самым выводили различную информацию на передний циферблат механизма. Могли ли древние греки создать настолько сложную и передовую систему? Теперь я считаю, что концепция соосных трубок Райта должна быть правильной, но его система передачи не отвечает экономичности и изобретательности уже открытых зубчатых передач. Задача, с которой столкнулась наша Антикитерская исследовательская группа Университетского колледжа Лондона, заключалась в том, чтобы согласовать модель Райта с тем, что мы знали об остальной части устройства.



**Фрагменты.** За годы, прошедшие с момента обнаружения антикитерского механизма, он распался на 82 части. Одной из сложных задач, стоявших перед исследователями, было выяснить, как эти части сочетаются друг с другом. Самый большой фрагмент (вверху слева) содержит главное ведущее колесо.

Один важный ключ к решению данной задачи был получен благодаря рентгеновской компьютерной томографии в 2005 г. Эти снимки не только показали шестерни в трех измерениях, но и — неожиданное открытие — тысячи новых символов, спрятанных внутри фрагментов, скрытых от глаз на протяжении более 2 тыс. лет. В своих исследовательских записях с 1905 по 1906 г. Рем отмечал, что положения Солнца и планет отображаются в виде концентрической системы колец. Первоначально устройство имело две крышки — переднюю и заднюю, которые не только защищали механизм, но и содержали обширные надписи. Надпись на задней крышке, обнаруженная при сканировании 2005 г., была своего рода руководством пользователя. В 2016 г. Александр Джонс (Alexander Jones), профессор истории астрономии в Нью-Йоркском университете, обнаружил в этой надписи убедительное доказательство идеи Рема: подробное описание того, как Солнце и планеты изображались в виде подвижных колец с маркерами, отмечающими текущее положение.

Любая модель работы механизма должна соответствовать этому описанию Солнца и планет —

руководству, буквально написанному на задней крышке устройства. Однако в предыдущих моделях такая кольцевая система не использовалась из-за технической проблемы, которую мы не могли решить. Райт обнаружил, что в механизме использовался наполовину черный, наполовину посеребренный шар для изображения фазы Луны. Эта фаза рассчитывалась механически, путем вычитания входных данных для Солнца из входных данных для Луны. Но такой процесс оказался несовместимым с кольцевой системой отображения движения планет, потому что соответствующие шестерни, отвечающие за движение Меркурия и Венеры, никоим образом не позволяли соединить шестерни Солнца и Луны. В 2018 г. один из аспирантов нашей команды, Дэвид Хиггон, придумал удивительно простое решение этой технической проблемы и заодно предложил объяснение для загадочного блока на одной из спиц главного ведущего колеса. Этот блок мог передавать данные о «среднем вращении Солнца» (в отличие от переменного «истинного» вращения) непосредственно на систему шестерен, отвечающих за фазы Луны. Это решение позволило использовать систему

колец в передней части механизма, полностью соответствующую надписи на задней крышке.

В попытке расшифровать устройство передней части механизма было необходимо идентифицировать планетарные циклы, то есть понять, как зубчатые передачи вычисляют положения планет. Исходя из более ранних исследований, мы склонялись к тому, что они будут основаны на отношениях планетарного периода, полученных вавилонянами. Но в 2016 г. Джонс сделал открытие, которое заставило нас отказаться от этого предположения.

Рентгеновская компьютерная томография надписи на передней части механизма показывает, что эта панель разделена на секции для каждой из пяти планет. В секции Венеры Джонс нашел число 462; в секции Сатурна — число 442. Эти числа были поразительны. Никакие предыдущие исследования не предполагали, что подобные данные были известны астрономам древности. Фактически они представляют собой более точные отношения периодов, чем те, которые были обнаружены вавилонянами. Похоже, что создатели антикитерского механизма открыли соб-

## Антикитерский механизм с отдельными шестернями, зубья которых достигают длины всего около миллиметра, не имеет аналогов в древнем мире

ственные улучшенные соотношения периодов для двух планет: 289 синодических периодов Венеры соответствуют 462 годам, а 427 синодических периодов Сатурна — 442 годам (*синодические периоды Венеры и Сатурна равны соответственно 1,599 и 1,035 лет. — Примеч. пер.*).

Джонс так и не понял, как древние греки смогли вычислить оба этих периода. Наша команда решила найти ответ, и Арис Даканалис, другой наш аспирант из Университетского колледжа Лондона, составил исчерпывающий список отношений планетарных синодических периодов и оценочных ошибок в вычислениях согласно вавилонским данным. Могут ли комбинации этих ранее полученных значений быть ключом к более точным данным антикитерского периода? В конце концов мы нашли метод, использованный для объединения полученных ранее данных с целью получения более точных результатов. Он был разработан философом Парменидом из Элеи (VI–V вв. до н.э.) и описан Платоном (V–IV вв. до н.э.).

Мы предположили, что любой метод, которым пользовались создатели антикитерского

механизма, требовал соответствия трем критериям: точность, факторизуемость и экономичность. Метод должен быть точным, чтобы соответствовать известным соотношениям периодов для Венеры и Сатурна. Он должен поддаваться факторизации (разделению на более простые элементы), чтобы можно было рассчитать периоды планет, используя достаточно небольшие шестерни, которые могли бы поместиться в механизм. Наконец, чтобы сделать систему более экономичной, различные планеты могли иметь общие шестерни, если отношения их периодов имели общие простые множители. Такая экономичность — ключевая особенность сохранившихся зубчатых колес. Основываясь на этих критериях и используя идею Парменида, наша команда определила не только периоды 462 и 442 для Венеры и Сатурна, но и периоды других планет, для которых надписи были утеряны или повреждены.

Вооружившись значениями отношений периодов планет, мы теперь могли понять, как разместить зубчатые передачи в ограниченных пространствах единого механизма. Для Меркурия и Венеры мы смоделировали экономичные пятиступенчатые механизмы со штыревыми и пазовыми устройствами, подобные механизмам Райта. Вскоре мы нашли убедительные доказательства нашей реконструкции в одном сохранившемся фрагменте антикитерского механизма диаметром 4 см. Внутри этой части рентгеновский снимок показывает диск, прикрепленный к шестерне с 63 зубьями, которая напоминает D-образную пластину. Число 63 имеет те же простые делители 3 и 7, что и число 462 (период Венеры). Зубчатая передача, использующая шестерню с 63 зубьями, может быть спроектирована так, чтобы соответствовать отверстию на одной из спиц главного ведущего колеса. Аналогично зубчатая передача, созданная для Меркурия, соответствует характеристикам противоположной спицы. Эти наблюдения вселили в нас большую уверенность в том, что мы находимся на правильном пути в отношении этих двух планет.

Для других известных планет — Марса, Юпитера и Сатурна — наша команда разработала очень компактные системы, соответствующие доступному пространству. Эти проекты были радикальным отходом от систем Райта. Работая независимо друг от друга, Кристиан Карман (Christián C. Carman) из Национального университета Кильмеса в Аргентине и я показали, что специальная система зубчатой передачи для переменного движения Луны может быть адаптирована и для этих планет. Наша команда доказала, что эти системы передач могут быть расширены, чтобы включить новые соотношения периодов планет. Такая система позволила создателям антикитерского механизма установить несколько шестерен на одну пластину и спроектировать их так, чтобы они точно соответствовали соотношению периодов.

Экономичные семиступенчатые зубчатые передачи могли чередоваться между пластинами на опорах главного ведущего колеса таким образом, чтобы кольца с маркерами планет в итоге соответствовали обычному космологическому порядку небесных тел — Луны, Меркурия, Венеры, Солнца, Марса, Юпитера и Сатурна. Размеры доступного пространства между пластинами были как раз подходящими для размещения этих систем, даже с некоторым дополнительным местом, назначение которого пока оставалось неясным.

Мы добавили механизм переменного движения Солнца и эпициклический механизм для вычисления «узлов» Луны — точек, в которых орбита Луны пересекает плоскость эклиптики. Затмения случаются только тогда, когда Солнце находится близко к одному из этих узлов во время полнолуния или новолуния. Средневековые астрономы и астрономы эпохи Возрождения называли указатель узлов Луны «рукой дракона». Эпициклическая передача для определения этой «руки дракона» в точности соответствовала специальному отверстию на одной из спиц, которое ранее казалось лишним. Наконец-то все особенности главного ведущего колеса были объяснены — и мы опубликовали наши выводы в марте 2021 г. в *Scientific Reports*.

### Изящное решение

Теперь мы понимали, как передняя часть механизма соответствует описанию в «руководстве пользователя» на задней стороне, где Солнце и планеты изображаются специальными маркерами на концентрических кольцах. Кроме того, спереди были указаны фаза Луны, положение и возраст (количество дней от новолуния), а также «рука дракона», показывающая годы и сезоны затмений.

Используя концепцию концентрических колец, каждое из которых отвечает за определенную планету, мы по-новому оценили надпись на передней стороне механизма. Это сочинение представляет собой справочник синодических событий для каждой планеты (таких, как ее соединения с Солнцем и ее неподвижные точки) и интервалы в днях между ними. Надписи о затмении на задней пластине совмещены с отметками на циферблате Сароса. На лицевой панели надписи о восходах и заходах звезд (так называемая парапегма) привязаны к зодиакальному циферблату. В результате мы пришли к выводу, что надписи на лицевой стороне могут относиться к специальным буквам-индексам на планетарных кольцах: если указатель Солнца находится на позиции одной из этих букв, то соответствующая запись в таблице описывает количество дней до следующего синодического события. Поскольку левая часть надписи, где, как мы ожидали, должны быть эти индексные буквы, отсутствует, доказать эту гипотезу затруднительно. Однако нам кажется, что это убедительное объяснение.

Это устройство уникально для своего времени. Сам факт его существования в корне меняет наши представления о технологии древних греков. Конечно, никто не сомневается в их возможностях: они построили Парфенон и Александрийский маяк даже раньше, чем изобрели антикитерский механизм. Древние греки знали водопровод и использовали силу пара для управления некоторыми механизмами. Но до открытия антикитерского механизма считалось, что древнегреческие шестерни ограничивались грубыми колесами ветряных и водяных мельниц, а первым известным до этого точным механизмом были относительно простые (хотя и впечатляющие для того времени) солнечные часы и календарь из греческой колонии Византий, датированные около 600 г. до н.э. Только в XIV в. ученые создали первые сложные астрономические часы. Антикитерский механизм с отдельными шестернями, зубья которых достигают длины всего около миллиметра, не имеет аналогов в Древнем мире.

Почему ученым потребовались столетия, чтобы заново изобрести что-то столь же сложное, как антикитерский механизм? Почему археологам не удалось обнаружить других подобных механизмов? У нас есть веские основания полагать, что этот объект не мог быть единственной в своем роде моделью — должны были быть предшественники его развития. Тем не менее не стоит забывать, что бронза была очень ценным металлом, и когда такой прибор переставал работать, его, вероятно, отправляли на переплавку. Иные останки кораблекрушений и подводные археологические раскопки могут пролить свет на эту тайну. Отчего получилось так, что технология оказалась утраченной, — кто знает? В исторических записях много пробелов, и будущие открытия вполне могут нас сильно удивить.

Изыскания, осуществленные Антикитерской исследовательской группой Университетского колледжа Лондона, нельзя назвать окончательными и исчерпывающими. Несмотря на то что наша работа представляется значительным достижением, остаются еще неразгаданные тайны. Мы не уверены, что наша реконструкция полностью верна, из-за большого количества утраченных фрагментов. Сопоставить всю сохранившуюся информацию очень сложно. Тем не менее теперь стало как никогда ясно: перед нами выдающееся изобретение Древнего мира. ■

**Перевод: Д.С. Хованский**

### ИЗ НАШИХ АРХИВОВ

■ Фрит Т. Секреты древнего калькулятора // ВМН, № 2, 2010.



ПРОДОВОЛЬСТВИЕ

# ЗАЩИТА ДАРОВ АЛЯСКИ

Общины коренных народов развивают научные сети взаимодействия для тестирования моллюсков на токсины, появляющиеся в результате вредного цветения водорослей

*Карен Пинчин*

Мидии прикреплены к камням в литоральной зоне в Селдовии, Аляска



### ОБ АВТОРЕ

**Карен Пинчин** (Karen Pinchin) — журналистка из Галифакса, провинция Новая Шотландия, Канада. Она пишет свою первую книгу об истории, тайнах и будущем синего, или обыкновенного, тунца.



**П**рохладным августовским утром Стивен Пэйтон (Stephen Payton) стоял на краю причала в Селдовии, штат Аляска, медленно проводя тонкую коническую сеть, закрепленную на конце шеста, сквозь покрытую рябью воду океана. Кричащие вороны и чайки кружили над нами в сыром воздухе, пока 30-летний мужчина спортивного телосложения наблюдал за тем, как его прозрачная сеть двигается под водой. В маленьком пластиковом флаконе на узком конце сети происходили улавливание и концентрация частиц из океанской воды. Вытащив это приспособление, Пэйтон отсоединил флакон, добавил несколько капель консерванта на основе йода к сырому мутному содержимому, прикрепил этикетку на образец и передал его мне. Большой белый грузовик Пэйтона доставил нас до находившейся в 1,6 км от этого места гравийной взлетной полосы Селдовии, где я взобралась на борт тесного шестиместного самолета с пропеллером. Организмы внутри бутылки могли испортиться в течение нескольких часов, поэтому время имело значение.

Через 15 минут пилот посадил самолет в Хомере, на противоположном берегу залива Качемак. Жасмин Мауэр (Jasmin Mauer), финансируемая федеральным правительством исследовательница, чье рабочее место находится через улицу от маленького аэропорта, спешно провела меня в свой офис и усадила на скамью. Выдавлив несколько капель воды из флакона на предметное стекло, Мауэр поместила его под микроскоп. Я заглядывала в микроскоп через ее плечо, пока она исследовала сектор за сектором в поисках характерных чертаний крошечных токсичных водорослей. Через несколько минут Мауэр откатила свой стул от стола: по крайней мере сегодня вода была безопасной.

Стивен Пэйтон, чьи предки-алеуты веками рыбачили в водах Аляски, — помощник общины

Селдовия-Вилледж по экологическим вопросам. До его городка, расположенного в южной части полуострова Кенай, можно добраться только на лодке или самолетом. По выходным Пэйтон любит брать своих трех маленьких детей на рыбалку и сбор моллюсков, чтобы снабжать их здоровой пищей. Это неотъемлемая часть натурального хозяйства, которое народы аляутии и унанган (самоназвание алеутов) вели столетиями. Но Пэйтона беспокоит скрытая опасность. «С каждым разом мне все страшнее выходить на сбор моллюсков», — говорит он.

Многие представители коренных народов давно избегают собирать моллюсков в летних теплых водах, когда более вероятно вредное цветение водорослей (*harmful algal bloom*, *НАВ*), становящееся потенциальным источником токсинов, поглощаемых



*Ученые из Морского института «Гордость аляутиков» Аннет Ярош (Annette Jarosz), Мэйл Брэнсон (Maile Branson) и Джефф Хетрик (Jeff Hetrick) выкапывают двустворчатых моллюсков недалеко от Сьюарда в рамках амбициозного регионального проекта по тестированию моллюсков на вредные токсины водорослей.*

местной рыбой и моллюсками и накапливающимися в них. Однако местные жители по-прежнему круглый год во время отлива с трудом бредут по берегу в высоких сапогах, рассчитывая собрать двустворчатых моллюсков в обнажившейся грязи, определяя места их пребывания по пузырькам, поднимающимся из маленьких вентиляционных отверстий в иле. «Я знаю многих людей, которые собирают моллюсков летом, — говорит Пэйтон. — Я бы никогда этого не сделал».

Как бы то ни было, вредное цветение водорослей чаще наблюдается в северных прибрежных

районах Аляски на протяжении многих месяцев года, поэтому сбор морепродуктов представляет опасность в любое время. Недавние исследования показали, что в период с 1998 по 2018 г. цветение в Северном Ледовитом океане усилилось более чем на 50%. Частота и интенсивность опасного цветения водорослей, вероятно, возрастут еще больше по мере потепления в северных широтах.

В Селдовии местные жители все еще обсуждают, как на косе Макдональда всего несколько лет назад женщина чуть не погибла и все еще страдает потерей памяти, после того как съела



**Стивен Пэйтон**, помощник по экологическим вопросам племени Селдовия-Вилледж, отбирает образцы воды в заливе (слева). Майкл Опхайм, его дядя и руководитель работ по охране окружающей среды, присоединяется к двум сыновьям Пэйтона в поисках двустворчатых моллюсков на ужин (справа).

«острого моллюска». К счастью, ее муж распознал симптомы и быстро отвез ее в больницу в Хомере, где был аппарат для вентиляции легких. В прошлом году вьетнамский рабочий с рыбозавода на острове Уналашка умер во время экстренного рейса в Анкоридж, съев горстку голубых мидий и морскую улитку на вечеринке в честь Дня независимости.

Тем не менее такие отравления не останавливают тысячи людей, как представителей коренных народов, так и остальных: каждый год они выкапывают и употребляют в пищу огромное

количество моллюсков, любой из которых может оказаться ядовитым. Ежегодно в регионах Аляски, где ведется натуральное хозяйство, за счет дикой природы обеспечивается около 15,3 тыс. т продовольствия, примерно по 124 кг на человека. В удаленных общинах морские млекопитающие, рыбы, птицы и моллюски составляют около трех четвертей собираемого продовольствия.

Сбор продовольствия в литоральной зоне способствует также извлечению жизненно необходимых и культурных уроков. «Когда заканчивается прилив, стол накрыт», — так гласит традиционная



поговорка, подтверждая щедрость даров берегов в виде мидий, других двусторчатых моллюсков, морских ежей, дандженесских крабов, морских огурцов, панцирных моллюсков, осьминогов и улиток. Ученые подозревают, что некоторые или все эти животные могут содержать токсины. На полуострове Кенай в Аляске две трети жителей, собирающих моллюсков, проживают в домохозяйствах с низким и средним доходом.

В других прибрежных штатах США исследователи регулярно проводят мониторинг берегов, выявляя признаки вредного цветения. В штате Вашингтон наблюдение ведется на 31 участке с помощью автономных плавучих датчиков, передающих данные исследователям и племенам коренных народов. В Калифорнии программа мониторинга

и предупреждения *НAB* сочетает отбор образцов вдоль берега, осуществляемый департаментом здравоохранения, с данными о токсинах, полученными исследователями, работающими в университетах. В штате Мэн обученные волонтеры повсеместно отбирают образцы воды, которые анализируются департаментом морских ресурсов штата. Комиссия по рыболовству и фауне Флориды еженедельно проводит анализ образцов и запустила веб-сайт и телефонную горячую линию для своевременного предупреждения о вредном цветении водорослей. Согласно данным одного исследования, вдоль Западного побережья США за период с 1990 по 2014 г. жители, ведущие натуральное хозяйство, обеспечили своим семьям более 221 млн порций морепродуктов. Многие люди полагаются



**Семья Пэйтона** создает канавки и заселяет их молодыми моллюсками для увеличения количества взрослых моллюсков, доступных для собирателей, ведущих натуральное хозяйство, и сохранения равновесия в экосистеме литоральной зоны.

на поддерживаемые государством программы тестирования, чтобы быть уверенными, что собранный ими урожай безопасен.

На Аляске широкомасштабного тестирования не существует, несмотря на то что *НАВ* вдоль береговой полосы усиливается из-за изменений климата. Аляска — единственный прибрежный штат, чье правительство заявило о невозможности мониторинга токсинов в моллюсках, используемых в натуральном хозяйстве, таких как те, которых едят дети Стивена Пэйтона. Правительство говорит, что прибрежная территория просто слишком велика, чтобы охватить ее мониторингом. Это превращает

Аляску в «единственный штат в стране, где люди все еще умирают от вредного цветения водорослей», — говорит Стив Киблер (Steve Kibler), исследователь вредных водорослей из Северной Каролины, океанограф Национального управления океанических и атмосферных исследований (NOAA).

Общины коренных народов, зависимые от моллюсков, в том числе Селдовия, пытаются заполнить этот пробел в обеспечении безопасности. Они собирают данные, расширяя знание местной специфики и формируя зарождающиеся сети мониторинга, которые включают специалистов по токсинам издалека, а также вкладывают средства



в методы тестирования, основанные на передовых достижениях науки и знаниях общин побережья. Они преодолевают препятствия, связанные с особенностями географии и логистики, для сбора и перевозки образцов за тысячи километров. Коренные народы также терпеливо собирают доказательную базу для расширения суверенитета в вопросах управления их традиционными ресурсами. Их усилия повышают безопасность по мере роста угрозы и позволяют извлечь урок из опыта общин, способных выстоять перед лицом, казалось бы, непреодолимой экологической опасности.

### Небезопасные пляжи

Фитопланктон, обычно называемый водорослями, — ключевой источник пищи бесчисленных

морских существ от моллюсков до беззубых китов. В результате эволюции появилось множество видов одноклеточных организмов разных цветов и форм. При правильном сочетании света, тепла и микроэлементов, поступающих как из естественных источников (таких, как ледники), так и из стоков с сельскохозяйственных полей и канализации, водоросли могут выйти из-под контроля, или «зацвести». Интенсивное цветение иногда может окрашивать океан в вихри синего или красного цвета или цвета красного дерева, видимые из космоса, — психоделические акварели микроскопической жизни в большом масштабе. При неблагоприятных условиях водоросли образуют цисты, которые опускаются на морское дно и находятся в состоянии покоя до тех пор, пока условия не позволят им прорасти.



**Доминик Хондолеро** (*Dominic Hondolero*), представитель народа тлинкитов, ученый из Лаборатории NOAA в Касицна-Бей, скользит пробоотборником по воде для сбора крошечных организмов (слева). В лаборатории он проверяет резервуары, в которых содержатся песчанка и тихоокеанская треска, предназначенные для анализа на яды, появившиеся в результате цветения токсичных водорослей (справа).

Только примерно 250 из около 5 тыс. известных видов водорослей производят токсины или создают удушающие маты из биомассы, и эти качества отличают вредное цветение водорослей от безвредного. За последние 30 лет было зафиксировано около 10 тыс. случаев *НАВ*, причем в одних регионах мира число таких событий росло, а в других уменьшалось. Токсины, выделяющиеся в результате цветения морской воды, стали причиной отравлений тысяч и смерти сотен людей по всему миру с 1980-х гг. Самое большое число смертей зафиксировано на Филиппинах.

Вдоль побережья Камчатки, на противоположном от Аляски берегу Берингова моря, в 2020 г. цветение уничтожило, по оценкам, 95% численности морских видов, включая рыбу, осьминогов, морских звезд и морских ежей. Сообщалось, что цветение стало причиной рвоты, жара и ожогов роговицы у более десятка серфингистов. По данным NOAA,

в США ущерб рыболовных хозяйств и туристической отрасли от вредных водорослей составил почти \$1 млрд, в том числе в результате «красного прилива» фитопланктона *Karenia brevis* в Мексиканском заливе вдоль побережья Флориды, который привел к гибели тысяч рыб и оставил десятки разлагающихся тел ламантинов на берегах.

Угроза может сохраняться даже после того, как интенсивность цветения снизится. В результате исследования, проведенного в октябре 2021 г., было объявлено об обнаружении крупнейшего в мире, наиболее концентрированного скопления цист *A. catenella* на дне Чукотского моря. Эти цисты почти 100 лет находились в состоянии покоя в исторически холодных водах и накапливались, поскольку тихоокеанские течения несли водоросли к северу в районы Арктики. Когда воды Тихого и Северного Ледовитого океана начали прогреваться, стало нагреваться и дно Чукотского моря,



протяженность береговой линии Аляски больше, чем протяженность всех береговых линий остальных штатов США вместе взятых. Во время моего полета над Селдовой я была поражена ошеломляющим видом массы серо-коричневых узких заливов, фьордов и бухт, формирующих беспорядочную филигранную береговую линию, бесконечно извивающуюся вдоль широких морей. Даже ученые и местные жители, выступающие за тестирование в масштабах всего штата, часто признают, что программы, работающие в других штатах, здесь просто неосуществимы. Плавающие океанские датчики не смогут охватить достаточную территорию. Транспортировка охлажденных образцов из удаленных общин в централизованные лаборатории трудна, медленна и ненадежна. Кроме того, уровень токсичности двустворчатых моллюсков может значительно варьировать, даже у тех, что собраны на участках одного и того же пляжа, находящихся в нескольких метрах друг от друга. Ситуация осложняется тем, что в разных видах моллюсков токсические химические вещества сохраняются в течение совершенно разных периодов. Крупные и вкусные моллю-

причем температура некоторых участков теперь достигает таких значений, при которых может критически ускориться прорастание цист. По словам Дональда Андерсона (Donald M. Anderson), ведущего специалиста Океанографического института Вудс-Хола, который занимается изучением вредного цветения водорослей более 40 лет и возглавлял исследование, намного больше этих цист будет прорасти и создавать угрозу побережьям Тихоокеанской Арктики.

Потенциально смертельные водоросли постоянно дрейфуют на север вдоль побережья Аляски, где мониторинг в основном отсутствует — за исключением горстки почти незаметных стражей, подобных Пэйтону, стоящих на их пути. Хотя репортажи СМИ о вредном цветении водорослей сосредоточены обычно на проблемах регионов Западного и Восточного побережья США, а также побережья Мексиканского залива, однако Аляска — это штат, в котором, по словам Стива Киблера из NOAA, сложилась наихудшая ситуация с *НAB*.

Объяснение правительства штата о неспособности тестировать моллюсков, употребляемых в пищу местными жителями, связано с масштабами:

ски вида *Saxidomus giganteus* могут сохранять токсины в течение нескольких лет. Состояние голубых мидий в течение недели способно измениться от смертельно опасного до безопасного и опять опасного.

Законодательные органы штата давно субсидируют тестирование для прибыльных коммерческих предприятий штата, занимающихся устрицами и съедобными морскими моллюсками *Glycineris generosa*, но не финансируют тестирование моллюсков для самостоятельно обеспечивающих себя собирателей, которое стоит около \$125 за образец. Время тестирования, финансируемого штатом, составляет от одной до двух недель — это приемлемо для хозяйств, занимающихся аквакультурой, способных безопасно хранить моллюсков, но такая задержка непригодна для индивидуальных собирателей. Оставшиеся в приливных водах безопасные моллюски за это время могут поглотить новые токсины, а те, что уже собраны в корзины, испортятся. Правительство Аляски давно придерживается позиции, согласно которой безопасного самостоятельного обеспечения моллюсками просто не существует.



**Замороженные мовевка, мидии и лосось из Селдовии, подготовленные для транспортировки в лаборатории Анкориджа и Сиэтла (слева). Морские ушки, традиционный продукт литоральной зоны, выращивают в Морском институте «Гордость аляутиков» для исследования продуктов натурального хозяйства (вверху справа). Институт также выращивает различные водоросли в качестве корма для культивируемых моллюсков (внизу справа).**



### Тестирование «Сделай сам»

«Точка зрения правительства неприемлема», — говорит Карен Плетникофф (Karen Pletnikoff), менеджер по защите окружающей среды и безопасности общины из Ассоциации алеутов островов Прибылова, поощряющей самообеспечение и независимость племени унанган. По словам Карен, сбор моллюсков — это социально-экономическая и пищевая необходимость. «Потеря этих видов пищи стала бы особенно болезненной, — говорит Карен, — потому что в отличие от стольких ресурсов, которые нами утрачены, они по-прежнему находятся прямо перед нами. Ты видишь маленькие отверстия во время отлива, знаешь, что они [моллюски] там и они очень вкусные, но при этом, скорее всего, смертельно опасны».

Позиция правительства недостаточно хороша и для жителей Селдовии, которые, как говорит Майкл Опхайм (Michael Orheim), тратят свое время и ресурсы, «стараясь убедиться, что то, что имели мы, когда были детьми, достанется и нашим детям и внукам». Опхайм, возглавляющий работу по охране окружающей среды в общине Селдовия-Вилледж, — дядя и начальник Стивена Пэйтона.

Опхайм в кожаном жилете и рубашке с узором, глядя на горы вдалеке, стоял рядом со мной в зоне прилива на песчаном пляже, который для его семьи всегда был одним из традиционных мест, где они выкапывали моллюсков. Детство Майкла прошло в Селдовии в 1970-е гг., и он, посмеиваясь, рассказал мне о том, как они с сестрой боролись, кто из них первым съест мясистые «кнопки» (отводящие мышцы) морских моллюсков, сразу же после того как отец извлечет их из раковин. Семья собирала полные ведра двустворчатых моллюсков, добираясь до самых богатых берегов на своей моторной лодке. Сегодня Опхайму не дают покоя постоянные опасения, что один отравленный моллюск может убить члена семьи или друга.

Несколько лет назад Майкл Опхайм присоединился к сообществу, занимающемуся вредным цветением водорослей на Аляске, организованному в 2017 г. исследователями, специалистами — представителями племен и сотрудниками правительства, которых удручало отсутствие ясности в вопросе предотвращения угрозы, связанной с *НАВ*. Племя Опхайма одобрило выделение средств для превращения их городка в мониторинговый центр, где Опхайм и Пэйтон



**Научные сети** взаимодействия, создаваемые коренными народами Аляски, способны обеспечить быстрый анализ на токсины, и жители могут быть уверены, что собираемые ими обильные урожаи безопасны для употребления в пищу



будут отбирать образцы и отправлять их любому исследователю, готовому сотрудничать.

Один из таких коллег — Брюс Райт (Bruce Wright), исследователь морской среды и бывший научный консультант правительства штата, работающий на племени кник, живущее примерно в 45 минутах езды от Анкориджа, крупнейшего города Аляски. Более трех десятилетий назад Райт вместе с Департаментом рыболовства и охоты Аляски начал тестирование моллюсков. Массовая гибель морских птиц и маленьких рыб песчанок в то время заинтересовала Райта, и в 2005 г. финансирование наконец позволило ему расширить масштабы тестирования и охватить мониторингом более крупную экосистему. Сегодня исследователь, не принадлежащий к коренному народу, часто предлагает провести тесты для удаленных общин в лаборатории штата, используя для покрытия стоимости анализа средства, выделяемые племенем кник, с их разрешения. «Люди собираются это есть, — говорит Райт. — Я выясняю, каким способом они смогут использовать эти продукты».

Я встретила с Брюсом Райтом в белом вестибюле Департамента охраны окружающей среды Анкориджа. Мы прошли в лабораторию, финансируемую штатом, в сопровождении ее директора Патрис Маккинни (Patrice McKinney). Это единственное учреждение на Аляске, аккредитованное на федеральном уровне для проведения анализа моллюсков, предназначенных для употребления в пищу человеком, который выполняется для предприятий, занимающихся устрицами и съедобными морскими моллюсками *Glycymeris generosa*. Райт поприветствовал лаборанта, который только что ввел трем мышам приготовленную суспензию из мяса устрицы и ждал, умрут ли они. Несколько дней назад после подобных инъекций мыши погибли через несколько секунд. На этот раз они выжили.

Майкл Опхайм и жители Селдовии привлекают и других ученых-ветеранов. Во время одного из ежемесячных телефонных разговоров сообщества специалист по токсичным водорослям Кати Лэфевр (Kathi Lefebvre), биолог-исследователь NOAA из Сиэтла, объяснила, используя результаты своего многолетнего исследования, как токсины перемещаются между звеньями арктической пищевой цепи. Как только разговор закончился, Опхайм, всегда жаждущий получить данные, отправил

по электронной почте письмо Лефевр, охотно предложив прислать ей образцы, которые могли бы дать его племени некоторую информацию.

Кати Лефевр было интересно провести тесты на содержание токсинов в рыбе, и она предложила Опхайму выловить несколько десятков особей сельди, поскольку недавняя массовая гибель сельди не поддавалась объяснению. Опхайм обратился к своему племяннику, и Пэйтон, пользуясь лицензией на ведение натурального хозяйства, вместе с детьми поймал сетью несколько серебрястых рыб-биофильтраторов. Пэйтон поместил рыбу в пластиковые пакеты на молнии, надежно заморозил их в своем переполненном морозильнике и отправил к Лефевр. Процесс перевозки был сложным, с участием нескольких различных самолетов и курьеров между авиалиниями, и Опхайм описал его позднее в электронном письме как «логистическую проблему». Эта сельдь все еще находится в морозильной камере в лаборатории, потому что из-за эпидемии COVID-19 рабочее место Лефевр закрыто. Когда лаборатория откроется, Кати планирует измельчить и размять сельдь, центрифугировать эту кашу, чтобы выделить жидкость, и провести анализ на токсины.

Лефевр стала известна в сфере исследований, связанных с вредными водорослями, еще аспирантом, в 1998 г. Она умело связала загадочные судорожные припадки и смерти сотен калифорнийских морских львов с вредной диатомовой водорослью рода *Pseudo-nitzschia* и продуктом ее жизнедеятельности, домоевой кислотой. Домоевая кислота, известная как амнестический яд моллюсков (ASP), вызывает потерю памяти, повреждение мозга и, в тяжелых случаях, смерть. Как и PSP-токсины, обнаруженные в моллюсках на Аляске, яд не имеет вкуса и запаха, а диатомовые водоросли не нейтрализуются при приготовлении. Хотя жители Селдовии уже обнаружили эту диатомовую водоросль в водах у своего побережья, они не выявили случаев ее обильного цветения — пока. Лефевр беспокоит прогревание северных вод. «Окружающая среда меняется настолько резко, что традиционные знания [коренных народов], использовавшиеся на протяжении 5 тыс. лет, неспособны подготовить их к таким быстрым изменениям», — говорит Лефевр. Карен Плетникофф с ней согласна, но с оговоркой: знания коренных народов могут расти и адаптироваться.

По словам Лефевр, сообщество, занимающееся проблемами НАВ на Аляске, служит вдохновляющим примером, так как представляет собой группу связанных по сети специалистов со всего мира, с которыми люди из отдаленных общин могут поддерживать контакты лично. Местные жители затем преобразуют то, что они узнали, в новое учение племени, основанное на информации

об изменении климата и способах защиты их самих и других уязвимых собирателей моллюсков. Лефевр отмечает, что для таких исследователей, как она, мотивом служит то, что даже издалека они способны сыграть роль в защите людей, живущих в отдаленных уголках Аляски.

По всему штату появляются возглавляемые коренными народами программы, связанные с полуофициальной сетью мониторинга НАВ. В 2016 г. племя Ситки, расположенной на юге штата, учредило собственную программу тестирования моллюсков на токсины, выбрав метод твердофазного иммуноферментного анализа (*enzyme-linked immunosorbent assay, ELISA*), который применяется в различных биологических исследованиях и основан на использовании реакции «антиген — антитело» и выявлении образовавшегося комплекса с помощью ферментной метки. За период свыше пяти лет в рамках программы было проанализировано 1,7 тыс. образцов моллюсков и обнаружено, что содержание токсинов в мидиях, сердцевидках и других двустворчатых моллюсках все чаще превышает допустимые уровни. Племя периодически выпускает предупреждения о запрете употребления местных моллюсков.

На острове Кадьяк, находящемся к юго-западу от Селдовии, Ассоциация коренных народов Кадьяка в 2020 г. запустила бесплатную программу анализа моллюсков «Собирай и храни» для самостоятельного обеспечивающих себя собирателей. В рамках инициативы покрываются расходы на транспортировку образцов и их анализ в программе Ситки, а также ведется работа с собирателями, в ходе которой обсуждаются результаты исследований и выделяются ресурсы на предотвращение рисков, связанных с токсинами НАВ.

В 2021 г. Морской институт «Гордость аляутиик» в Сьюарде, представляющий семь племен коренного народа, купил собственный анализатор ELISA для запуска сложной программы тестирования на токсины PSP и ASP. Персонал лаборатории надеется в конечном итоге проводить анализ воды и мяса моллюсков еженедельно, осуществляя самый масштабный мониторинг в штате, охватывающий самый широкий географический регион. Сотрудники также создали портал для сбора данных на веб-сайте института, где люди из общин по всему штату могут передать результаты анализа проб, заполнив простую онлайн-форму.

Несмотря на всю проводимую работу, удовлетворительное решение проблемы по-прежнему труднодостижимо. По мнению Райта, тестирование моллюсков племенем Ситки и Морским институтом «Гордость аляутиик» — это хорошее начинание, но его беспокоит надежность метода. Метод ELISA не одобрен Управлением по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов

и медикаментов (FDA) США для применения при анализе моллюсков, предназначенных для употребления человеком, поскольку токсины, продуцируемые моллюсками, часто представляют собой смесь сотен различных химических веществ, часть которых не определяются с помощью анализатора *ELISA*. Исследователи в США уже много лет пытаются разработать портативный экспресс-тест на PSP-токсины, но все попытки сводятся на нет из-за сложности этих токсинов. Вот почему по-прежнему широко используется тестирование на мышах.

Райт говорит, что только исследование на мышах или дорогостоящий метод молекулярного анализа, выполняемые штатом, могут окончательно подтвердить, что моллюски действительно безопасны для употребления в пищу. Маловероятно, что два указанных метода анализа будут в обозримом будущем использоваться в лабораториях, управляемых племенами, потому что тестирование на животных строго регулируется, а для проведения молекулярного анализа необходимы дорогостоящее оборудование и специально обученные лаборанты.

Джефф Хетрик, директор Морского института «Гордость аляутии», считает, что проблема заключается в простом отсутствии денег и желания со стороны штата, а не в технической сложности. «Человек побывал на Луне. Мы собираемся отправиться на Марс, — говорит мне Хетрик, сидя за своим столом в Сьюарде и качая головой. — И мы по-прежнему делаем инъекции токсинов мышам?»

### Самоопределение

Невзирая ни на что, узкоспециализированные сети продолжают работать. Где-то в конце августа, вскоре после того как я улетела из Селдовии, Майклу Опхайму позвонили по мобильному телефону и сообщили об умирающей рядом с берегом моевке. К тому времени как Опхайм приехал на место, птица уже с трудом дышала. Опхайм осторожно перенес чайку в местную лачугу, где она вскоре умерла. Опхайм заморозил птицу и быстро отправил электронное письмо Брюсу Райту: сможет ли он провести анализ на токсичные водоросли? Брюс ответил утвердительно.

Но как переправить птицу Райту, находящемуся почти за 195 км? Месяц спустя Килий Юян (Kilii Yuuan), фотограф, делавший снимки для этой статьи, оказался втянут в транспортировку тела птицы и голубых мидий из Селдовии в Анкоридж, потому что он в любом случае собирался туда ехать, переправившись на пароме. Юян говорит, что замороженная птица, которую Опхайм положил на поднос, прежде чем поместить на лед в потрепанный пенопластовый термоконтейнер, была мягкой и холодной на ощупь и настолько

безупречной, будто только что умерла. Днем позже Юян встретился с Райтом рядом с ручьем, где тот ловил лосося в качестве образца. Фотограф передал груз Райту, который отвез птицу, мидий и внутренности кижуча в лабораторию штата для анализа.

Если находчивость, проявляемая собирателями моллюсков, вождями племен и местными учеными, дает некоторую надежду на решение проблемы с токсинами вдоль бесконечных берегов Аляски, то, возможно, с угрозой удастся справиться где угодно, утверждает Опхайм. В чем действительно нуждаются собиратели, ведущие натуральное хозяйство, так это в большем количестве данных, которым они доверяют и которыми распоряжаются, таких, которые помогут племенам контролировать их будущее, связанное с обеспечением продовольствием. «Коренные народы распорядились землей, морем и воздухом на протяжении многих поколений, — говорит Опхайм. — Мы лишь стараемся убедиться в том, что члены нашей общины находятся в безопасности». Он хотел бы, при условии выделения федеральным правительством и штатом средств на лабораторное оборудование и содержание персонала, создать собственную лабораторию общины Селдовия-Вилледж, которая позволила бы анализировать образцы на его родных берегах.

Когда зубчатый рельеф Аляски погрузился в темные осенние дни, в Селдовию пришли результаты из лаборатории Брюса Райта. Содержание токсинов в теле чайки и мидиях оказалось низким, а в печени кижуча — очень высоким. В это же время Райт получил письмо по электронной почте из Российской академии наук. В последние 20 лет российские ученые обнаруживали лишь несколько сотен токсичных водорослей на литр океанской воды рядом с Владивостоком, но недавно они выявили ошеломляющее число клеток *A. catenella* — 200 тыс. Кроме того, вдоль побережья в этой части страны наблюдается массовый рост водорослей. Готов ли Райт сотрудничать? «Конечно», — ответил он. Теперь множество людей обращают на это внимание. ■

**Перевод: С.М. Левензон**

**Эта статья написана при поддержке гранта от Фонда экологической журналистики Общества журналистов-экологов.**

### ИЗ НАШИХ АРХИВОВ

■ Red Tides. Donald M. Anderson; August 1994.

ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

# КОГДА ОКЕАН

Массовое «цветение» динофлагеллят  
из рода *Karenia* у побережья  
Камчатки осенью 2020 г.

«ЗАЦВЕТАЕТ»



Академик А.В. Адрианов

**Д**

ве статьи этого номера посвящены одной теме — вредоносному «цветению» водорослей. Многие впервые узнали об этом феномене осенью 2020 г., когда на Камчатке произошла массовая гибель морских животных. Ученые утверждают, что масштабность и частота вредоносного «цветения» увеличиваются. О том, почему это происходит и что можно этому противопоставить, рассказывает вице-президент РАН, научный руководитель Национального научного центра морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН академик **Андрей Владимирович Адрианов**.

**— Андрей Владимирович, в этом номере журнала опубликована статья научной журналистки Карен Пинчин «Защита даров Аляски», посвященная проблеме вредного «цветения» микроводорослей, от которого гибнут и люди, и животные. Скажите, пожалуйста, насколько тема актуальна для нашей страны?**

— В этой статье затронут очень острый вопрос, связанный с тем, что в последние годы и даже десятилетия в связи с климатическими изменениями растут частота и масштабность явлений, связанных с вредоносным «цветением» воды (в просторечии это так называемые красные приливы). Так что данная проблематика становится все более и более актуальной.

Действительно, многие виды микроводорослей способны вырабатывать токсины. Они передаются по пищевым цепочкам от микроводорослей к беспозвоночным животным, например моллюскам, а моллюски-фильтраторы, питающиеся фитопланктоном, накапливают в себе эти токсины и, соответственно, могут передавать их дальше, например теплокровным животным, питающимся этими моллюсками. Возможна передача и через рыбу, например анчоусов, которые также питаются фитопланктоном. Есть разные пути передачи. Есть группы токсинов, опасные и для самих беспозвоночных животных и рыб. Токсины, действующие на теплокровных животных, представляют опасность и для человека. Поскольку

частота и масштабность явлений «красных приливов» увеличиваются, такие токсины все чаще и чаще обнаруживаются в продукции морского происхождения. Это накладывает ограничение на добычу этих ресурсов. А их добыча, что, кстати, отмечено в этой статье, — очень важная часть экономики, быта, традиций коренных народов, которые живут и на Аляске, и на Тихоокеанском побережье России.

**— Сразу вспоминается драматический эпизод в Авачинском заливе на Камчатке, который случился в октябре 2020 г.**

— Этот мощный «красный прилив» и появление в воде токсинов вызвали массовую гибель морских ежей, моллюсков, донных рыб и т.д. Это было достаточно резонансное событие. «Красный прилив» был вызван микроводорослями динофлагеллятами из рода *Karenia* (*Karenia selliformis*, *K. mikimotoi*).

Слово «цветение» мы берем в кавычки, поскольку микроводоросли в буквальном смысле не цветут, но их массовое развитие, часто сопровождаемое изменением цвета воды, принято называть «вредоносное "цветение"». В этом году таких масштабных событий, как в 2020 г., не было, в том числе и в районе Камчатки. В российских акваториях вредоносное «цветение» было в районе Южных Курил — вокруг островов Малой Курильской гряды, Кунашира и Итуруп, а вот у наших японских соседей было масштабное «цветение» у восточного побережья Хоккайдо. Был нанесен большой ущерб плантациям по выращиванию морских ежей и лососевым фермам. Вредоносное «цветение» тоже было вызвано динофлагеллятами из рода *Karenia*. Это произошло осенью 2021 г.

**— Карен Пинчин пишет в своей статье, что коренные народы Аляски стараются сами справляться с этой проблемой. Как обстоят дела у нас?**

— Эта тема мне кажется очень важной, потому что коренные народы, живущие на побережье океана, зависят от морепродукции. В масштабном промышленном производстве задействованы научные мощности по контролю токсикологической безопасности продукции морского происхождения. У коренных народностей этих возможностей нет, поэтому до сих пор случаются эпизоды отравлений токсинами морских микроводорослей.

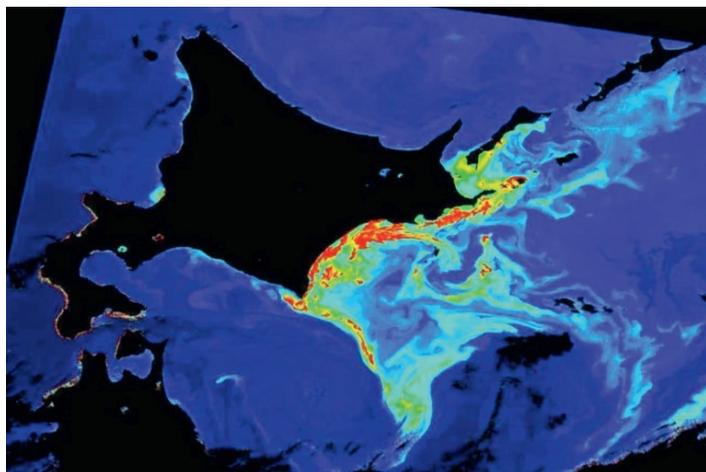
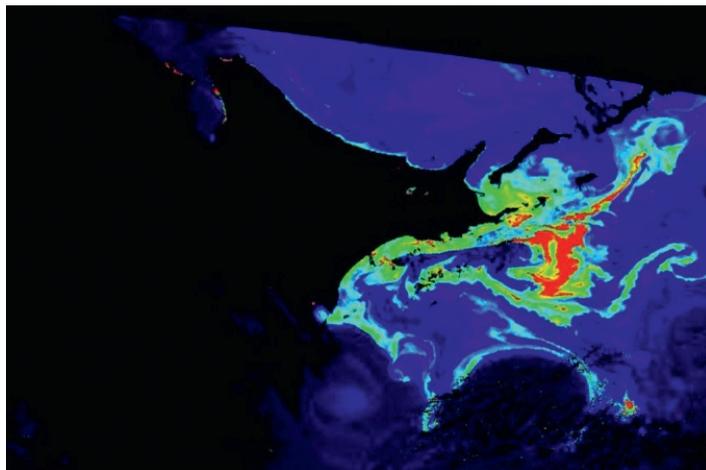
При этом коренные народы Аляски, понимая, что доставить живые или даже легкой заморозки морепродукты в ведущие лаборатории достаточно сложно, тем не менее стараются это делать. Жители этих мест

пытаются организовывать в рамках своих племенных союзов небольшие лаборатории, ставят оборудование для оперативного иммуноферментного анализа, то есть могут получать первичную информацию, которая может насторожить, и принять ограничительные меры — не выходить во время отлива на обнажающееся морское дно, не копать моллюсков. Хотя эта традиция насчитывает многие сотни лет, когда люди семьями, с детьми выходят на добычу моллюсков. По пузырькам определяют, где сидят зарывшиеся моллюски, и выкапывают их. Например, один большой моллюск гуидак вполне может обеспечить семейный ужин.

Проблемы с токсикологической безопасностью существуют и на нашем Тихоокеанском побережье. Кстати, камчатский пример продемонстрировал неподготовленность нашего населения, недостаток информации и даже неготовность медицины быстро реагировать, распознавать причину недомоганий, отмеченных у людей, которые занимались спортом в акватории или прогуливались по побережью во время вредоносного «цветения» микроводорослей.

## **Когда вредоносное «цветение» происходит на севере Аляски, оно затрагивает и российские сопредельные воды. Система течений выносит микроводоросли через Берингов пролив и в акваторию Чукотского моря**

Из статьи Карен Пинчин очень интересно было узнать, как такая работа — назовем ее экологическим просвещением — организована на американском побережье, когда общины коренных народов по дистанционным каналам связи устанавливают постоянные контакты с ведущими научными лабораториями, консультируются с учеными и сами осуществляют необходимый мониторинг. Вовлечение в такой мониторинг волонтеров — очень важный момент. О нем, кстати, говорил профессор Дональд Андерсон, ведущий американский специалист по проблематике «красных приливов», на международном вебинаре, организованном Российской академией наук в декабре 2020 г. по итогам исследований камчатского инцидента. В вебинаре



*Массовое «цветение» динофлагеллят из рода Karenia у побережья Хоккайдо в октябре 2021 г. (слева). Массовая гибель морских ежей в результате «цветения» динофлагеллят из рода Karenia у побережья Хоккайдо в октябре 2021 г. (вверху).*

участвовали российские, американские, японские, китайские и южнокорейские ученые, которые высказали единодушное мнение о естественных причинах этого масштабного явления.

**— Международное сотрудничество, на-  
верное, очень полезно в этой ситуации.  
Прежде всего важно регулярно проводить  
мониторинг берегов?**

— Мы сотрудничаем. И одним из итоговых заключений совместного вебинара, о котором я упомянул, было решение сотрудничать более тесно — информировать друг друга, проводить совместные лабораторные исследования и научные мероприятия по этому направлению морских исследований.

Что касается мониторинга, в американских прибрежных штатах на Западном и Восточном побережье он осуществляется достаточно регулярно, независимо от того, есть внешние проявления этих вредоносных «цветений» или нет. Мы ведь можем и не видеть явных признаков, но токсины в воде появляются. Этот мониторинг в некоторых штатах проводится еженедельно. Но для побережья

Аляски, как отмечает автор статьи, организация такого мониторинга — большая проблема.

На побережье, где довольно мало или вообще нет постоянного населения, а это огромное пространство как на побережье Аляски, так и у нас на Чукотке и Камчатке, любые источники информации приобретают особую ценность. Мы солидарны в том, что проблематика общая.

Если посмотреть на северную часть Тихого океана, на Берингово море, его акватория сходится к узкому Берингову проливу, где мы и Соединенные Штаты Америки находимся очень близко друг к другу. Когда вредоносное «цветение» происходит на севере Аляски, оно затрагивает и российские сопредельные воды. Система течений выносит микроводоросли через Берингов пролив и в акваторию Чукотского моря, это тоже сопредельные акватории между Россией и США. Все чаще и чаще масштабное вредоносное «цветение» отмечается и вдоль северного побережья Аляски, и, соответственно, у нас на северном побережье Чукотского полуострова. Сейчас, кстати, эти масштабные явления отмечаются и в Арктике. В этом вопросе очень важно сотрудничать с американскими коллегами. И мы сотрудничаем.

У Дальневосточного отделения РАН развивается взаимодействие с японскими коллегами, потому что у нас тоже есть сопредельные акватории. Я уже говорил, что когда было «цветение» воды в конце 2021 г., оно затронуло и юг российских акваторий, и японские акватории в районе острова Хоккайдо. Началось это в середине сентября и продолжалось до конца октября, то есть тоже примерно два месяца, как это было на Камчатке, и виды токсичных микроводорослей те же самые. В конце ноября 2021 г. мы получили

запрос из Генерального консульства Японии во Владивостоке с просьбой поделиться информацией, не происходило ли что-то в 2021 г. в российских акваториях, в том числе на Камчатке, поскольку для японских коллег «цветение» у побережья Хоккайдо было большой неожиданностью. Для Хоккайдо такие масштабные «красные приливы» — достаточно редкое явление. Японские коллеги ожидают, что их частота может увеличиться.

**— А когда впервые был отмечен этот феномен?**

— Это было всегда, но документальные источники относятся к XVIII в., когда эти акватории активно осваивались, есть свидетельства гибели моряков, путешественников, охотников, землепроходцев, которые использовали в пищу моллюсков. Так, например, глава Русской Америки А.А. Баранов писал в июле 1799 г., что от отравления моллюсками в районе Ситки за два часа погибли 115 охотников-туземцев — кадыкцев и чучагей, а некоторое время спустя умерли еще 20 охотников. И таких примеров немало.

Как я уже говорил, в результате климатических изменений в конце XX — начале XXI в. частота и масштабность «красных приливов» существенно возросли. В наших водах, если посмотреть последние лет 40, когда наш Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН ведет мониторинговые работы и документирует эти наблюдения, это кратное увеличение.

**— Андрей Владимирович, как вы считаете, у таких явлений исключительно природные причины или есть антропогенные? Под силу ли человеку нанести такой страшный вред океану?**

— Это, конечно, явление природное, а его динамика связана с климатическими изменениями. А уже с чем связаны климатические изменения — это другой вопрос, здесь есть разные точки зрения. Безусловно, антропогенный вклад имеет место, а вот масштаб или определяющая роль этого вклада до сих пор остаются, по крайней мере в научном сообществе, дискуссионными, поскольку климатические изменения в истории планеты происходили всегда и могут быть инициированы целым рядом естественных факторов, например активностью Солнца, наклоном оси вращения Земли и многими другими.

Но то, что скорость климатических изменений возрастает именно в последнее время, когда активность человека наиболее выражена, позволяет связывать их и с антропогенным фактором. Если представить

весы в равновесном состоянии, независимо от того, какой груз на их чашах, достаточно бросить одно перышко, чтобы весы вышли из этого равновесия и начали раскачиваться. Антропогенный вклад, на мой взгляд, и есть это перышко, которое, возможно, привело к разбалансировке современного климата.

**— Есть ли угроза для человечества в целом от подобных явлений, тем более если они учащаются?**

— Если мы о «красных приливах», думаю, угрозы человечеству нет. Мы знаем, как вести мониторинг, можем идентифицировать многие (не все) эти токсины. Разрабатываются методы экспресс-диагностики. Но нужно четкое регулирование, когда продукция морского происхождения проходит проверку на токсикологическую безопасность. Это вполне достижимо. Просто на это сейчас нужно обращать больше внимания, чем, допустим, 50–60 лет назад, когда подобная проблематика была менее выраженной. Угрозы человечеству, безусловно, нет, поскольку даже в рамках его истории были периоды и локального потепления, и локального похолодания, а человечество вполне выживало в это время. Вопрос в другом.

## **Негативное влияние на климат надо ограничивать, но бороться с явлением глобального потепления достаточно сложно и менее актуально, чем решать другую проблему — проблему адаптации**

Есть разные точки зрения. Климат поменялся из-за возрастания количества парниковых газов, или, наоборот, их количество возросло в результате климатических изменений. От ответа зависит, куда направить больше наших ограниченных ресурсов — бороться с климатом или адаптироваться к нему.

Конечно, негативное влияние на климат надо ограничивать, но бороться с явлением глобального потепления достаточно сложно и, на мой взгляд, менее актуально, чем решать другую проблему — проблему адаптации. Даже если мы сейчас в ущерб развитию экономики прекратим выбросы парниковых газов, реальных климатических изменений

в другую сторону мы добьемся лет через 20. Климатическая система планеты очень инерционна.

А вот уже сейчас нужно решать задачи, связанные с сокращением зоны вечной мерзлоты, изменением ледового покрова. Я уже говорил, что климатические изменения приводят к разбалансировке. Например, в Арктике, где в целом происходит сокращение ледового покрова, в прошлом, 2021 г. ледовый покров был достаточно значительный и ряд проливов были забиты льдом. Некоторые наши экспедиции даже не могли выйти в запланированные районы работ. Если мы говорим о потеплении климата, это не значит, что мы будем ходить в шортах по побережью Северного Ледовитого океана.

Природа в конечном итоге компенсирует эту разбалансировку, неминуемо придет время и локальных, и глобальных похолоданий. Еще раз повторю: никакой угрозы человечеству эти явления не несут. Важно знать, что можно делать в определенное время, а что нельзя. Для того, чтобы давать ответы на такие вопросы, и существует научное сообщество.

**— Расскажите, пожалуйста, о микроводорослях. Зачем они нужны в природе?**

— Мы с вами говорим о микроводорослях, которые представляют собой часть фитопланктона Мирового океана. Это маленькие одноклеточные организмы, многие из которых имеют жгутики и могут плавать активно, а другие виды просто парят в воде и пассивно переносятся течениями.

Это важнейший компонент экосистемы океана, потому что микроводоросли ответственны за образование первичной продукции. Как зеленые растения на суше на свету в результате процесса фотосинтеза синтезируют органическое вещество, забирая углерод из углекислого газа, так и в океане микроводоросли за счет процесса фотосинтеза производят первичную продукцию, от которой начинаются все основные пищевые цепочки. Не было бы их — не было бы ничего. Эти микроводоросли потребляет зоопланктон, например мелкие рачки, а ими питается мелкая рыба, которой в свою очередь питается крупная рыба, дальше идут морские млекопитающие и т.д. И первичная продукция в Мировом океане по своему объему и значению отнюдь не меньше первичной продукции на суше. А если учитывать объемы Мирового океана, то даже больше.

В процессе фотосинтеза выделяется кислород. И если мы говорим, что наши леса — это легкие планеты, потому что они не только

обеспечивают сток углекислого газа, но и выделяют кислород, точно так же можно сказать, что многие наши моря, давая большую первичную продукцию и одновременно выделяя огромное количество кислорода, выступают как жабры нашей планеты. Это ответ на вопрос о роли микроводорослей в природе.

**— Все ли виды микроводорослей несут опасность?**

— Микроводорослей тысячи видов, и сотни из них способны вырабатывать самые разные токсины. Одни токсины действуют на холоднокровных животных, на беспозвоночных и рыб, другие — только на теплокровных, на морских млекопитающих, на человека. И токсины эти очень разные по структуре и механизму воздействия. Если мы говорим о динофлагеллятах, в наших дальневосточных морях самые опасные — представители рода *Alexandrium*. В статье Карен Пинчин упомянуты *Alexandrium catenella*, цисты которых в огромном количестве находят в грунте и в Беринговом, и в Чукотском морях. *Karenia*, которая «цвела» на Камчатке и в Японии, — тоже представитель динофлагеллят.

Представители рода *Alexandrium* продуцируют сакситоксин — токсин нервно-паралитического действия. В результате поражения этим токсином могут происходить различные нарушения нервной системы: параличи, спазмы дыхательных мышц и т.д.

Есть токсины, вызывающие амнезийный синдром, например производные домоевой кислоты, продуцируемые представителями диатомовых микроводорослей из рода Псевдонитцшия (*Pseudo-nitzschia*). Когда эти токсины попадают в теплокровное животное или человека, они всасываются из кишечника в кровь, разносятся по всему организму и, преодолевая гематоэнцефалический барьер, попадают в мозг, вызывая поражение его определенных участков. Животное или человек теряют ориентацию в пространстве, развивается амнезия. От нейропаралитических и амнезийных токсинов, например, нередко гибнут морские львы и моржи. Это наиболее опасные для теплокровных токсины.

Диарейные токсины, часто вызывающие расстройство кишечника, — это производные оокадаевой кислоты, которую продуцируют микроводоросли из рода Динофизис (*Dinophysis*), это тоже динофлагелляты. Эти токсины менее опасны, они нередко встречаются в моллюсках из наших дальневосточных морей. Довольно опасные токсины продуцируют цианобактерии, самые массовые представители морского фитопланктона.

На самом деле существует достаточно много групп токсинов, современная наука не все из них может идентифицировать. Знаем, что они есть, примерно видим их действие, но расшифровать и разработать средства их идентификации пока не можем, это требует времени. Токсины микроводорослей можно обнаружить иммуноферментными, хроматографическими и спектроскопическими методами исследований.

**— Вы говорили, что люди в целом мало информированы о подобных явлениях, поэтому события на Камчатке стали таким шоком. Что-то изменилось с тех пор?**

— После событий на Камчатке очень быстро появились научные статьи, связанные со спутниковым мониторингом этого феномена осенью 2020 г. А статьи с описанием тонких, в том числе молекулярных, механизмов воздействия токсинов на организмы, с анализом того, как разворачивается жизненный цикл микроводорослей, вызвавших эти события в прибрежных акваториях Камчатки, выходят только сейчас. Требуется время, чтобы вырастить такие микроводоросли, получить культуру клеток, провести генетические и химические исследования.

Хотя я должен сказать, что симптоматика, наблюдаемая у пациентов на Камчатке, связанная с «цветением» токсичных микроводорослей, описана в научной и медицинской литературе много лет назад.

Повторю, что статья Карен Пинчин интересна тем, что акцентирует внимание на возможности вовлечения обычных людей, которые живут на берегу моря и зависят от него, в то, чтобы, во-первых, участвовать в мониторинге «красных приливов», раз уж эти явления становятся все более частыми, во-вторых, в то, чтобы просвещать других людей.

Добыча морепродуктов — очень важная часть экономики и у нас на Дальнем Востоке. Морепродукты все больше и больше входят в наше питание, становятся популярными и в континентальных городах. Они полезны, это белковая пища, и мы можем сместить на них акцент с потребления мясной продукции. Сейчас все больше и больше сторонников такого поворота. Полиненасыщенные жирные кислоты, которыми богаты морепродукты, необходимы для полноценного функционирования нашего организма, в том числе для развития мозга.



«Красный прилив» в Чесапикском заливе (США) в октябре 2020 г.

Кстати, исторически, когда древнейшие люди выходили, как считается, из Африки, их миграционные пути во многом проходили вдоль побережий морей и океанов, и уже тогда наши предки были знакомы с морепродуктами, которые собирали во время отлива. С включением морепродуктов в диету древних людей некоторые исследователи связывают и более быстрое развитие мозга по сравнению с древнейшими предками с ограниченной диетой.

**— Андрей Владимирович, океан дает кислород, пищу, а как насчет новых лекарств? Их поиск сегодня крайне актуален.**

— Здесь можно говорить не о микроводорослях, а о многих морских организмах, в том числе глубоководных, которые продуцируют биологически активные соединения и могут стать источником новых лекарственных средств, в том числе противоопухолевых и антибактериальных препаратов. Плюс, конечно, морские бактерии. Они производят огромное разнообразие химических соединений, в том числе и токсичные, чтобы бороться за жизненное пространство с другими бактериями. Соответственно, можно подобрать такие химические соединения, которые будут убивать болезнетворных бактерий, то есть получить новые антибиотики.

Важно понимать, что в связи с учащением явлений вредоносного «цветения» нужно налаживать систему контроля токсикологической безопасности, но в то же время не бояться потреблять морепродукты, которые сегодня стали очень важной частью нашего рациона. ■

**Беседовала Ольга Беленицкая**



# «Моя бурная и насыщенная жизнь после»

Автор картины: *Vitrarto*  
(творческий псевдоним  
художницы Л.А. Мясниковой)

МЕДИЦИНА

# КОВИДНЫЕ ХРОНИКИ: КАК СОХРАНИТЬ ЗДОРОВЬЕ ПСИХИКИ

В условиях пандемии все больше людей нуждаются  
в помощи психиатров и психотерапевтов.



Член-корреспондент РАН  
Б.Д. Цыганков

**Д**

оступность такой помощи — спасение нации, считает член-корреспондент РАН **Борис Дмитриевич Цыганков**, заведующий кафедрой психиатрии, наркологии и психотерапии Московского государственного медико-стоматологического университета им. А.И. Евдокимова, вице-президент Российского общества психиатров, главный внештатный психиатр Минздрава по Центральному федеральному округу.

— **Борис Дмитриевич, я прочтала о том, что ваш стаж в области психиатрии — почти 50 лет. Меняется ли восприятие мира, когда столько лет работаешь в психиатрии?**

— Психиатр оказывает помощь, если к нему обращаются. Исключение — острые состояния. В обычной жизни мы не очень фиксируемся на этом. Хотя, конечно, профессия помогает в общении. Я после трех-четырёх фраз разговора с человеком знаю, как он думает и какими категориями мыслит.

— **То есть вы видите людей насквозь?**

— Психиатр — не рентген. Мы тоже можем заблуждаться и ошибаться в людях. Но нам приходится использовать свои профессиональные навыки и знания, потому что мы должны уметь раскрыть личность пациента в беседе с ним.

— **Борис Дмитриевич, сейчас на фоне пандемии коронавирусной инфекции обострились многие психиатрические патологии,**

**поскольку у людей появляется повышенная тревожность. Замечаете ли вы по своим пациентам, что их состояние становится более тяжёлым?**

— Здесь недостаточно только наблюдений за своими пациентами. Чтобы понять тенденцию, надо проводить популяционные исследования. Если мы говорим о больных людях, которые и раньше страдали тревожно-депрессивными, ипохондрическими, паническими расстройствами, то сейчас их состояние усугубилось. Мы говорим о том, что возникает инфодемия, когда каждый день люди слушают и читают негативную информацию о последствиях пандемии и включают эту информацию в свои переживания. Если раньше они боялись какой-то другой инфекции, то теперь полностью переключаются на коронавирус. Они изучают, прислушиваются и вживаются в эти образы. И если раньше их переживания были абстрактными, то теперь

они переносятся на реальные события. Обостряются пограничные психические расстройства. Кроме того, происходит обострение бредовых расстройств, когда пациент верит, что кто-то хочет его намеренно заразить, нанести вред.

— **Только что с такой женщиной встрети- лась в метро. Я чуть-чуть опустила маску, чтобы ответить на звонок из школы, и она на меня набросилась с кулаками.**

— Такие люди действительно считают, что это делается специально, чтобы их заразить. Могу привести пример. Когда в 1986 г. начались события в Чернобыле (я попал туда с первой психиатрической врачебной бригадой), там были врачи, которые смотрели прежде здоровых людей. У некоторых из них на фоне радиации вдруг появились психические расстройства. А я смотрел людей, которые страдали психическими заболеваниями еще до катастрофы.

Мне запомнилась пациентка, которую я потом описал в отчетах. Хронически бредовая больная, которая до катастрофы находилась в длительной ремиссии и проживала в семье в Припяти. После получения информации о взрыве на ЧАЭС, о росте радиации в регионе и необходимости эвакуации стала испытывать ощущение жжения на коже. По ее представлению, радиация исходила со стороны леса, окружающего город, и угрожала всему населению. Она считала, что если сжечь лес, то радиация прекратится и она спасет людей.

Из гаража зятя женщина вывезла несколько канистр с бензином и на тачках доставила в лес. Она долго трудилась, обливала деревья бензином по продуманной ею системе. К счастью, ее вовремя задержали, иначе бедствие было бы куда страшнее. Интересно в этой истории то, что именно тревожная ситуация и информация о последствиях радиации обострила у нее бредовые расстройства с тактильными галлюцинациями и в бредовых переживаниях стали присутствовать ситуационные сведения.

— **А сейчас вы встречаете аналогичные примеры, когда доходит до агрессивных действий?**

— Мы все знаем случай в московском МФЦ, когда человек открыл стрельбу в ответ на просьбу сотрудника надеть маску. Конечно, тут нельзя говорить о психическом здоровье. Думаю, таких историй, но без применения оружия, немало. Хотя в основном речь идет о высказываниях по поводу чипирования. Есть так называемое понятие индуцированных психозов. Особо внушаемые, мнительные люди высказывают недоверие, скептически

относятся ко всем новым идеям, по мере роста напряженности и получения разнообразной информации у них может развиваться паранойяльный бред с какой-то определенной актуальной тематикой, который уже не поддается переубеждениям.

— **А почему они так податливы к внушению именно о том, что это чипирование и другие вредные воздействия, а не к внушению о том, что вакцинация необходима?**

— Они настроены пессимистически, не верят официальной информации. Они уверены, что все это говорится только для того, чтобы притупить их бдительность и им навредить.

— **У вас появились новые пациенты в связи с пандемией?**

— Конечно. Стремительно растет количество людей, которые были изначально здоровы. Причин тому очень много. Есть представление о стрессе и сверхстрессе. Человека, защищенного от стресса, вообще не существует. Нужно, чтобы этот стресс был индивидуально значимым для человека, массивным и продолжительным. Каждый человек имеет свои резервы. Если эта информация поступает достаточно долгое время и стресс очень длительный, она постепенно становится значимой, поскольку заболевают и умирают близкие люди, медийные персоны. Это пробивает биологический и психологический барьер, и у части людей развиваются выраженные невротические нарушения. Чаще всего это тревожно-депрессивные расстройства.

Недавнее эпидемиологическое исследование, проведенное на большой группе людей в разных странах, показало огромный рост впервые возникающих тревожно-депрессивных расстройств. Это такое широкое понятие, а внутри него могут быть и другие клинически очерченные варианты — такие как обсессивно-фобическое расстройство, панические атаки, ипохондрические состояния и многое другое. Сейчас фиксируется очень много таких состояний по всему миру. Заметен огромный рост этих показателей.

Тут есть ряд важных особенностей. Во-первых, это взаимоотношения в семье, которые могут играть существенную роль во время локдауна. Во-вторых, есть определенные возрастные особенности. Так, люди старшего возраста всегда более расположены к тревожным расстройствам и они у них развиваются быстрее. В их тревожных переживаниях чаще присутствует тема здоровья, они начинают фиксироваться на том, что они ощущают, находить признаки болезни, даже когда ее нет.

У молодых людей в тревожных переживаниях проявляется неуверенность в будущем

в материальном и социальном плане, они тяжелее переносят самоизоляцию и другие ограничения. Люди среднего возраста чаще испытывают фобические расстройства со страхом заражения и тяжелых последствий для себя и своих близких, следят за эпидемиологической ситуацией, могут неоднократно сдавать анализы на выявление болезни, тщательно следуют рекомендациям врачей и эпидемиологов. В задаваемых ими вопросах о последствиях заражения COVID-19 или проведения вакцинации звучит тема сохранения регенеративных функций. Чаще эти проблемы возникают у женщин, но в целом идет выраженная динамика к росту у представителей обоих полов.

**— Может ли человек сам что-то сделать, чтобы стабилизировать свое психическое здоровье?**

— Я в течение уже достаточно продолжительного времени наблюдаю своих знакомых. Конечно, психологические резервы у всех разные. Часть людей, которые ранее успешно преодолевали неблагоприятные психогенные проблемы, в условиях пандемии быстро декомпенсируются, потому что они столкнулись с ситуацией, когда от них ничего не зависит. Они постоянно думают, что могут случайно заболеть и погибнуть. А они привыкли в своей жизни преодолевать проблемы, достигать успеха, держать ситуацию под контролем. Это вводит их во фрустрацию, они не уверены в себе, становятся ипохондричными. Есть люди, которые чуть ли не через два-три дня сдают ПЦР, проверяют антитела и еще раз ревакцинируются.

Но довольно часто им помогают их внутренние резервы. Они переключаются и начинают возвращаться к труду, потому что у них очень сильный внутренний стержень. Растерянность проходит, и они компенсируются, дополнительно начинают заниматься спортом, находят для себя занятия, в которых происходит релаксация и возвращается оптимизм.

Все-таки люди в большинстве своем — сильные личности, готовые к адаптациям в разных условиях. Трудности возникали и раньше, и во многом от нас зависит, как их преодолеть. Надо понимать, что тревожно-депрессивные реакции в такой ситуации — не болезнь, а норма. Наша задача — найти свой способ выйти из них и вернуться к нормальной жизни.

**— Когда необходим специалист?**

— С психологами и психиатрами должны консультироваться те, у кого это состояние

затягивается на долгие месяцы и они сами из него выйти не могут. Допустим, постоянные тревожные сны, бессонница, в голове крутится пессимистическая информация, от которой невозможно избавиться... Они разбиты, не функционируют, потому что человек, который не спит и не получает отдыха, не может жить обычной жизнью. Еще больше нарушается поведенческая сторона.

**— У многих панические атаки дебютировали во время пандемии.**

— Очень много таких. Паническая атака — это еще и вегетативный комплекс, который часто присоединяется к тревожно-депрессивному расстройству, если человек перенес коронавирусную инфекцию даже в легкой форме. Он

**У молодых людей в тревожных переживаниях проявляется неуверенность в будущем в материальном и социальном плане, они тяжелее переносят самоизоляцию и другие ограничения. Люди среднего возраста чаще испытывают фобические расстройства со страхом заражения и тяжелых последствий для себя и своих близких**

вызывает разбалансировку, дисрегуляцию гипоталамического центра в головном мозге, регулирующего вегетативную систему и через нее функционирование сердечно-сосудистой, желудочно-кишечной и дыхательной систем. Поэтому для каждого такого пациента врачи ищут индивидуальные рекомендации. Это могут быть лекарственная терапия, ксенонотерапия, психотерапия, дыхательная гимнастика, аутотренинг.

**— Следующая тема, на которую хочется поговорить, — это люди, которые перенесли COVID-19 и у них возникли когнитивные нарушения, различные психические проблемы. Что вы наблюдаете здесь?**

— Мы готовили на эту тему доклад в академию наук. Сейчас мы наблюдаем тенденцию омоложения деменции. Обычно в популяциях она возникает у людей старше 60 лет

и нарастает с возрастом, а сейчас мы видим людей, которые перенесли коронавирусную инфекцию, с когнитивным расстройством в 40 лет.

— **Как это объясняется?**

— Первый путь достаточно прямой и связан с тем, что за счет воздушно-капельного распространения вирус попадает в обонятельный эпителий и через обонятельные нейроны в центральную нервную систему (ЦНС). Кроме обонятельных нейронов свою роль в доставке вируса в ЦНС играет другой нерв — блуждающий, который может осуществлять транспорт вируса от легких к стволу мозга в обход гематоэнцефалического барьера.

Второй путь — гематогенный, при нарушении гематоэнцефалического барьера в результате повреждения микрососудов при системном воспалительном ответе. При прямом проникновении вируса наблюдаются процессы демиелинизации пораженных нейронов.

Еще один фактор, способствующий возникновению когнитивных нарушений, связан с гипоксией, вызванной респираторными проявлениями болезни, что приводит к ишемии ЦНС, активации анаэробного метаболизма и гибели нейронов в результате ацидоза. Если человек, допустим, утонул, то через четыре минуты мозг уже не восстанавливается. А если прошли три минуты, у него будут органические изменения, элементы когнитивных нарушений.

Возрастной фактор тоже имеет существенное значение. У пациентов старшего возраста с наличием атеросклероза явления гипоксии развиваются быстрее и чаще отмечаются нарушения кровообращения, связанные с мелкими тромбозами.

Иначе говоря, есть много факторов, способствующих неправильной работе мозга. И еще один интересный фактор, который до сих пор мало изучен: у человека есть так называемые спящие патологические гены. Вирус их включает, как бы пробуждает. Через молекулярные маркеры происходит определение экспрессии кодирующих генов, связанных с патофизиологией развития психических и неврологических расстройств.

В настоящее время уже выделен 171 ген у пациентов, перенесших COVID-19, без сопутствующей психической патологии, характерный для пациентов с болезнью Альцгеймера, шизофренией, аутизмом и др. Сейчас начинается их изучение, появляется литература в плане необходимого генного контроля.

Одно из самых тяжелых психических осложнений при COVID-19 — развитие психоза. Причиной этому могут быть иммунные

и воспалительные изменения, происходящие в головном мозге инфицированных больных, а также стероидные препараты, препараты группы хлорохина.

— **Что делать, чтобы этого избежать? Вакцинироваться?**

— Вакцинироваться надо обязательно. Иногда я слышу от пациентов: «Я иммунологически защищен». Я отвечаю: «Откуда уверенность? Ведь каждый день появляются новые случаи, и многие точно так же думали, что они защищены».

Таких уникальных защищенных людей, может быть, и есть какая-то доля, но их немного. И самое главное — пока нет таких биологических маркеров, которые сказали бы, кто и от чего защищен, а кто нет. Есть такая мечта, но до ее осуществления надо дожить. Поэтому надо вакцинироваться. Мир не придумал ничего другого.

— **Что еще можно предпринять, чтобы избежать подобных осложнений?**

— Если бы врачи знали, как избежать заболевания, они бы сказали. Я тоже не знаю. Что я делаю? Стараюсь сочетать работу и отдых, обязательно спорт, чтобы сохранять иммунную систему, хороши прогулки на свежем воздухе.

— **Как вы лично справляетесь со стрессами, которые неизбежны?**

— Я, наверное, больше тренирован. Но еще раз: полностью защищенного человека нет. Всегда есть текущие стрессы, но они не столь значимы, чтобы я впал в депрессию. Проблемы есть у каждого, однако мы к ним адаптированы, мы их преодолеваем. Они нас тренируют. Хотя все переносят стрессы по-разному. Говорят, что эволюция отбирает тех людей, которые более устойчивы к стрессу. Они даже в тяжелых стрессах проявляют выдержку и все преодолевают. Более эволюционно слабые погибают на раннем этапе, не выдерживают. Эволюция выбирает более устойчивых к психологическим и соматическим проблемам людей. Поэтому универсального совета здесь не может быть. Каждый должен разрабатывать собственную программу выживания.

— **Но если человеку хочется научиться выстоять в трудных жизненных ситуациях — может быть, есть какие-то советы психиатра?**

— Мы — социальный продукт, мы нуждаемся в поощрении и поддержке. Часто мы обретаем такую поддержку в семье или у друзей. У меня недавно была пациентка, у которой сложная стрессовая ситуация. От коронавируса умерла мама, и она потеряла эту поддержку. У нее с мамой была очень тесная связь, без которой ей сложно. Она не знает, как строить

отношения с мужем и детьми, не находит среди своих близких понимания. В этой ситуации, конечно, нужно обращаться к грамотным клиническим психологам. Сейчас, к сожалению, многие себя объявляют психологами и найти нужного специалиста непросто.

— **Мне на почту регулярно приходят приглашения закончить трехмесячные онлайн-курсы. Я могу стать психологом через три месяца, заплатив некоторую сумму.**

— Это неправильно. Клинические психологи обычно хорошо подготовлены. Например, в нашем университете — прекрасный факультет клинической психологии. Они не выписывают лекарства, не ставят диагнозов, но с проблемами личности работают хорошо. Клинический психолог близок по подготовке к психиатру и психотерапевту. Сейчас мы теряем психотерапевтов в государственной системе. Это связано с тем, что они переходят на дистанционное консультирование.

— **Это хорошо или плохо?**

— Это не хорошо и не плохо, это требование времени, тоже связанное с пандемией. В результате выявятся те пациенты и врачи, которых это устраивает. Например, я не могу.

— **Вам нужно живое общение?**

— Да. Я это тоже делаю иногда, потому что пациент может быть не в Москве, а ему тоже нужна помощь. Но для меня это не совсем комфортно. Отвечая на ваш вопрос: если вы не находите психологической поддержки в своих близких и друзьях, вам помогут психологи, психиатры и психотерапевты. Это одна из форм необходимой помощи. На нашей клинической базе, в Научно-практическом психоневрологическом центре им. З.П. Соловьева, есть бесплатный телефон доверия, и тем пациентам, которые здесь лежали и выписались, в условиях пандемии мы оказываем помощь дистанционно.

— **Наверное, психиатрическая помощь должна меняться в условиях пандемии. Каким образом?**

— Такие изменения необходимы. Есть особые режимы — обсервация, карантинные отделения, блоки, все это уже вошло в обиход. Но я считаю, что в условиях пандемии нужно иметь резервные койки. Надо понимать, что такие пациенты могут быть антипрививочниками по своим бредовым установкам. Они способны нести дополнительную угрозу для окружающих, потому что не соблюдают режим, порой ведут себя агрессивно.

Эти больные люди должны быть выведены на период пандемии из социума, потому что это опасно и для них, и для окружающих. Кроме того, мы должны помнить, что психически

больные люди с определенными диагнозами, такими как шизофрения или деменция, в условиях пандемии умирают в два с половиной раза чаще, чем люди, не страдающие психическими расстройствами. Это связано с множеством дополнительных факторов, в том числе с малокомпенсированной коморбидной (смешанной) соматической патологией и с приемом антипсихотиков, которые обладают иммуносупрессивным побочным эффектом.

Этих людей, которые не могут соблюдать режим (а семья не может обеспечить контроль над их поведением), надо выводить из социума, они должны находиться в психиатрической больнице. Это совпадает с понятиями о недобровольной госпитализации. Все эти схемы были хорошо отработаны в Китае.

— **А вакцинировать в этих учреждениях тоже нужно недобровольно?**

— Их вакцинируют добровольно, уговаривают, объясняют. Когда человек находится в контакте с врачами, все это происходит легче. Иной раз такого пациента проще убедить, чем вроде бы здорового антипрививочника.

— **Как вы думаете, удастся претворить эту схему в жизнь?**

— Надеюсь на это. У нас в психиатрии, к сожалению, нет федерального финансирования. Поэтому все, что происходит в психиатрии, зависит от того, как исполнители региональной власти уделяют этому внимание, сколько они готовы потратить средств. В этом огромная проблема: психиатров мало слышат, и в каждом регионе могут быть совершенно разные зарплаты, социально-бытовые условия для пациентов, разное финансирование лекарств. Даже в Москве есть дефицит врачей, что уж говорить о регионах. При этом если вкладывать в психиатрическую помощь, многие люди не дойдут до острого состояния, когда потребуется экстренная госпитализация.

— **Иначе говоря, психиатрическая помощь должна быть более доступной?**

— Да. Ведь психотерапевтов убрали из поликлиник, из общих больниц убрали психиатров, которые могли оказывать психиатрическую помощь соматическим больным с психическими нарушениями. Статистика показывает, что среди соматических больных почти каждый четвертый имеет психическое расстройство.

— **Борис Дмитриевич, один психиатр сказал мне еще в начале пандемии: «Скоро психиатры станут так же нужны, как инфекционисты». Вы согласны?**

— Они давно нужны. У нас вкладываются огромные средства в диагностические, перинатальные, онкологические, кардиологические,

инсультные центры... Это все прекрасно, но существует недопонимание того, что проблемы психиатрии стоят не менее остро. Кроме того, в нашей стране психиатрия стигматизирована. Люди боятся идти к такому специалисту, потому что могут поставить на учет, не дать водительские права и т.д. Дестигматизация и доступность психиатрии — это не просто красивые слова, это путь к спасению нации. Ведь даже молодым инсультам и инфарктам обычно предшествует какая-то психогения. Да и вообще без психического здоровья жизнь теряет смысл.

Я думаю, у нас уделяется недостаточно внимания этим проблемам. Среди психиатров нарастает определенный пессимизм, они чувствуют, что их труд недооценивают. На этом фоне агрессия в социуме повышается и те люди, которые были к этому предрасположены, становятся опасны. Я никогда раньше не видел на улицах такого количества психотических больных.

— **Вы их сразу видите?**

— Там своя моторика, свое поведение. Я сразу вижу, что человек ведет себя неадекватно. Но ведь не потащишь каждого за руку на прием. Таких людей становится все больше,

контроль приема лекарств в амбулаторных условиях обеспечить достаточно сложно, а ситуация в стране напряженная. Часто родственники самоустраиваются от постоянного участия в терапевтическом процессе.

Если не уделять необходимого внимания организации психиатрической помощи на федеральном и региональном уровнях, то в чрезвычайных ситуациях вопросы оказания помощи психически больным, профилактики обострений и развития психических расстройств, защиты населения от патологического поведения психотических больных могут оказаться трудно решаемой для здравоохранения и правоохранителей задачей.

— **Это точно то же самое, что произошло и с инфекционными заболеваниями: сократили койки, закрыли больницы, и тут грянуло.**

— Совершенно верно. Поэтому нужны специальные меры, без принятия которых нам не удастся вывести страну из опасного состояния. Это требует государственного контроля, постоянного мониторинга и принятия определенных решений. Мы все этого ждем. ■

*Беседовала Наталья Лескова*

*Выходит 6 раз в год*

*Познавательный журнал для хороших людей*

Иркутские ученые разрабатывают модель для предсказания землетрясений на Байкале на основе мониторинга соотношения изотопов урана в подземных водах

Торфяные болота наравне с океаном служат крупнейшим на планете долговременным хранилищем углерода, препятствуя нарастанию парникового эффекта

Двойниковый алмаз «Китайский фонарик» и другие раритеты из коллекции АК «АЛРОСА» помогают в поисках новых алмазоносных коренных источников

Таяние вечной мерзлоты на северных болотах вызывает термокарстовые процессы и образование озер — источников «метановой» угрозы

Повреждения хрящевой ткани и сухожилий у марафонцев, возникающие на начальном этапе многодневного забега, к концу дистанции самопроизвольно заживают

**www.scfh.ru**



МЕДИЦИНА

# ЧЕЛОВЕК И ВИРУС: ВОЙНА ИЛИ МИР?

Какой иммунитет лучше защищает от коронавируса? Каковы особенности варианта «омикрон»? Почему на Земле появились вирусы и как они помогают нам жить дольше? На эти и многие другие вопросы ответил член-корреспондент РАН Сергей Викторович Нетесов, заведующий лабораторией биотехнологии и вирусологии факультета естественных наук Новосибирского государственного университета.



Член-корреспондент РАН  
С.В. Нетесов

**— Сергей Викторович, правда ли, что гибридный иммунитет, то есть когда человек и переболел, и был вакцинирован, лучше защищает от коронавируса?**

— Сейчас появляются научные работы, где описано сочетание разных типов иммунитета, причем в разной последовательности. Одна из таких работ — исследование корейских ученых<sup>1</sup>, которые рассмотрели разные варианты гибридного иммунитета: сначала переболеть, потом вакцинироваться; сначала вакцинироваться, потом переболеть; а затем еще и сделать разные вакцины. Судя по всему, гибридный иммунитет действительно будет более надежным. Дело в том, что все вакцины рассчитаны на то, чтобы антитела появились только к белку S: они либо его содержат, либо индуцируют его синтез, в то время как в ходе естественной инфекции антитела появляются к самым массовым белкам вируса (а не только к белку S), например к белку нуклеопротеина. Кроме того, небольшое количество антител появляется и к мембранному белку, к белку оболочки. Поэтому такой иммунитет более эффективен по своему спектру воздействия.

В то же время известно, что естественный иммунитет в ответ на реальную коронавирусную инфекцию SARS-CoV-2 — недолговременный, его напряженность довольно быстро падает, поэтому после болезни полезно произвести вакцинацию: эффект от нее будет

существенно сильнее, уровень антител станет намного больше. Это проверено, в том числе и на себе. А лучше всего иметь комплексный, или гибридный, иммунитет в обратном порядке: сначала привиться, потом переболеть и за счет вакцинации гораздо легче перенести коронавирусную инфекцию.

**— В чем принципиальное отличие «омикрона» от предыдущих вариантов коронавируса?**

— В его геноме содержится больше изменений, чем у всех предыдущих вариантов вируса вместе взятых. У него 50 с лишним изменений, и основная их часть сосредоточена в гене белка S — это в среднем 32 мутации. Почему я говорю «в среднем»? Потому что у «омикрона» уже есть несколько разных модификаций. Кроме того, у него много мутаций в начале гена S-белка, которые определяют снижение его чувствительности к существующим вакцинам, то есть он антигенно довольно заметно изменился и из-за этого гораздо хуже профилактируется вакцинами. Люди, которые вакцинировались более полугодом назад, за просто могут заболеть этим вариантом коронавируса.

**— Много ли известно повторных случаев заболевания COVID-19? Насколько это распространенное явление?**

— До «дельты» таких случаев было совсем немного. А вот начиная с «дельты» они начали появляться. Более того, из-за инфекции,

вызываемой вариантом «дельта», заболели даже люди, которые были привиты, в том числе в начале 2021 г. В «дельте» есть немного замен в рецептор-связывающем домене и начальной части белка S, которые делают этот вариант вируса более устойчивым к вакцинопрофилактике.

С участием «омикрона» наблюдались повторные случаи заболевания, хотя сам вариант изучается фактически только два месяца. Но эти повторные случаи — не «омикрон-омикрон», а, например, предыдущая «дельта» и «омикрон». Все это вполне объяснимо, потому что антигенно «омикрон» заметно отличается от всех предыдущих вариантов.

**— Говорят, что он легче переносится, чем «дельта».**

— Слово «говорят» мне как ученому не очень нравится по одной простой причине — непонятно, кто сказал, на основе чего и что конкретно. Да, ситуация с «омикроном» кардинально отличается от той, которая была год назад, когда его еще не было. И отличается она в том числе и тем, что очень много людей, например в западноевропейских странах, на момент заболевания «омикроном» уже были вакцинированы. То есть на самом деле болеют в значительной массе уже вакцинированные. И здесь нужно, как говорится, отделить мух от котлет: необходимо категоризовать заболевших бывших вакцинированных и заболевших никогда не вакцинированных, а также заболевших, которые болели раньше «дельтой», и вообще не болевших и не вакцинированных.

Таким образом, категорий больных по разному иммунному статусу достаточно много. И когда мы, например, читали описания первых случаев «омикрона» в той же Великобритании, где более 70% людей привито, то, естественно, отмечали более легкое течение заболевания как раз за счет вакцинированных. Так что надо все эти случаи различать. Я думаю, реальная картина по летальности и патогенности «омикрона» будет ясна через два-три месяца, когда будет проведен полный анализ значительной выборки всех категорий заболевших, отличающихся по иммунному статусу.

**— Как эволюционируют вирусы? Они становятся сложнее?**

— Если коротко, не сложнее: они просто становятся немного другими. У вирусов для того, чтобы они выжили в высококонкурентной среде, слабо работает механизм коррекции генома. Например, в высших организмах, таких как мы с вами, этот механизм работает четко, то есть закрепляется очень мало

мутаций, именно поэтому мы живем по сравнению с некоторыми другими представителями животного мира довольно долго. При этом у нас в основном весьма высокая жизненная активность — и мозговая, и двигательная. А у вирусов высокий уровень мутаций — один из способов выживания. Если бы они не менялись, как не менялись некоторые известные нам вирусы (например, кори, паротита), они бы не вызывали эпидемий. Некоторые вирусы вызывают эпидемии именно за счет того, что все время возникают их новые и новые варианты, которые в сопоставлении со старыми обладают какими-то преимуществами, а прежние вакцины, как в случае вируса гриппа, перестают быть эффективными.

Мутаций у изменчивых вирусов, в том числе, как выяснилось, у нынешнего коронавируса, происходит очень много. Выживают после них какие-то малые проценты или даже доли процентов вирусов. Но ввиду высокой множественности размножения вирусов их эволюция все-таки происходит, и когда появляются их новые варианты, тот же «дельта», который намного быстрее и сильнее размножается, они начинают вытеснять все остальные.

## С коронавирусом нам не повезло: это относительно быстро эволюционирующий вирус

А «омикрон» сейчас еще сильнее, чем «дельта»: он быстрее размножается и спокойно преодолевает вакцинальный иммунитет.

Мутация — это то, что вызывает эволюцию многих вирусов. Конечно, до вируса гриппа коронавирусу далеко: у гриппа мутации происходят почти в десять раз быстрее. А есть, например, вирусы типа вирусов кори, паротита, краснухи, которые, наоборот, меняются очень медленно, и поэтому вакцины против них работают уже полвека. Жаль, что с коронавирусом нам не повезло: это относительно быстро эволюционирующий вирус.

Но если бы мы очень оперативно вакцинировались, а не так, как сейчас в России, где привито менее 60% людей, у вируса было бы меньше шансов на успех. Пока мы эти вакцины разрабатываем и внедряем, вирус нас обгоняет, создавая новые варианты. И сейчас ученые правильно делают, что создают вакцину конкретно от «омикрона», потому что, судя по всему, прежняя вакцина против уханьского варианта все-таки очень слабо защищает: ее защитный эффект менее 50%, в то

время как в отношении первых вариантов коронавируса у уханьского варианта вакцины защитный эффект был более 90%.

**— Получается, что под каждый новый штамм нужно создавать свою собственную вакцину?**

— Корректнее все-таки употреблять слово «вариант», а не «штамм», потому что «штамм» означает образец вируса от одного конкретного человека, а «вариант» — это набор штаммов, которые существуют в популяции и меняются, но у них есть много общих замен в геноме. Так, «альфа», «бета», «гамма», «дельта» и «омикрон» — это все варианты, то есть совокупности штаммов, которых не просто десятков, а иногда чуть ли не десятков миллионов! Вот так эволюционирует вирус.

Важно также понимать, что все эти новые варианты вируса не возникают просто у любого человека в любом регионе мира. Заметьте, что, например, и «бета», и «оми-

## Когда у человека есть иммунодефицит, вирус в нем может размножаться не две недели, как обычно, а до года. Именно за счет столь долгой хронической циркуляции вируса в слабо сопротивляющемся организме и накапливаются мутации

крон» возникли в Южной Африке, где, как мы знаем, максимальный в мире процент ВИЧ-инфицированных людей: по официальным сведениям, более 16%, а по неофициальным — более 25%. Когда у человека есть иммунодефицит, вирус в нем может размножаться не две недели, как обычно, а до года. И такие случаи уже отмечены неоднократно. Именно за счет столь долгой хронической циркуляции вируса в слабо сопротивляющемся организме и накапливаются эти мутации.

Вторая категория людей, у которых они накапливаются, — это больные лейкозом, находящиеся на специальной химиотерапии с подавлением иммунитета. У них врачи видят ту же самую или очень схожую картину. На эту тему есть научные публикации: например, в Великобритании было два таких пациента, у каждого из которых коронавирус циркулировал более полугода.

**— Тогда это уже хронический коронавирус?**

— Да, это хронический вариант, он становится таковым, если его специально не лечить. Когда у пациентов с лейкозом обнаружили такое течение инфекции, им временно отменили иммуноподавляющую терапию и, наоборот, дали вещества, которые усиливают противовирусный иммунитет, и тогда они вылечились от коронавируса. Похожие случаи также были в Калифорнии, это тоже описано. Есть чего бояться и России: у нас около миллиона ВИЧ-инфицированных, а значит, тоже могут возникать новые варианты SARS-CoV-2. Поэтому состояние ВИЧ-инфицированных людей с коронавирусной инфекцией стоит отслеживать особенно пристально.

**— Известно ли, как коронавирус влияет на злокачественные опухоли? Может ли он, например, увеличить или, напротив, уменьшить размер опухоли?**

— Лично я таких публикаций не встречал, но, исходя из логики, по аналогии с другими вирусами вряд ли заражение коронавирусом будет стимулировать опухоль. Опухолевые клетки, как правило, дефектны по клеточным компонентам иммунитета, поэтому вирусы их заражают гораздо легче. Вообще, на первом этапе развития вирусологии, когда ученые размножали вирусы, они делали это как раз на раковых клетках, взятых у больных, ведь на здоровых клетках вирусы почти не размножались. Думаю, раковому больному инфекция сильно не повредит (ведь коронавирусы через свое размножение в раковых клетках их скорее всего разрушат и уж точно не будут стимулировать их размножение), если только у него нет сильного иммунодефицита, вызванного опухолью либо лечебными препаратами.

**— Меняет ли коронавирус геном человека?**

— Таких случаев не зафиксировано, и, честно говоря, этого никто не ожидает, потому что коронавирус имеет РНК-геном. А геном человека — это ДНК-геном, и для того, чтобы в нем что-то изменить, необходимо, чтобы этот вирус, во-первых, имел ДНК, а во-вторых, попал в ядро клетки человека, но он, как известно, в ядре не размножается. Нужны два условия, чтобы вирус изменил наш геном: первое — РНК-вирусы превратить в ДНК, второе — поместить вирус в ядро человеческой клетки. Хотя даже с учетом этих условий вероятность внесения каких-то изменений в нашу ДНК вирусом, геном которого никак не реплицируется человеческими ферментами, практически нулевая. Так что лично я не думаю, что нечто подобное происходит, потому что это противоречит естественным процессам функционирования

человеческой клетки, ее размножению. В то же время коронавирус может поражать и разрушать очень важные виды клеток, и вот тогда становятся ясными причины различных постковидных осложнений.

**— Как давно человечеству известны коронавирусы?**

— Первые коронавирусы, правда, не человека, а домашних птиц (вирусы инфекционного бронхита птиц — очень экономически значимые патогены), были открыты еще в 1930-х гг. Лишь через 30 лет были обнаружены респираторные коронавирусы человека: в 1965 г. это открытие было сделано благодаря электронным микроскопистам в Великобритании. Позднее были выявлены еще несколько коронавирусов человека. В результате сейчас известны по крайней мере четыре разновидности коронавирусов, которые были и остаются нашими патогенами уже несколько сотен лет. Просто раньше их не умели детектировать.

Люди часто жалуются, что эпидемий у нас стало гораздо больше. На самом деле это не эпидемий стало больше, а мы стали больше знать об этих патогенах. Ведь не зря древние говорили, что знания умножают печали. В XIX в. были известны в основном только две инфекционные болезни — чахотка и дизентерия. Потом оказалось, что чахотка — это не только туберкулез, а целый ряд простудных заболеваний, которые вызываются вирусами или бактериями типа пневмококков, менингококков и других. Поэтому люди начали изобретать вакцины и этих заболеваний стало меньше.

Для того чтобы действительно оценить достижения человечества в области борьбы с инфекциями, советую почитать хотя бы биографию Петра I и посмотреть, в каком возрасте и от чего умерли его дети. Вы увидите, что практически 80% детей в то время умирали, не достигнув совершеннолетия. То же самое касается детей других русских царей, а также императоров европейских стран. Да что там далеко ходить: узнайте у своих бабушек, прабабушек, рожавших в начале XX в., сколько у них было детей и сколько дожили до совершеннолетия. Это все было в эпоху, когда люди не знали самого главного — причин заболевания. У нас же сейчас дела обстоят совсем не плохо, и если женщина рождает двух детей, то они, как правило, совершенно спокойно доживают до совершеннолетия. Поэтому мы должны ценить достижения медицины и других наук, которые позволяют нам, во-первых, не быть свидетелями того, как 80% наших детей умирают, во-вторых, самим жить достаточно долго. Вы знали, например, что в Африке есть несколько стран, в которых до сих пор

## Вариант «омикрон» из Южной Африки

- В ЮАР более 16% людей инфицировано ВИЧ-1, поэтому там хорошие условия для селекции новых вариантов.
- Вариант (B.1.1.529) выявлен впервые 9 ноября 2021 г., а сообщение в ВОЗ пришло 24 ноября.
- В его белках как минимум 50 мутаций, из них 32 в белке S (там всего 1273 аминокислоты).
- Вариант уже обнаружен в Австралии, Бельгии, Ботсване, Великобритании, Дании, Германии, Гонконге, Израиле, Италии, Канаде, Нидерландах, Франции, Чехии и Южной Африке.
- Некоторые ПЦР-тесты на S-ген не показывают этот вариант.
- По предварительным данным (свидетельство доктора Анжели Кутси, впервые взявшей пробу с этим вариантом), течение заболевания более мягкое, чем в случае варианта «дельта».

нет национального календаря прививок? Так вот, средняя продолжительность жизни мужчины там — 43–45 лет. А в нашей стране — почти 70 лет. И это, как считают специалисты ВОЗ, достижение как вакцинопрофилактики, так и, конечно, еще одного технического достижения: систем очистки и обеззараживания питьевой воды. Как результат последнего — люди намного меньше болеют желудочно-кишечными инфекциями. Все эти достижения нужно ценить, а также понимать, что вирусы живут с нами очень давно.

**— Насколько давно?**

— Сколько живет человечество, столько существуют и вирусы. Есть несколько гипотез их возникновения. Одна из них, на мой взгляд, наиболее правдоподобная, состоит в том, что вирусы отпочковались от клеток высших организмов. Некоторые из них даже содержат в себе такие метки — кусочки ДНК, которые были в митохондриях или хромосомах человека. Это так называемая деградиционная гипотеза, где вирус — это отколовшийся кусочек генома живого организма, гораздо более сложно организованного.

Многие инфекции передались нам от животных путем адаптации вирусов животных к организму человека. Истории происхождения некоторых человеческих вирусов сегодня уже довольно достоверно отслежены. Например, всем известный вирус кори — видимо, дальний родственник вируса чумы крупного рогатого скота. Во-первых, у них есть сходство в строении генома, во-вторых, в дикой природе прослеживаются разные промежуточные варианты, которые говорят о том, что они явно имеют общего предка. Таким образом, по мере приручения разных животных мы получали от них вирусы. Есть гипотезы,

что вирус гепатита С, например, передался людям от лошадей или собак. Есть еще другие вирусы (например, герпеса), которые, вероятнее всего, передались нам от обезьян. Вирусы растений к человеку не переходят, а вот вирусы животных, особенно млекопитающих, — весьма возможный случай.

**— Почему вирусы успешно прижились и так хорошо чувствуют себя на нашей планете?**

— Им с нами не так уж хорошо живется, потому что мы с ними боремся, и чем дальше, тем сильнее. На самом деле вирусы (это, кстати, может быть справедливо в отношении некоторых животных) способны даже давать какие-то определенные преимущества своим носителям. Например, в одной из работ описаны особенности поведения клещей, зараженных и не зараженных вирусом клещевого энцефалита<sup>2</sup>. Оказалось, что клещи, зараженные вирусом, более активны, то есть вирус им дает какое-то физиологическое преимущество. Не надо приписывать вирусам только плохое, особенно учитывая, что некоторые из них могут помочь в борьбе с раком. В этом случае в отношении целого ряда вирусов вопрос нужно ставить совсем по-другому: возможно, мы живем так долго потому, что у нас периодически происходят вирусные инфекции, которые уничтожают раковые клетки? В каждом плохом есть что-то хорошее.

**— Кстати, ведь есть гипотеза о том, что рак сам по себе имеет вирусную природу и что можно изобрести вакцину от рака. Насколько это реально?**

— Первым эту теорию выдвинул советский ученый Л.А. Зильбер (*основоположник советской медицинской вирусологии, создатель первой в СССР вирусной лаборатории, был трижды репрессирован. — Примеч. ред.*). Он написал об этом первую книгу, находясь в тюрьме. Его книги (Зильбер Л.А. Вирусная теория происхождения злокачественных опухолей. М., 1946; Зильбер Л.А., Ирлин И.С., Киселев Ф.П. Эволюция вирусно-генетической теории возникновения опухолей. М.: Наука, 1975) прошли много трудностей и в конце концов были изданы. Благодаря им сегодня мы знаем несколько вирусов, вызывающих рак. Это, в частности, вирусы гепатита С, гепатита В, папилломавирус человека. Кроме того, тот же самый вирус ВИЧ фактически вызывает рак, поражая некоторые клетки иммунной системы.

Сейчас развивается направление лечения рака с помощью вирусов. Я веду лабораторией, которая занимается как раз этим, а именно — применением препаратов на основе аденовирусов.

**— Расскажите, пожалуйста, подробнее о своих исследованиях в этой области.**

— Первые 30 лет своей научной карьеры я работал в Государственном научном центре вирусологии и биотехнологии «Вектор», который находится в наукограде Кольцово Новосибирской области. Там мы с коллегами занимались самыми разными вирусами: гепатитов, альфа-вирусами, флавивирусами и т.д. В конце 1990-х гг. мы начали присматриваться к вирусам, которые могут помочь в борьбе с раком. Так что это направление я начал развивать, еще работая в «Векторе», а позднее благодаря мегагранту, который мы выполняли вместе с членом-корреспондентом РАН П.М. Чумаковым, открыли лабораторию микробиологии в Новосибирском государственном университете.

**— Но почему именно вирусы были выбраны как средство противораковой терапии?**

— Потому что существующие методы терапии раковых опухолей, к сожалению, подошли к своеобразному кризису: ничего принципиально нового не появляется, а имеющиеся средства лечения — весьма жесткие и нередко малоэффективные. То, что вирусы могут уменьшать или даже полностью ликвидировать опухоли, было замечено еще в начале XX в. Правда, систематических исследований на эту тему не было, они начали появляться только четверть века назад.

Мы начали эти исследования в Новосибирском государственном университете 12 лет назад. Моя лаборатория занимается

## Основные симптомы, вызываемые вариантом «омикрон»

- Першение в горле. Обычно проходит при обильном питье и приеме парацетамола. Нередко без кашля, но бывает и с кашлем.
- Заложенность носа и жидкие выделения из носа — необычно для других вариантов.
- Частые кашель и чихание.
- Сильная слабость и усталость. Могут длиться от двух до десяти дней.
- Ломота в теле. Несколько дней.
- Головная боль — иногда сильная, иногда пульсирующая.
- Почти все эти симптомы необычны для коронавирусной инфекции варианта «дельта».
- У привитых менее шести месяцев назад симптомы и тяжесть легче.

аденовирусами, которые вызывают легкую простуду. Можно перестроить и модернизировать их геномы таким образом, что они будут с большой эффективностью уничтожать раковые клетки, не затрагивая нормальные.

Это направление очень трудоемкое и непростое по своей сути, но оно открывает принципиально новые возможности в лечении рака. Думаю, рано или поздно эти исследования дадут очень приличные результаты, тем более что некоторые препараты показывают их уже сейчас. Главный критерий при лечении рака — годовая выживаемость: это значит, что, когда вы применили препарат, нужно подождать год и посмотреть, что произойдет с теми пациентами, которые получили препарат, и теми, которым его не принимали.

**— В геноме человека изначально в небольшом количестве присутствуют так называемые эндогенные ретровирусы. Для чего они нужны?**

— Этот вопрос не ко мне, поскольку я не специализируюсь на ретровирусах. Могу лишь сказать, что в человеческой ДНК содержатся лишь фрагменты ретровирусов, а не вирусы целиком. Эти фрагменты — показатели того, что у нас в геномах были переносы генов, потому что ретровирусы могут переносить гены из одного организма в другой. Вполне возможно, что часть эволюции нашего генома как раз и проходила в результате обмена такими вирусами с другими людьми. Так что гипотеза о том, что вирусы помогают нашей эволюции, вполне разумна и жизнеспособна. Но, как вы понимаете, это процесс очень длительный.

**— Сергей Викторович, напоследок не могу не задать, пожалуй, самый популярный вопрос: как вы считаете, станет ли «омикрон» последним вздохом коронавируса? Может ли на «омикроне» закончиться пандемия?**

— Пожалуй, на ваш популярный вопрос я отвечу не менее популярным ответом: вероятность этого — 50 на 50. Ответа на самом деле не знает никто. Если посмотреть, как отличаются геномы вариантов «исходный уханьский» и вариантов «альфа», «бета», «гамма», «дельта» и «омикрон», то мы увидим, что потенциал для дальнейшей эволюции у «омикрона» и у других вариантов есть. Другое дело, насколько сильный будет от него иммунитет, насколько долго он будет сохраняться. Иммунитет может нас защитить от последующих вариантов, но может и не защитить. В любом случае мы должны не ждать милости от природы, а создавать вакцину от «омикрона».

## Эффект Даннинга — Крюгера

Эффект (феномен) Даннинга — Крюгера — когнитивное искажение, при котором люди, имеющие низкий уровень квалификации и фрагментарные знания, делают ошибочные выводы, принимают неудачные решения и при этом неспособны осознать свои ошибки в силу низкого уровня своей квалификации. Феномен был описан психологами Дэвидом Даннингом и Джастином Крюгером в 1999 г.

Кроме того, нужно кардинально ускорить темпы всеобщей вакцинации, потому что оставлять вирусу лазейки в иммунитете равно оставлять лазейки для его эволюции.

Я ведь был почти уверен, что нам удастся остановить пандемию еще на «дельте», но появился «омикрон» и свел все наши планы на нет. Поэтому сейчас необходимо, чтобы в мире интенсивно развивалось направление быстрой разработки, производства и применения вакцин. От этого напрямую зависит, сколько жертв от этой пандемии у нас будет. Что касается России, мало того, что у нас производственных вакцинных мощностей явно недостаточно для такой быстрой борьбы, так еще и наших граждан надо при этом обучать, образовывать, объяснять им, где правда, а где псевдонаучные выдумки.

Все говорят, что Великобритания снимает ограничения. Так там привито почти 80% людей! Там болеют в основном невакцинированные, которых все уже устали убеждать в том, что надо вакцинироваться. А у нас ситуация совсем другая: в России двумя дозами на 1 февраля 2022 г. привито всего 47% населения. Так что нам нужно включать разум и принимать все меры, чтобы обезопасить себя, в том числе с помощью вакцин. ■

*Беседовала Янина Хужина*

### ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

■ <sup>1</sup> Ji-Young Hwang, Yunhwa Kim, Kyung-Min Lee, Eun Jeong Jang, Chang-Hoon Woo, Chang-Ui Hong, Seok Tae Choi, Sivilyay Xayahuang, Jong Geol Jang, June Hong Ahn, Hosun Park. Humoral and cellular responses to COVID-19 vaccines in 2 SARS-CoV-2 infection-naïve and -recovered Korean individuals // Vaccines. 2022. In press.

■ <sup>2</sup> Katrin Liebig, Mathias Boelke, Domenic Grund, Sabine Schicht, Andrea Springer, Christina Strube, Lidia Chitimia-Dobler, Gerhard Dobler, Klaus Jung, Stefanie Becke. Tick populations from endemic and non-endemic areas in Germany show differential susceptibility to TBEV // Nature, 2020.

ВИРУСЫ

ГРИБКИ

МЕДИЦИНА

# ИММУНИТЕТ

Новый штамм коронавируса «омикрон» вновь вызвал небывалый всплеск заболеваемости. Как иммунитет реагирует на новые штаммы? Где иммунные клетки обучаются распознавать врага? Когда ждать нового прорыва в иммунологии?

НАНОЧАСТИЦЫ



ПАТОГЕНЫ

УГРОЗЫ

# НА СТРАЖЕ

БОЛЕЗНИ

БАКТЕРИИ

Академик С.А. Недоспасов



**Р**

ассказывает академик **Сергей Артурович Недоспасов**, заведующий лабораторией молекулярных механизмов иммунитета Института молекулярной биологии им. В.А. Энгельгардта РАН, профессор Научно-технологического университета «Сириус» и МГУ им. М.В. Ломоносова.

**— Сергей Артурович, человечество столкнулось с очередным вариантом коронавируса, который стал более заразным. С точки зрения иммунного ответа о каких изменениях идет речь? Стали наш иммунитет слабее?**

— Нет, наш иммунитет, конечно, принципиально не меняется после появления нового варианта. Иммунная система устроена таким образом, что при встрече с патогеном — вирусом, бактерией — она случайным образом создает антитела (не все знают — это растворимая форма рецепторов В-лимфоцитов), а также рецепторы Т-лимфоцитов, которые позволяют клеткам иммунитета распознавать врага. Так работает наш адаптивный иммунитет.

Другой важный момент связан с тем, что иммунная система так или иначе реагирует на любой неизвестный возбудитель. Вопрос лишь в том, насколько быстро она сможет наработать необходимый уровень защитных антител (их делают В-лимфоциты) и защитных Т-лимфоцитов. Еще важно, что после встречи с новым вирусом лимфоциты запомнят молекулярные характеристики возбудителя, чтобы в следующий раз сразу же начать вырабатывать необходимые антитела.

Но, разумеется, не все так просто. Сам вирус меняется (это принципиальный момент: его ключевой фермент, позволяющий ему размножаться, делает ошибки, то есть вносит мутации в вирусный геном), создавая новые белковые структуры, чем усложняет жизнь нам и нашей иммунной системе.

**— То есть вирус меняется в том числе при попадании в организм?**

— Да. По сути, наша иммунная система запрограммирована на случайное создание миллиардов разных специфичностей лимфоцитов, в том числе тех, которые продуцируют антитела, В-клеток. Проще говоря, иммунная система с легкостью произведет миллиарды вариантов антител. Но нам в жизни пригодится, условно говоря, только миллион. Образуется колоссальная избыточность. Поэтому при встрече с новым вирусом или его новым вариантом высока вероятность того, что соответствующий правильный лимфоцит в системе уже присутствует. Он просто должен найтись, прореагировать и размножиться.

Поэтому появление нового штамма означает лишь то, что вирус изменился и надо задействовать лимфоциты с новой специфичностью. При

этом у вас в организме может быть одна-единственная клетка, у которой случайно есть тот самый рецептор, распознающий конкретный кусочек S-белка коронавируса. При распознавании вируса иммунная система получает серию сигналов и специфические для вируса лимфоциты начинают пролиферировать, то есть размножаться. Это относится и к В-лимфоцитам, которые участвуют в продукции антител, и к Т-лимфоцитам, которые могут напрямую убивать зараженные клетки.

**— Но при этом и враг постоянно размножается, заражая все больше клеток?**

— Да. Кстати, вирус заражает именно те ткани и клетки, на поверхности которых экспрессируется рецептор ACE2, связывающийся с S-белком коронавируса. К сожалению, этот рецептор присутствует в довольно большом количестве тканей, поэтому SARS-CoV-2 заражает много органов и тканей, в том числе мозг и кишечник.

**— Некоторые исследователи предрекают, что на «омикроне» все закончится. Что вы думаете об этом?**

— Да, некоторые специалисты утверждают, что у нового варианта меньше общая совокупность поражений тканей. Например, омикрон-штамм не так быстро опускается в легкие, как его предшественники. Однако сейчас очень сложно что-либо предсказывать. Ясно одно: никто не ожидал ничего подобного. В современном мире это беспрецедентная история. Вы наверняка знаете про вспышку оспы в Москве в 1959 г.

**— Да. Ее достаточно быстро подавили благодаря вакцинации.**

— Верно. Но в отличие от нынешней беды в то время в распоряжении государства были сразу миллионы доз готовой вакцины, похожей на ту, которую разработали еще 200 лет назад. И тогда никто не рассуждал о добровольной вакцинации, поэтому за две-три недели в Москве было вакцинировано более 6 млн человек. Я был мальчишкой, когда к нам в коммунальную квартиру пришла медсестра, прокипятила шприцы в никелированных ванночках и сделала всем обитателям квартиры прививки.

**— Что представляет собой иммунитет с точки зрения масштабов? Где его искать в нашем организме?**

— Система иммунитета распределена по всему нашему организму. Это и клетки, и органы. Есть некие главные места, которые отвечают за нормальное функционирование иммунной системы. Например, все иммунные клетки образуются в костном мозге в процессе кроветворения. По сути, все клетки крови, кроме эритроцитов, и есть клетки иммунной системы. Среди них лимфоциты, нейтрофилы, базофилы, дендритные клетки и другие. Все они распределены по тканям организма, создавая иммунную защиту.

**— А что насчет кожи? Ее можно считать первым барьером?**

— Конечно. Под кожей, как бы на всякий случай, расположены клетки врожденного иммунитета, которые в случае механического повреждения барьерной ткани и при попадании потенциально патогена смогут распознать угрозу и запустить иммунную реакцию.

**— То есть покраснение на коже вокруг ранки — это иммунная реакция?**

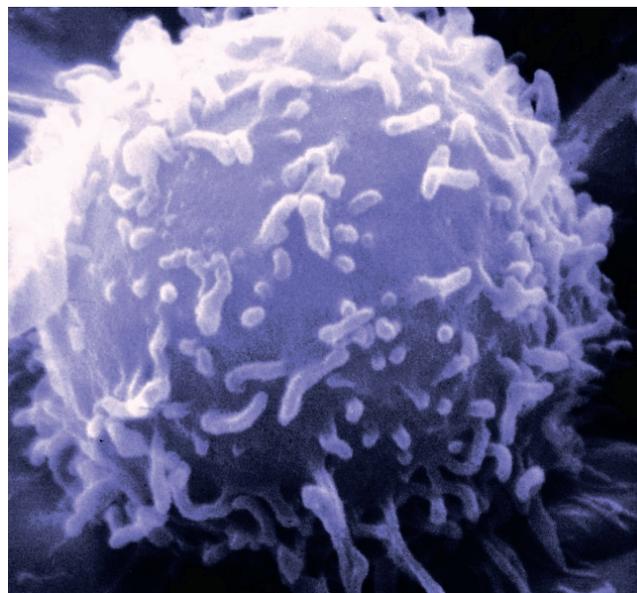
— На самом деле это лишь часть иммунного ответа. С древних времен медикам известны пять признаков воспаления. Врачи знают их наизусть: краснота, набухание (отек), жар, боль, нарушение функции.

Но вернемся к иммунитету. Кроме кровеносной системы в нашем организме есть система лимфатическая. Ее важный компонент — лимфа, прозрачная жидкость, циркулирующая по лимфатическим сосудам. При этом в отличие от крови для нее нет «мотора» в виде сердца.

С лимфатической системой связаны лимфатические узлы — так называемые вторичные лимфоидные органы. Они располагаются в подмышечной зоне, за ушами, под коленом, вокруг кишечника. Удивительно то, что Т-лимфоциты все время циркулируют по вашему организму, проходя через все лимфатические узлы.

**— Как бы на всякий случай?**

— Верно. И если по пути лимфоциты встретили клетку, которая пришла с лимфой из того места, где была повреждена барьерная ткань и где она распознала патоген, происходит несколько ключевых событий. Во-первых, лимфоциты получают сигнал



**Лимфоцит** — компонент иммунной системы человека. Изображение сделано с помощью сканирующего электронного микроскопа.

на размножение, затем они созревают и приобретают способность чувствовать «запах» воспаления, в результате чего они устремляются к месту, где образовалась рана или началось заражение. Они двигаются по кровеносным сосудам, которые тоже связаны с лимфатическими узлами, а выходя в поврежденную ткань, буквально раздвигают клетки сосудов.

Но первыми в очаг воспаления из кровотока устремляются нейтрофилы, относящиеся к врожденному иммунитету. В этот момент в лимфоузлах еще только начинают готовиться Т-лимфоциты, которые позже также придут к месту заражения, если нейтрофилы и другие клетки врожденного иммунитета с инфекцией не справятся.

— **То есть адаптивный иммунитет запускается в случае, когда врожденный не справляется.**

— И да, и нет. По сути, он запускается сразу же, по умолчанию. Однако пока защитные лимфоциты размножатся, созреют и придут, патогена к этому моменту в ткани может не остаться. Тогда лимфоциты включают программу программированной клеточной гибели.

— **Самоуничтожения?**

— Верно. Таким образом, у нас после каждого иммунного ответа (в том числе и на вакцинацию) сначала наблюдается пик лимфоцитов, а затем резкий спад. В генах этих клеток заложена программа, которая при отсутствии определенного молекулярного сигнала, который связан с присутствием патогена, запускает процесс самоликвидации. Но важнейшее свойство адаптивного иммунитета — образование лимфоцитов памяти, которые могут помнить о той инфекции (или вакцинации), которая имела место десятки лет назад.

— **А что насчет цитокинового шторма? Почему иммунная система не может остановить клетки в этом случае?**

— Цитокиновый шторм относится к врожденному иммунитету и воспалению. Цитокинов — небольших регуляторных белков — у нас около

сотни. Но «штормят» те цитокины, которые регулируют воспаление, поскольку воспаление — важный компонент защитной реакции. Если воспалительных цитокинов слишком много, то при неадекватно сильной реакции на патоген все признаки воспаления, о которых говорилось выше, многократно усиливаются. Вообще, если говорить об инфекционных заболеваниях, здесь выделяют две главные причины летального исхода для человека. Первая связана с деятельностью самого патогена — например, когда он размножается достаточно быстро, заражая и убивая ключевые клетки организма. Как вариант: патогенная бактерия производит некую токсическую молекулу, которая действует на другие жизненно важные органы.

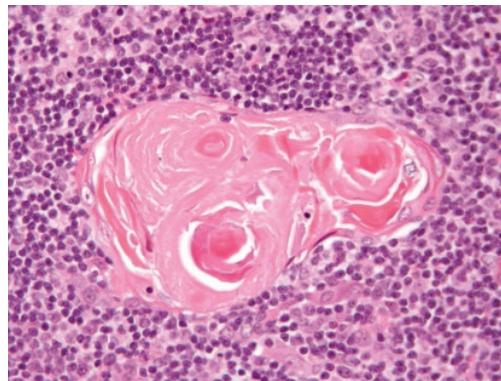
Вторая причина — инфекция запускает защитный ответ, при котором иммунная система не оптимально регулируется (это может происходить и из-за действия инфекционного агента) и дает неконтролируемые реакции типа цитокинового шторма. Когда концентрации цитокинов, которые нужны для запуска «правильного» воспаления, превышают пороговые значения, может возникнуть системное воспаление. А оно приводит к тому, что затрагиваются практически все органы, приводя к тяжелым последствиям и даже смерти.

— **У адаптивного иммунитета бывают такие «поломки»?**

— У адаптивного иммунитета есть другая существенная проблема. Из-за того, что адаптивная иммунная система случайным, принципиально стохастическим образом производит рецепторы, некоторая их часть может распознавать наши собственные клетки как чужеродные.

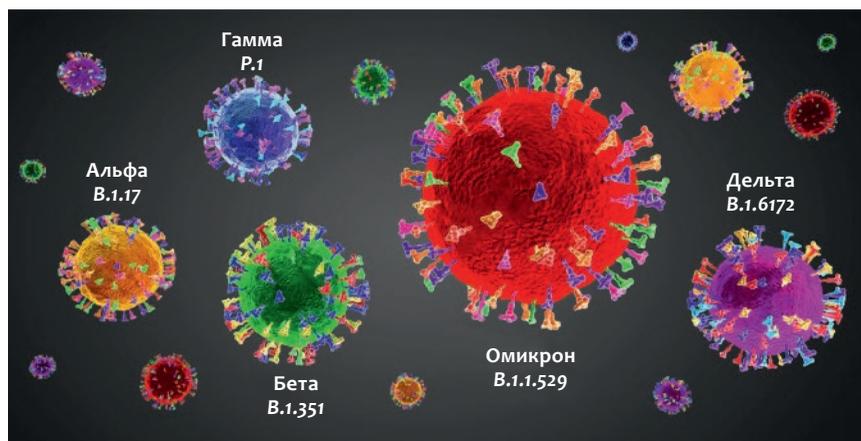
— **Почему так происходит?**

— Начну с того, что у каждого из нас за грудной расположен небольшой орган под названием тимус. Раньше, когда о его функциях знали мало, во время детских операций на сердце хирурги его попросту удаляли (он мешал!), поскольку считалось, что человек вполне может прожить без него. Однако в дальнейшем выяснилось, что этот орган



**Тимус человека:** передняя часть (слева), задняя часть (в середине). Окрашенный гистологический препарат — видны концентрические тельца мозгового вещества тимуса (справа).

Ученые работают над созданием вакцин, обеспечивающих перекрестную защиту от новых вариантов SARS-CoV-2. Графическое 3D-изображение. Относительные размеры вирусных частиц показаны условно.



выполняет важную функцию в иммунной системе, более того, тимус — первичный лимфоидный орган.

Как я уже сказал, лимфоциты образуются в костном мозге, в больших трубчатых костях — втором первичном лимфоидном органе. Незрелые Т-лимфоциты направляются оттуда как раз в тимус и там, говоря популярным языком, они «обучаются». Именно в тимусе лимфоциты получают информацию о собственных антигенах организма — антигене глаза, антигене уха, антигене сердца и т.д. Лимфоциты, которые «плохо учились» и продолжают реагировать на собственные антигены, самоубийчжогаются с использованием механизма программируемой клеточной гибели, но этот механизм не работает на 100%.

В идеале оставшиеся в живых Т-лимфоциты способны распознавать «чужое», так как все те, кто распознавал «свое», должны были погибнуть. И если вирус попадает в организм, то с большей вероятностью найдется такой лимфоцит, который распознает его как потенциальный патоген.

Поэтому, если говорить о «поломках» адаптивного иммунитета, сам стохастический принцип образования иммунных рецепторов приводит к тому, что каждый из нас имеет предрасположенность к аутоиммунным заболеваниям. Однако от аутоиммунитета нас защищает специальный регуляторный механизм, который тоже способен давать сбой.

Между тем не только сбой в работе иммунной системы, но и инфекции могут привести к аутоиммунным реакциям. Напомню, что лимфоциты своими рецепторами распознают кусочки белковых молекул. Это аминокислотные цепочки (пептиды) длиной порядка десяти звеньев, и такие короткие кусочки наших белков могут случайно совпасть с кусочками белков какого-либо сложного вируса, спровоцировав тем самым аутоиммунную реакцию. Тогда лимфоциты будут поражать не только зараженные вирусом клетки, но и собственные клетки организма. Скажем, есть гипотеза, что

рассеянный склероз может быть связан с аутоиммунной реакцией, индуцированной вирусом Эпштейна — Барр.

Другая интересная особенность связана с тем, что у нас в геноме находятся тысячи копий ретровирусов. Зачем они туда встроились, не совсем понятно. Большая часть вирусов, присутствующих в геноме, дефектны, однако существуют и такие, которые могут привести к образованию вирусных частиц. Так вот, есть недавние данные о том, что инфекция SARS-CoV-2 может активировать ретровирусы.

**— В 1970-е гг. мир узнал о Дэвиде Веттере, «мальчике в пузыре», у которого было серьезное генетическое заболевание — тяжелый комбинированный иммунодефицит. Что известно о подобных заболеваниях сегодня?**

— В медицинской практике действительно и сегодня встречаются подобные заболевания. Генетические дефекты (причем, их довольно много — разных) нарушают нормальное развитие иммунной системы. В результате у родившегося ребенка могут отсутствовать или почти отсутствовать Т-лимфоциты, могут быть дефектны В-лимфоциты и т.д.

В настоящее время подобные заболевания, называемые первичными иммунодефицитами, во-первых, умеют выявлять с помощью генетической диагностики на ранней стадии, во-вторых, лечат с помощью пересадки костного мозга, который должен запустить нормальное кроветворение и выработку функциональных лимфоцитов. Однако подобные операции небезопасны и требуют идеальной совместимости костного мозга донора и пациента. Кстати, поэтому во всем мире огромное значение имеют реестры людей, которые добровольно типировали свою иммунную систему на случай, если их костный мозг кому-то понадобится.

Сегодня огромные надежды возлагают на развитие генной терапии. С точки зрения молекулярной биологии в идее исправления дефекта с помощью введения нормального гена все просто и логично. Но пока к существующим стратегиям

и практическим технологиям подобного лечения есть вопросы. Так или иначе, это будущее медицины, но пока сложно сказать, когда оно наступит.

— **Сейчас, когда мир охвачен пандемией, все немало забыли о других заболеваниях. Какие исследования вы проводите в области онкологии? Как иммунная система действует в этом случае?**

— Иммунная система, конечно, реагирует, если раковая клетка для нее «чужая». Еще в прошлом веке велась большая дискуссия, может ли иммунная система распознавать раковые клетки и если да, то как.

Оказалось, что раковая клетка может быть распознана в том случае, если в каких-то генах наших белков и самих белках произошли изменения (мутации). Тогда один из пептидов такого «ракового белка» будет выставлен на поверхности клетки и распознан как чужеродный. Подобное распознавание происходит в так называемых высокоиммуногенных опухолях, в которых много мутаций, и именно для них иммунотерапия работает очень эффективно. Но существует большое количество опухолей, при которых иммунной системе особенно нечего распознать, вот в чем проблема.

Раковая клетка в самом широком смысле — это клетка, у которой нарушены механизмы контроля нормального клеточного деления. Поэтому одна из стратегий терапии онкологических заболеваний состоит в том, чтобы активировать в раковых клетках программу клеточной гибели — например, с помощью облучения.

Кроме того, опухоль создает внутри себя некое токсическое микроокружение, которое не дает работать иммунной системе. Образуется супрессорная сеть, напоминающая дымовую завесу, которая подавляет активность главной ветви клеточного иммунитета — Т-лимфоцитов. Кстати, за концепцию терапевтических антител, которые блокируют молекулы, участвующие в создании такого супрессорного микроокружения, Джеймс Эллисон из США и Тасуку Хондзе из Японии получили Нобелевскую премию в 2018 г. Их открытия позволили разработать новые подходы к лечению некоторых злокачественных опухолей.

— **В иммунологии еще остались вопросы, за решение которых можно получить большие награды?**

— Да, без сомнений. Если проанализировать награды прошлых лет, за открытия в области иммунологии Нобелевскую премию присуждают очень часто — примерно каждые семь лет. Многие фундаментальные открытия в иммунологии пока еще ждут своих наград. Еще живы, но не удостоены Нобелевской премии ученые, которые открыли Т- и В-лимфоциты и установили иммунологическую функцию тимуса. Это просто уму непостижимо! А помимо уже сделанных открытий есть целый непечатый край загадок.

Вообще, за всю историю развития иммунологии произошло несколько значимых революций. Одна из них случилась совсем недавно, на рубеже веков, и связана с закономерностями активации адаптивного иммунитета врожденным. Это подводит нас к понятию «адьювант».

Адьювант — это нечто такое, без чего не будет работать никакая вакцина. В частности, был эмпирически найден адьювант Фрейнда для иммунизации экспериментальных животных, который содержал сушеные палочки Коха, то есть убитые бактерии, вызывающие туберкулез. Понимание того, как это работает, было получено относительно недавно. По сути, адьювант обманывает иммунную систему, заставляя ее думать, что организм заражен туберкулезом. Поэтому включаются механизмы врожденного иммунитета, которые с помощью дендритных клеток, переместившихся в лимфоидные органы, запускают активацию лимфоцитов, то есть адаптивную ветвь иммунитета. Поскольку вместе с адьювантом были введены еще и компоненты конкретного вируса или бактерии, защитная иммунная реакция развивается и против этих патогенов. По этому принципу работают все современные вакцины (включая мРНК-вакцины, субъединичные и т.д.). Даже цельный убитый вирус без адьюванта не даст эффективную иммунную реакцию. На сегодня это целая область науки, которая изначально была исключительно экспериментальной и только потом встала на фундаментальные рельсы. В наши дни ученые создают адьюванты из самых разных организмов, находят синтетические структуры, которые будут эффективно активировать врожденную ветвь иммунитета, но так, чтобы не вызывать сильных реакций, похожих на бесконтрольный цитокиновый шторм.

— **А какие адьюванты используются в вакцинах от коронавируса?**

— В первую очередь, это соли алюминия, так называемые алюминиевые квасцы. Почему они работают, было выяснено только примерно десять лет назад. Был обнаружен внутриклеточный рецептор врожденного иммунитета, который активируется при введении квасцов. Но существуют и другие природные и синтетические адьюванты.

— **То есть до этого их просто применяли, не задумываясь о специфике действия?**

— Да, они были найдены эмпирическим путем. Такое в экспериментальной науке случается часто.

Другое интересное направление связано с исследованием связей между разными системами нашего организма. Проще говоря, ученые изучают, кто с кем «разговаривает» и с помощью каких молекул, на системном уровне. Сегодня это один из главных вызовов для иммунологов. ■

**Беседовала Анастасия Рогачева**



ИНТЕРНЕТ-ПОРТАЛ

# Научная Россия



Взгляд на науку  
с пристрастием

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

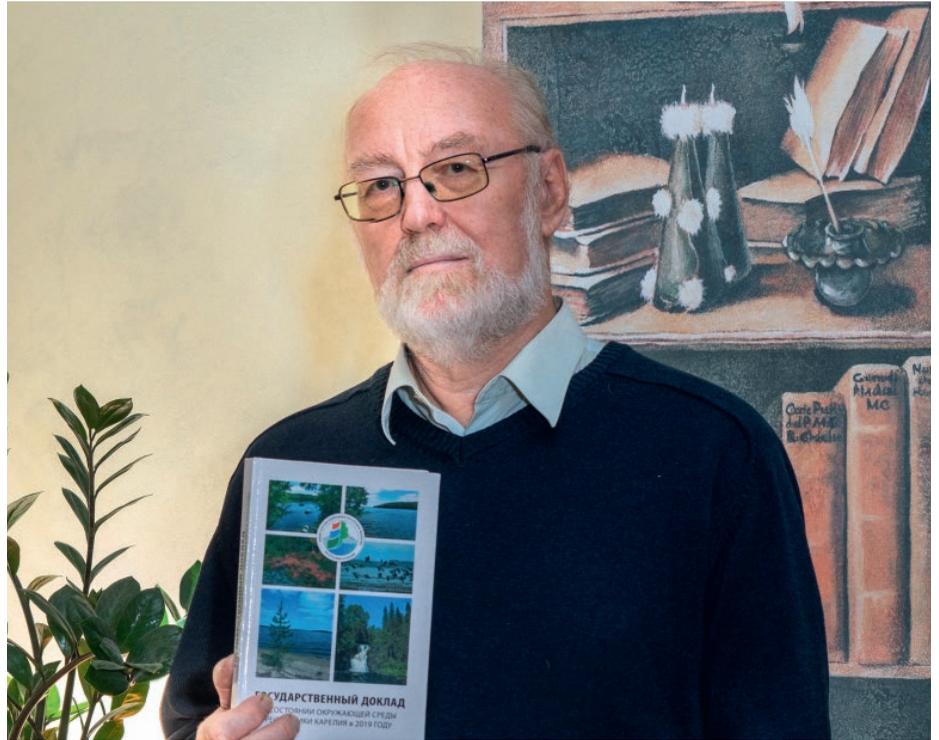
[scientificrussia.ru](http://scientificrussia.ru)

БИОЛОГИЯ

# ГЛАВНЫЕ ЛЕГКИЕ НАШЕЙ ПЛАНЕТЫ – ЭТО БОЛОТА



Болота хранят память о прошлом Земли на протяжении миллионов лет и служат домом для многих животных, включая редкие виды водоплавающих птиц.



Доктор биологических наук О.Л. Кузнецов

О

сложном болотном мире — наш разговор с доктором биологических наук **Олегом Леонидовичем Кузнецовым**, главным научным сотрудником лаборатории болотных экосистем Института биологии Карельского научного центра РАН.

— **Что отличает болота от других экосистем?**

— Болотные экосистемы — очень специфические природные образования. Перечислю три их отличительных компонента: высокая влажность, особый растительный покров и процесс торфонакопления. Функционирование болот, своеобразие накопления торфа в них связаны с анаэробными, то есть бескислородными условиями в почвенном слое. Отмирающие остатки растений не полностью разлагаются, и часть из них накапливается в виде торфа. В этой аккумуляции части органического вещества и заключается уникальная роль болот, в том числе в регулировке углеродного баланса на нашей планете.

— **Чем было обусловлено появление болот на Земле?**

— Важными условиями появления болот на нашей планете были теплый климат и выход растений на сушу, который произошел в девоне (*девонский геологический период начался*

*419 млн лет назад и закончился 359 млн лет назад. — Примеч. авт.*). Затем последовал карбон, продлившийся 65 млн лет. Именно в карбонный период, то есть около 400 млн лет назад, существовали огромные тропические папоротники, древние хвощи и деревья высотой до 30 м, которые падали во влажные тропические болота, превращаясь в торф. Затем на протяжении многих миллионов лет этот торф постепенно углефицировался и превращался в каменный уголь.

Итак, первые тропические болота появились на Земле 400–450 млн лет назад. Они существуют и сейчас, но там произрастают уже совсем другие виды растений. В нашей бореальной зоне также очень высокое разнообразие болот: есть моховые, травяные и лесные болота, при этом их возраст составляет не более 10–12 тыс. лет. Разнообразие болот по всему миру менялось в ходе геологической истории, и те болота, которые мы имеем сейчас, сильно отличаются от своих предшественников.

— **И, собственно, благодаря древним болотам мы имеем сегодня хорошо сохранившиеся образцы палеофауны. За счет чего достигалась такая замечательная консервация?**

— Столь удивительной сохранности древних животных способствовали анаэробные, или бескислородные, условия. Да, немалая часть современных палеонтологических находок была обнаружена благодаря болотам. Чтобы тело животного сохранилось хорошо и надолго, болото должно быть довольно глубоким — нужно, чтобы организм, который туда упал, сразу же попал в анаэробную среду. Нередки и находки в болотах древних людей.

— **Какие, например?**

— В одной только Европе были сделаны тысячи таких находок. Но, пожалуй, наиболее известная из них — так называемый толлундский человек, найденный в Дании в 1950 г. Его тело было обнаружено в одном из торфяных болот в Толлунде на полуострове Ютландия. Мужчина ушел из жизни примерно в IV в. до н.э. Тело пролежало в болоте 2,4 тыс. лет, но даже его внутренние органы оказались в сохранности!

На болотах очень часто работают археологи, ведь древние люди нередко селились близ водно-болотных угодий. Так что болота сегодня — это своеобразные архивы динамики природы, и в этом тоже заключается их уникальность. Кроме того, торфяные отложения стали объектом исследования палинологов и палеогеографов, которые с их помощью пытаются восстановить динамику растительности и климата в разные эпохи на Земле. В торфе прекрасно сохраняются не только тела животных, но и остатки растений, в том числе их пыльца и споры.

— **На какую же глубину должно упасть живое существо, чтобы оно хорошо сохранилось?**

— Достаточно 30–40 см. Главное, чтобы не было проточности воды и поступления кислорода.

— **Насколько я знаю, особенно хорошей сохранностью славятся болота Карелии. А что еще в них уникального?**

— Карелия — один из сильно заболоченных регионов нашей страны. Но мы тем не менее не можем сравниться, например, с Западной Сибирью, где болота занимают вообще сотни миллионов гектаров.

Карелия очень богата разнообразными типами болот. Во многом это достигается благодаря послеледниковому пересеченному рельефу этой территории: много понижений рельефа, котловин, логов и т.д. Активное заболачивание Карелии началось около 10 тыс. лет назад по мере отступления ледника с ее территории. Все эти неровности рельефа с мелководными озерами, а потом уже со спущенными озерами стали зарастать влаголюбивой растительностью, началось накопление торфа. Сегодня болота занимают 30% территории Карелии.

— **Получается, что карельские болота сформировались в то время, когда закончился последний ледниковый период на Земле?**

— Да. И, начав расти тогда, они по-прежнему набирают обороты. Процессы заболачивания территории продолжают.

— **Раньше карельский мох активно использовался во время строительства, например при прокладке бревен в храмовых комплексах на острове Кижь. А как обстоят дела сейчас? Кто-нибудь конопатит дома карельским мхом?**

— Это не исчезло. Дело в том, что во всех северных регионах в таежной зоне сфагновый мох вместе с зеленым мхом (кукушкин лен, неломкий и более жесткий) издавна



Отбор образцов торфа для анализа (слева); верховое болото со вторичными озерками (Прибеломорская низменность)

и по настоящее время используют как прекрасный теплоизолятор в разных постройках. И второй важный момент: мхи считаются еще и хорошими антисептиками, предохраняющими древесину от гнилостных бактерий, грибков, потому что содержат фенольные вещества, основное из которых — сфагнол.

Научная сотрудница нашей лаборатории М.А. Бойчук изучала состав мхов, которые использовались при прокладке бревен в разных постройках на острове Кижы и в прилегающих деревнях Заонежья. Она выявила 18 видов разных сфагновых и зеленых мхов. В основном использовались мхи, растущие на болотах, но встречаются и такие, которые заготавливались со дна озер. На острове Кижы есть мелководный залив, который называется Мошгуба, то есть Моховая губа. Так вот, в кижских соборах в основном использовались зеленые мхи, которые вылавливались длинными граблями со дна этой Мошгубы.

**— Это же сколько мха нужно на одну церковь!**

— Немало, конечно. С болот и берегов озер мох доставляли целыми возами, благо, этого добра на болотах много и на строительство хватало. Мох заготавливали заранее, просушивали специальным образом. В северных деревнях при строительстве люди и по сей день используют болотный мох. И, знаете, он даже лучше, чем все эти современные минеральные ваты и наполнители. Кроме того, в составе мхов содержится натуральный антисептик, так что в пазах между бревнами в постройках нет процессов разложения, гнилостные микроорганизмы и грибки там не поселяются.

**— Известно, что мох вносит основной вклад в образование торфа — столь ценного ресурса. Торф — это возобновляемое сырье?**

— Торф может накапливаться сотни лет — настолько медленно, что не очень понятно, можно ли назвать его возобновляемым ресурсом. От годичной продукции, от тех растений, которые поступают и отмирают на болоте, в процессе торфонакопления остаются задействованными только 10–15% от общей массы, а остальные 85–90% минерализуются до воды и углекислого газа. Поэтому в мире вопрос о том, возобновляем торф или нет, остается дискуссионным как в научном плане, так и в экономическом и политическом.

В ряде стран, например в той же соседней Финляндии, торф до сих пор широко



Использование мхов как утеплителей в деревянных постройках Кижей (вверху) и их основные виды (справа внизу)

используется как топливо. В Финляндии этот вопрос сейчас очень остро обсуждается, так же как и в Евросоюзе в целом. При планировании и организации добычи торфа в каждой отдельной стране и в каждом регионе объемы заготовок должны соотноситься с ежегодным приростом торфа. В энергетике будущего торф не сможет и не должен играть очень важную роль. При этом торф — прекрасное сырье для более глубокой химической переработки: в его составе битумы, смолы и многие другие компоненты. А главное, торф — это углеводы. Моховой торф низкой степени разложения, так называемый очес, используется как тепличный грунт и подстилка в животноводческих помещениях. Миллионы тонн такого торфа широко применяют в теплицах Европы: в Голландии, Дании и т.д. Раньше поставщиком этого торфа была в основном Ирландия, но у них этот ресурс уже практически исчерпан и сейчас моховой торф поставляют в основном страны Балтийского региона. Не забудем и про антисептические свойства такого торфа, потому что сфагнол и другие фенольные соединения препятствуют развитию различной гнили в теплицах, а на животноводческих фермах в значительной степени обеззараживают стоки.

**— У торфа действительно огромная область применения.**

— Да, и я перечислил лишь малую часть. Еще один вид торфа низкой степени разложения, так называемый белый торф, — это прекрасное сырье для гидролиза: он легко расщепляется с помощью обработки серной кислотой, образуется сладкая патока и при ее дальнейшей

*Warnstorfia exannulata**Scorpidium scorpioides**Scorpidium cossonii**Polytrichum commune**Drepanocladus aduncus*

переработке возможно производство спиртов, кормовых дрожжей и других продуктов. Использование торфа очень многогранно. Он также прекрасный изоляционный материал, с его добавлением производятся теплоизоляционные плиты. Еще одна важнейшая функция торфа — он прекрасный поглотитель, у него огромная абсорбционная способность. Поэтому все нефтяные загрязнения, разливы нефти и других веществ или очистка загрязненных жидкостей от тяжелых металлов — это опять же различные торфяные фильтры, торфяные субстраты. В этом отношении торф с его огромной водоудерживающей и абсорбционной способностями незаменим.

Кроме того, болота — это и естественные природные фильтры. Загрязненные стоки предприятий, животноводческих комплексов, в которых содержатся тяжелые металлы, другие

загрязняющие вещества, сливаемые иногда на болота, не попадают в водоемы именно благодаря болотам, которые могут поглотить до 90% загрязняющих компонентов. Все мы знаем, что многие наши реки, в том числе крупнейшая в Европе река Волга, вытекают из болот. Болота — это естественные биофильтры для нашей воды.

**— Болота — это еще и сток углекислого газа на нашей планете. Хотя, с другой стороны, болота выделяют метан — один из сильнейших парниковых газов. Так чего все-таки больше: пользы или вреда?**

— Оба этих процесса связаны с естественным функционированием болот. Процессы разложения органических веществ в глубоких частях торфяных залежей в анаэробных условиях действительно приводят к образованию метана, который частично выделяется в атмосферу. Если верхний слой торфа не залит водой, в нем есть кислород и метаноокисляющие бактерии, основная масса метана окисляется до углекислого газа и он поступает в атмосферу. Это характерно для сфагновых кочек и гряд на разных типах болот. На топких участках болот с водой на поверхности или около нее в верхнем слое торфа нет кислорода и окисления метана. Показатели по эмиссии метана для разных типов болот различаются в сотни раз, это можно наблюдать на расстоянии всего в несколько метров в различных грядово-мочажинных комплексах.

Роль болот в стоке углекислого газа в планетарном масштабе важнее, чем

роль болот как поставщика метана, — то есть пользы все-таки больше. Все эти вопросы сейчас активно обсуждаются учеными в связи с потеплением климата и таянием вечной мерзлоты в наших арктических широтах, где мы имеем миллионы гектаров мерзлых бугристых болот. Когда происходит протаивание вечной мерзлоты, разрушение этих бугристых болот, активизируется процесс вторичного разложения торфа и эмиссия метана там значительно усиливается.

Во многих странах ведутся масштабные исследования роли болот в углеродном балансе планеты, предстоит еще очень много работы. Известно, что при связывании растениями в процессе фотосинтеза 1 т углерода (3,67 т  $CO_2$ ) образуется 2,67 т кислорода, большая часть которого поступает в атмосферу. Часть органического вещества, поступающего на болотах



На маршруте у болотного озера

в торфогенный слой, аккумулируется в торф. В разных типах бореальных болот это составляет 15–65 г на 1 м<sup>2</sup>, но в масштабах России это не менее 30–50 млн т в год. Аккумуляция торфа, или роль болот в поддержании углеродного баланса на планете, крайне важна, и если мы будем их осушать, осваивать, то выделение углекислого газа значительно возрастет в связи с активной минерализацией торфа. Подытоживая, скажу: основная и наиболее ценная функция естественных болот — поглощение углерода (углекислого газа). Болота поглощают в как минимум в два раза больше CO<sub>2</sub>, чем бореальные леса.

— **То есть в каком-то смысле легкие нашей планеты — не деревья, а болота?**

— Да. Именно в регулировании углеродного баланса заключается уникальная биосферная роль болот. По оценкам экологов, естественная функция болот на порядок ценнее и важнее, даже в денежном выражении, чем использование их торфяных и других ресурсов, которое может привести к нарушению их естественного функционирования.

— **Расскажите, пожалуйста, о флоре карельских болот.**

— Флора болот специфична, там произрастают влаголюбивые виды растений, в основном те, что могут обходиться без кислорода за счет особого строения корневых систем: воздух они перекачивают по корневищам.

Болота у нас очень разные: от очень бедных верховых вод с бедными кислыми почвами до ключевых болот с их богатыми карбонатными водами, где произрастают многие виды орхидных растений — на болотах Карелии их около 20 видов. В целом флора болот Карелии — это более 300 видов сосудистых растений и около 130 видов мхов, включая целый ряд краснокнижных видов. Флора карельских болот крайне интересна. После отступления ледника более 10 тыс. лет назад к нам пришли растения из разных регионов: сибирские виды с востока, некоторые южные виды, северные арктические виды из Скандинавии, с Кольского полуострова и др. Многие из них находятся на границах своих ареалов и относятся к редким в регионе видам. В последнее издание Красной книги Республики Карелия, которое вышло в 2020 г. (я его главный редактор), внесены 144 вида сосудистых растений, 88 видов мхов и представители других групп растений и животных. Среди них значительное число обитают на болотах.

— **Возможно, благодаря уникальным флоре и фауне в последнее время популярность набирает такое направление, как болотный туризм?**

— Да, болота стали объектом и природного туризма, но в нашей стране это направление еще только начинает развиваться. А в западных странах, например в скандинавских, болотный туризм уже вовсю процветает.

Массовый туризм на болотах невозможен без прокладки троп. Через болота должны быть сооружены специальные мостки, по которым туристы смогут спокойно передвигаться. Обустройство маршрутов, как вы понимаете, — это очень большая работа.

Конечно, многих в первую очередь привлекают флора и фауна болот, но если растения увидеть довольно просто, то с животными все обстоит куда сложнее. Гуси, лебеди, кулики, журавли и другие птицы — очень чуткие и, конечно, никого к себе не подпустят. В летнее время на болотах спасаются от кровососущих насекомых осторожные северные олени. Они приходят на болота, потому что открытые части болот всегда обдуваются ветром, а гнус, в том числе надоедливые комары, водится в основном на облесенных территориях.

Болотный туризм требует финансовых вложений. У нас в заповеднике «Костомукшский» проложены болотные тропы. В национальном парке «Паанаярви» тоже уже устроены маршруты с мостками через болота. В то же время в соседней Финляндии гораздо больше троп на болотах — думаю, около сотни.

Особенно интересное направление — бердинг-туризм, или наблюдение за птицами. Для всех любителей птиц, включая туристов и профессиональных орнитологов, на краю болот или на сухих лесных островах среди болота строятся специальные башни — наблюдательные пункты. Успешный пример такого туризма можно найти в Норвегии, где я работал в приграничном российско-норвежском заповеднике «Пасвик». Там по обе стороны границы построены специальные башни для наблюдения за птицами, а внутри этих башен — бинокли, определители птиц, журналы для записи наблюдений, книги по теме и т.д. Каждый турист обязательно должен

сделать запись в журнале о том, какие виды птиц и в каком количестве он наблюдал. Эта информация важна для ученых. Но, конечно, для России это пока дело будущего. Очень много времени, сил и средств нужно на обустройство таких туристических маршрутов.

В «Пасвике» его знаменитая орнитологическая вышка не стоит прямо на болоте, а находится на маленьком островке — острове Варлама. Она была построена на средства Всемирного фонда дикой природы. На открытие этой вышки в 1995 г. приезжал принц Филипп, муж королевы Великобритании, который ушел из жизни в прошлом году. На момент открытия вышки он был президентом Всемирного фонда дикой природы и путешествовал по заповедникам разных стран.

**— А для вас болота — это, наверное, место силы. Приходите туда просто отдохнуть?**

— Знаете, есть такая присказка: «Почему ботаники находят деньги чаще, чем другие? Да потому что они под ноги все время смотрят!» Вот так и я, придя на болото, даже просто на прогулку, все равно смотрю под ноги: выискиваю, какой мох или мелкая травка передо мной, слежу за тем, куда нога ступает, и т.д. — это уже профессиональное. С нетерпением жду каждого нового сезона: несмотря на возраст, хочется приходить на болота вновь и вновь. Это уже моя жизнь. Так сложилось, что даже моя дача находится рядом с болотом. Я часто хожу туда собирать морошку, хоть эта ягода и очень капризная и плодоносит далеко не каждый год. Там же на болоте беру мох для компоста. Вот такое практичное использование болота уже в своих личных целях. Так что без болот ни в науке, ни в жизни мне не обойтись. ■

**Беседовала Янина Хужина**



**Тонкие** труднопроходимые болота — место гнездования многих водно-болотных птиц, среди них серый журавль, лебедь-кликун, некоторые кулики, утки и другие пернатые. Морошка — самая дорогая карельская ягода. Из-за неповторимого вкуса ее прозвали северным ананасом.

КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

# КАПРИЗЫ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ

В околоземном пространстве есть и свои бури, и солнечный ветер, и даже свой дождь — явление, наблюдаемое в полярной ионосфере Земли. И пока мы сетуем на холод и зной, в космосе проявляются более масштабные капризы погоды.





**Б**

еседуем об этом с членом-корреспондентом РАН **Анатолием Алексеевичем Петруковичем**, директором Института космических исследований РАН.



Член-корреспондент РАН А.А. Петрукович

— **Анатолий Алексеевич, что входит в понятие «космическая погода»?**

— Космическая погода — это состояние околоземного космического пространства. Есть несколько главных ее составляющих. Галактические космические лучи — это высокоэнергичные протоны, электроны, тяжелые ядра, которые прилетают к нам извне Солнечной системы, вплоть до других галактик. Солнечный ветер — это поток плазмы, выходящий из короны Солнца. Именно он ответственен за магнитные бури на Земле. Наконец, солнечные вспышки создают спорадические потоки рентгеновских и ультрафиолетовых квантов и солнечных космических лучей.

Все эти явления возбуждают собственную активность в магнитосфере Земли, то есть процессы накопления и сброса энергии, которые мы называем магнитными бурями. Во время магнитных бурь увеличиваются радиационные пояса Земли, усиливаются полярные сияния, вариации геомагнитного поля.

— **Только Солнце формирует космическую погоду?**

— Солнце, конечно, главный игрок в Солнечной системе во всем. Солнце нагревает атмосферу, создавая перенос тепла между полюсами и экватором. В океане это проявляется в виде теплых и холодных течений. Совокупность

действия солнечного нагрева и вращения Земли формирует земную погоду. И даже находясь в Москве, мы ощущаем на себе последствия зарождения циклонов в экваториальной Атлантике, которые потом приходят в Европу.

Если говорить о космической погоде, то и здесь активность Солнца — главный, но не единственный фактор. Звезда генерирует и постоянный поток солнечного ветра, и спорадические вспышки, связанные с солнечной активностью. Но в контексте космической погоды очень важна и галактическая радиация, которая создает неблагоприятный фон для человека в открытом космосе.

И, конечно, магнитное поле Земли добавляет свои пять копеек и сильно модифицирует солнечное влияние, порождая собственные явления. Например, полярные сияния — это следствие именно динамики магнитосферы Земли. Ни на Марсе, ни на Венере ничего сопоставимого по яркости нет — именно потому, что нет собственного магнитного поля.

— **Поговорим подробнее о солнечном ветре. Что известно об этом явлении сегодня?**

— Известно довольно много. Надо сказать, что экспериментально его открыли после запуска первой межпланетной станции, которая преодолела силу тяготения Земли, — советского космического аппарата «Луна-1».

На спутнике установили приборы для измерения космической плазмы, которые впервые зарегистрировали некий поток, летящий от Солнца.

До этого существовали некоторые теоретические соображения, что подобный поток от Солнца должен быть. Они основывались на наблюдениях хвостов комет, а также на теоретических данных о динамике нашего плазменного светила. Однако конкретные параметры солнечного ветра — сколько плазмы вылетает, с какой скоростью — были определены только с помощью космических аппаратов.

С тех пор, начиная с 1960-х гг., ученые используют для анализа космической погоды данные регулярных измерений солнечного ветра, которые проводятся каждый день, каждую минуту. Сегодня мы точно знаем, как солнечный ветер формируется у Солнца, какова его структура при подлете к Земле.

— **Она не одинакова?**

— Нет. Солнечный ветер все время меняется. Например, на Земле сильные ураганы случаются редко. Однако каждый день мы ощущаем на себе «капризы» погоды, когда идет дождь или, наоборот, становится жарко. Так вот на Солнце такими «ураганами» можно считать солнечные вспышки. А ежедневная изменчивость космической погоды формируется именно вариациями солнечного ветра.

— **А известно, как и почему реализуются эти вариации?**

— С научной точки зрения солнечный ветер представляет собой истечение плазмы с поверхности горячего плазменного шара в космический вакуум.

Проще говоря, Солнце постоянно теряет малую часть своей массы. А поскольку Солнце — очень горячий шар, плазма истекает с некоторым ускорением. Она не остается в окрестностях звезды, а расширяется в бесконечность с постоянной скоростью примерно 400 км/с, что довольно много по земным меркам. С учетом расстояния от Солнца до Земли солнечный ветер достигает нашей планеты примерно за три дня. По пути этот ветер постоянно меняется, поскольку речь идет о хаотической турбулентной среде, которая живет своей жизнью. Солнечный ветер можно сравнить с горной речкой, в которой бурлят волны, происходят всплески. По пути он из-за своей внутренней динамики как будто структурируется в более или менее плотные участки,

которые движутся с большей или меньшей скоростью. Не забудем еще и про межпланетное магнитное поле, которое тоже постоянно варьирует. И вся эта совокупность флуктуаций все время «дышит» по мере движения от Солнца до Земли, где и начинает влиять на магнитное поле планеты. Когда солнечный ветер быстрее, воздействие на магнитное поле Земли больше; когда ветер более медленный, а межпланетное поле меньше, воздействие, соответственно, меньше.

— **Если солнечный ветер распространяется на такие большие расстояния, можно ли сказать, что мы все живем в атмосфере Солнца?**

— Да, именно так и есть. И на самом деле не только мы, но и самый далекий Плутон тоже находится в пределах атмосферы (точнее сказать — короны) Солнца. И граница этой так называемой гелиосферы проходит на расстоянии порядка 100 астрономических единиц, то есть 100 расстояний от Солнца до Земли. Примерно здесь солнечный ветер становится сравнимым со встречным потоком межзвездной плазмы и останавливается. В свое время американский космический аппарат «Вояджер» стал первым в истории аппаратом, достигшим границ гелиосферы и вышедшим за ее пределы.

— **На Земле нас защищает магнитное поле. Что происходит с планетами, у которых его нет?**

— Взгляните, например, на Марс или Венеру.

— **Здесь высокий уровень радиации.**

— Речь не только об этом. Действительно, магнитное поле Земли прежде всего защищает



На космическом аппарате «Арктика-М» установлен уникальный гелиогеофизический аппаратный комплекс ГГК-ВЭ, который измеряет значения магнитного поля Земли, космические потоки электронов и протонов

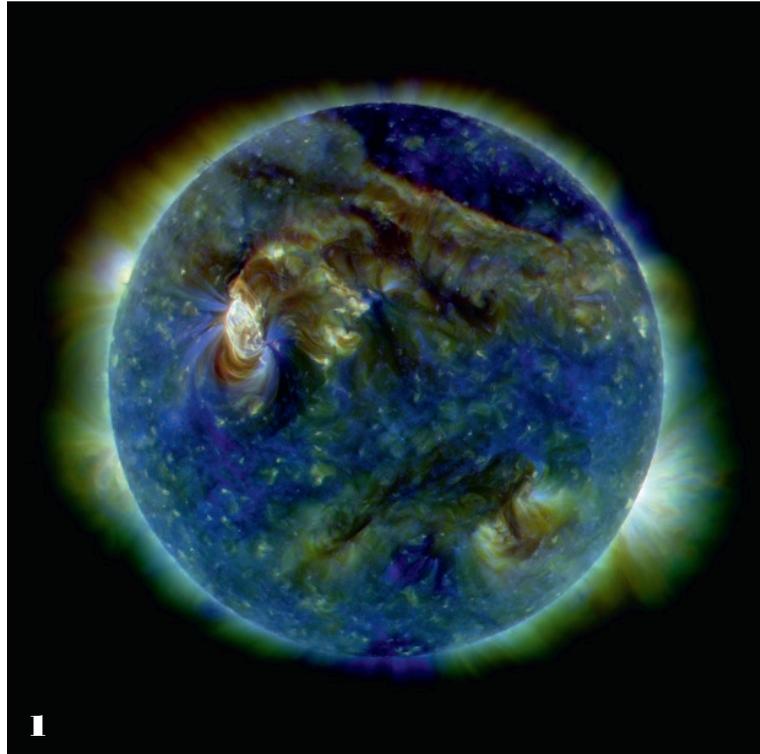
нас от солнечных и галактических космических лучей. Если бы его не было, космические лучи тормозились бы только атмосферой, которая на самом деле тоже достаточно хорошо защищает. Но при этом создается, как мы говорим, вторичное излучение, поток или ливень вторичных частиц, который с точки зрения своего разрушительного действия не менее опасен. Максимум этого вторичного излучения приходится на высоту примерно 10 км, и без защиты геомагнитного поля мы бы сегодня не могли пользоваться авиацией, поскольку современные пассажирские самолеты летают именно на таких высотах.

Плюс ко всему не существовало бы магнитных бурь, поскольку эти явления — некий акт взаимодействия магнитного облака (плазменного сгустка, выброшенного после солнечной вспышки) с магнитным полем Земли. Солнечный ветер тормозился бы атмосферой Земли, как, например, на Марсе и на Венере. Постоянное трение солнечного ветра об атмосферу приводило бы к потере кислорода и водорода как наиболее легкой фракции в открытое космическое пространство. Согласно этой теории, при отсутствии магнитного поля Земли атмосфера планеты была бы иной: воды и кислорода было бы гораздо меньше, а жизни на Земле в привычном для нас виде не было бы вовсе. Так что магнитное поле на Земле пришлось очень кстати.

**— Известно ли, почему циклы солнечной активности равны примерно 11 земным годам?**

— С точки зрения физики цикл солнечной активности определяется генерацией магнитного поля во вращающемся Солнце. Это явление так называемого магнитного динамо описывается очень сложными уравнениями, которые до сих пор до конца не известны и решение которых указывает на наличие некоторой периодичности. Конечно, это не точная синусоида, которая сохраняется на протяжении многих веков. Речь идет только о том, что имеются некоторые характерные времена роста и разрушения магнитного поля. Именно периоды с максимальной свободной магнитной энергией и проявляются как максимумы активности.

Сегодня мы наблюдаем, как солнечная активность пошла на подъем. По темпу подъема мы можем лишь примерно предположить, какой будет солнечный максимум в ближайшие годы. При этом сложно сказать, когда будет следующий солнечный максимум — через девять лет, 11 или 13.



На самом деле подобный процесс генерации магнитного поля типичен не только для Солнца. Например, магнитное поле Земли эволюционирует схожим образом. Только эта периодичность составляет десятки и сотни тысяч лет. Поэтому обычные люди об этом ничего не знают. Однако геологи видят свидетельства подобных процессов. Мы можем восстановить данные о том, какое магнитное поле было на Земле миллионы лет назад, считывая остаточное магнитное поле из горных пород разных возрастов. Магнитные циклы — инверсии направления поля четко просматриваются.

**— Данные циклы характеризуются исключительно вспышками на Солнце? Или сюда включены и другие процессы?**

— На самом деле вспышки — это лишь наиболее катастрофическое и заметное следствие солнечной активности. Во время солнечных максимумов резко увеличивается число солнечных пятен. Сегодня мы совершенно четко восстанавливаем связь невидимого напрямую магнитного поля Солнца с пятнами и вспышками.

**— Как ученые объясняют наличие очень горячей короны Солнца и менее горячей поверхности звезды?**

— Хороший вопрос, ответа на который пока нет. Это один из великих вопросов физики космической плазмы, которые были заданы еще в середине XX в. Удовлетворительного ответа с тех пор так и не получили.



2

Откуда берутся электроны, вызывающие полярное сияние на Земле? Как ускоряется солнечный ветер? Как именно зарождается солнечная вспышка? Мы знаем примерную последовательность событий во всех случаях, но конкретный физический механизм, который отвечает за тот или иной результат, нам пока не понятен.

Действительно, температура поверхности Солнца равна примерно 6 тыс. К, а температура короны — 1,5 млн К. Как так получилось? Понятно, что есть некоторое расширение плазмы с поверхности, происходящее с ускорением. Однако какое уравнение ни напиши, нужного ответа не получается.

Согласно одной из теорий, в нижней части короны еще достаточно сильное магнитное поле создает плазменные волны, которые и ответственны за нагрев короны. Аналогичный механизм предлагают и для объяснения ускорения солнечного ветра.

#### — Как можно это проверить?

— Прилетев туда. Такое под силу только аппаратам-камикадзе, которые подлетают максимально близко, быстро проводят измерения и сторают.

Кроме того, остатки процессов ускорения сохраняются в колебаниях солнечного ветра, в его вариациях. Сегодня ученые активно анализируют измерения американского солнечного зонда *Parker Solar Probe*, приблизившегося к Солнцу настолько, чтобы еще можно было

1. На снимке, сделанном обсерваторией SDO, в экстремальном ультрафиолетовом диапазоне показано Солнце в момент вспышки 1 августа 2010 г. Разные цвета на изображении соответствуют разным температурам газа.
2. Внешняя атмосфера Солнца, или корона, наблюдаемая во время затмения.

выжить. Научное сообщество надеется, что уже в ближайшее время найдутся свидетельства, указывающие на процесс ускорения солнечного ветра, которые позволят уточнить существующие гипотезы.

— **Директор отдела гелиофизики NASA Никола Фокс однажды сказала, что «если Солнце чихает, то Земля подхватывает простуду». Насколько это реальное положение дел?**

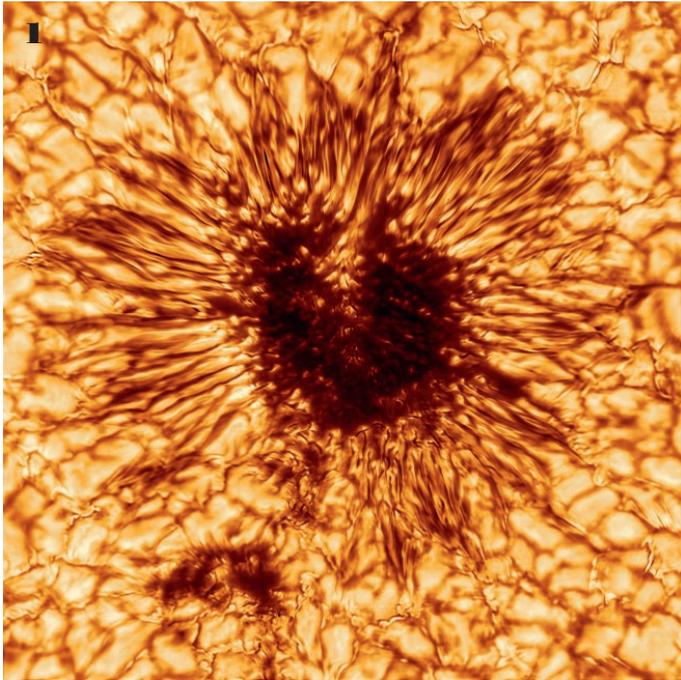
— Фраза красивая, но не совсем правильная. Земля реагирует, тоже чихает в ответ. Долго «болеть» Земля не будет. После солнечной вспышки прохождение магнитного облака мимо Земли длится около суток. Соответственно, и магнитная буря продолжается сутки-двое. То есть это краткосрочное явление, которое не вызывает длительных последствий.

— **Можно ли сказать, что вспышки становятся все сильнее и опаснее для нас?**

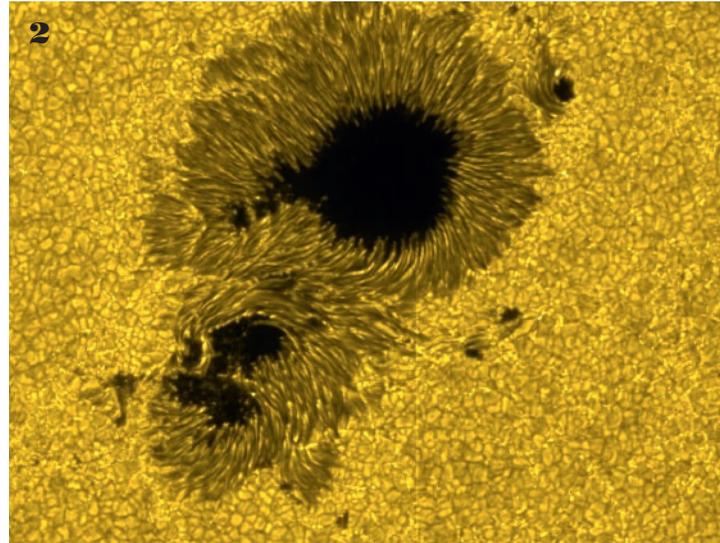
— Сами вспышки сильнее не становятся. Солнечный максимум, с которого началась моя научная карьера, пришелся на 2000-е гг. Он был достаточно интенсивный. Были как и сильные магнитные бури, так и слабые, которые происходили практически каждую неделю. О последних просто никто ничего не сообщал, поскольку научное сообщество следило лишь за самыми яркими событиями.

Солнечный максимум 2011 г. был гораздо слабее и с гораздо меньшим количеством вспышек и магнитных бурь. И тот, который наступит в ближайшие годы, явно будет слабым. Поэтому нельзя сказать, что количество или амплитуда солнечных вспышек увеличиваются. Скорее наоборот.

С другой стороны, их возможное влияние на земную жизнь действительно может расти. Но и в данном случае не все так однозначно. Например, наши средства связи довольно сильно эволюционируют, в том числе и в сторону снижения чувствительности к подобным явлениям. Вспомните телеграф, который появился в середине XIX в., и его провода повсюду. Это же идеальная антенна для восприятия электромагнитного сигнала от солнечной вспышки или магнитной бури! В дальнейшем мы перешли на коротковолновую радиосвязь, которая также была



1. Изображение солнечного пятна, окруженного грануляцией (снимок Солнечного телескопа им. Дэниела Иноуз, январь 2020).  
2. Группа пятен на Солнце, сфотографированная в видимом свете. Снимок получен 13 декабря 2006 г. на Солнечном оптическом телескопе спутника «Хинодэ». Эти пятна принадлежат активной области AR 10930, в которой в этот день произошла солнечная вспышка.



очень подвержена влиянию магнитных бурь. Но современные оптоволоконные линии связи, высокочастотная спутниковая связь гораздо менее чувствительны. Космические аппараты также становятся более надежными, мы лучше понимаем и как радиация влияет на электронику, и как защититься от нее. С другой стороны, именно космическая радиация ограничивает длительность пребывания человека в космосе, особенно при полетах на Луну и Марс.

— **Поговорим о другой загадке. Как образуются солнечные пятна? Что они собой представляют?**

— Солнечные пятна — это один из главных признаков солнечной активности. Солнце — вращающийся горячий шар, в котором постоянно реализуется конвекция: потоки горячей плазмы поднимаются вверх и охлаждаются в верхних слоях, опускаясь вниз. Комбинация конвективных потоков и вращения Солнца составляет, как мы говорим, механизм магнитного динамо. Генерируемое таким образом магнитное поле сбивается в сгустки, которые буквально всплывают на поверхность. Сильное магнитное поле в таких местах подавляет конвективное движение плазмы, препятствуя

переносу энергии. Тем самым формируется область с пониженной яркостью, выглядящая как темное пятно.

В период солнечного максимума этих сгустков или пятен на поверхности много. А в период солнечного минимума солнечных пятен практически нет.

Наблюдая за пятнами на Солнце, мы можем примерно предсказать, когда следует ожидать следующую вспышку. Ведь излишняя энергия, которая накоплена в солнечном пятне, обязана рассеяться, или диссипировать, как говорят физики. И рассеивается она в том числе с помощью солнечных вспышек. Таким образом пятно сбрасывает свою энергию и затем постепенно, за два-три оборота Солнца, пропадает.

— **То есть пятно — это предвестник вспышки?**

— Да. На крупных группах пятен со сложной структурой обязательно бывают вспышки, но когда именно они произойдут, предсказать невозможно. Есть только некоторая эмпирическая, то есть полученная опытным путем формула, которая учитывает сложность формы пятна, его площадь. Если структура обширная и сложная, вспышки наверняка последуют. Но когда точно произойдет вспышка — сегодня, завтра, или послезавтра, — определить нельзя. На сегодня это одна из главных проблем прогноза космической погоды. Затем в дело вступают спутники, которые могут предупредить о стремящемся к Земле солнечном ветре и позволят рассчитать силу магнитной бури.

— **Как направление космической погоды представлено в Институте космических исследований РАН?**

— Отмечу, что специализация Института космических исследований РАН — космические эксперименты. Мы создаем приборы,

которые предназначены для измерения каких-либо явлений в космической среде. Это и наблюдения Солнца, и измерения той плазмы, которая окружает космические аппараты и Землю. Помимо этого, в ИКИ РАН реализуются проекты для астрономических наблюдений, исследований планет Солнечной системы, дистанционного зондирования Земли, создается наземная и космическая аппаратура различного назначения.

Если говорить о солнечно-земной физике (так еще называют науку о космической погоде), в ИКИ делают приборы, которые измеряют солнечную радиацию, солнечный ветер, плазму магнитосферы и ионосферы Земли. После проведения экспериментов мы получаем огромный объем информации, который затем обрабатывают, сопоставляют с моделями и теоретическими представлениями, сравнивают с данными, полученными от других космических аппаратов, используют для разработки прогнозов солнечной активности и магнитных бурь. К сожалению, отечественных спутников для изучения космической погоды не так много. К счастью, на ближайшие годы запланирован запуск флотилии из четырех космических аппаратов для исследований ионосферы. Сейчас приборы для мониторинга космической погоды установлены и на новейший российский космический аппарат «Арктика-М». Надеемся в будущем получить и спутники наблюдения за Солнцем и солнечным ветром.

**— С какими из стран вы сотрудничаете в этом направлении?**

— Мы активно сотрудничаем с Европейским космическим агентством, NASA, японскими и китайскими специалистами. Отмечу, что, анализируя солнечные явления, важно учитывать реакцию Земли. В этом смысле нам помогают наземные наблюдения. С точки зрения влияния космических факторов самая чувствительная зона — Заполярье. Поэтому даже малые северные страны, не имея собственных спутников, вносят большой вклад в исследование космической погоды, например проводят измерения полярных сияний. Здесь мы работаем с данными, которые предоставляют Финляндия, Швеция, Канада.

В итоге мы получаем некоторую синергию между спутниковыми наблюдениями и наземными. Скажем, мы видим причины полярных сияний в космосе, а сами полярные сияния наблюдаем с Земли.

**— Вы упомянули, что солнечный ветер влияет на космические аппараты. А есть ли исследования, которые говорят о том, как он влияет на живые организмы?**

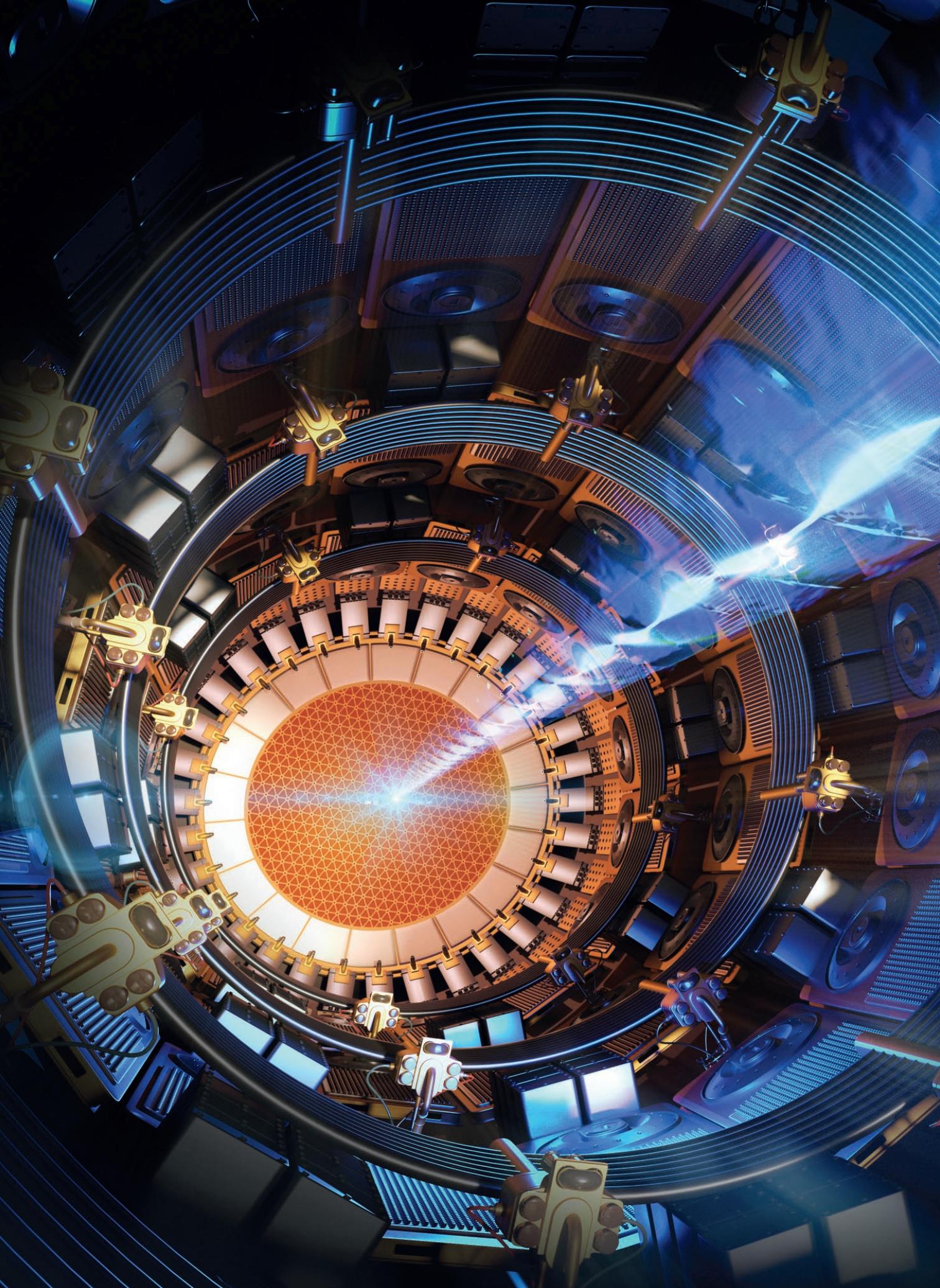
— Строго говоря, солнечный ветер как таковой на технику не влияет. Воздействие оказывают разные сопутствующие факторы. Если мы говорим о космических аппаратах, то это прежде всего радиация. С одной стороны, солнечный ветер слегка ослабляет галактические космические лучи. Плазма солнечного ветра формирует некий «пузырек» повышенной плотности и силы магнитного поля, который заворачивает назад часть галактических и космических лучей, прилетающих в Солнечную систему. С другой стороны, именно солнечный ветер вызывает магнитные бури, которые затем генерируют ливиную долю радиации, влияющей на околоземные спутники. Поэтому колебания солнечного ветра действительно создают угрозу для космических аппаратов.

С живыми существами сложнее. В космосе радиация, разумеется, опасна для космонавтов. Согласно этой же гипотезе, влияние солнечного ветра на человека на поверхности Земли можно считать нулевым.

При этом мы неоднократно слышим о влиянии магнитных бурь на состояние человека. Напомню, что магнитная буря на поверхности Земли — это прежде всего колебания магнитного поля Земли и связанные с ними вариации электрического поля. Значит, мы должны найти некий канал влияния этих колебаний на человека. А вот выстроить однозначную причинно-следственную связь между колебаниями геомагнитного поля и головной болью не получается, хотя статистика говорит, что некоторый эффект есть, люди действительно жалуются на недомогание, а многие врачи утверждают, что в периоды магнитных бурь возрастает количество обращений с сердечными заболеваниями. Однако преувеличивать не стоит.

Более того, как показывают наблюдения за отдельными добровольцами, которые годами носят холтер-мониторы для постоянных наблюдений за сердцем, люди очень индивидуально реагируют на магнитные бури: у кого-то давление растет, у кого-то падает. В этом смысле магнитные бури — скорее некий внешний раздражитель, который действует на всех по-разному. И предсказать это довольно сложно, по крайней мере на нынешнем уровне медицины. Исследования продолжаются. Пока ясно одно: эффект, возможно, есть, и самый надежный способ защититься от магнитных бурь — лучше следить за своим здоровьем. ■

*Беседовала Анастасия Рогачева*



КВАНТОВАЯ ФИЗИКА

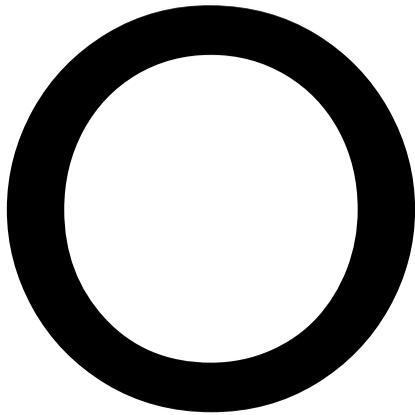
# БОМОВСКАЯ РАПСОДИЯ

Измерение времени, необходимого частицам для перемещения между двумя точками, может стать лучшей проверкой альтернативной квантовой теории

*Анил Анантасвами*

## ОБ АВТОРЕ

**Анил Анантасвами** (Anil Ananthaswamy) — автор книг «На краю физики» (*The Edge of Physics*), «Человек, которого там не было» (*The Man Who Wasn't There*) и «Через две двери сразу: изящный эксперимент, который высветил тайну нашей квантовой реальности» (*Through Two Doors at Once: The Elegant Experiment That Captures the Enigma of Our Quantum Reality*).



бманчиво простой эксперимент, включающий точные измерения времени, необходимого частице для перехода из точки *A* в точку *B*, способен привести к прорыву в квантовой физике. Полученные результаты могут привлечь внимание к альтернативе стандартной квантовой теории: механике Бома, которая постулирует скрытый мир невидимых волн, направляющих движения частиц в пространстве.

Новые исследования научной группы Мюнхенского университета им. Людвиг и Максимилиана (*L.M.U.*) в Германии дают точные предсказания для такого эксперимента с использованием формализма механики Бома. Эта теория была сформулирована физиком-теоретиком Дэвидом Бомом (David Bohm) в 1950 г. и дополнена современными учеными-теоретиками. Стандартная квантовая теория терпит неудачу в вопросе изучения времени прохождения частицы, и физикам для его расчета приходится прибегать к разным предположениям и приближениям. Теоретик и член научной команды *L.M.U.* Серж Аристархов (Serj Aristarhov) говорит: «Если бы люди знали, что теория, которую они так любят, — стандартная квантовая механика — не может делать точные предсказания в таком простом случае, то это должно бы было как минимум заставить их задуматься».

Ни для кого не секрет, что квантовый мир странен. Рассмотрим установку, в которой электронная пушка стреляет субатомными частицами по экрану, как в классическом «эксперименте с двумя щелями». Вы не можете точно предсказать, где тот или иной электрон приземлится, чтобы сформировать флуоресцентную точку. Но вы можете с точностью предсказать пространственное распределение, или рисунок, точек, которые формируются с течением времени по мере того, как электроны приземляются один за другим. В некоторых местах будет больше электронов, в других — меньше. Но за этой странностью скрывается нечто еще более странное. При прочих равных условиях

электроны достигнут детектора не одновременно, их так называемое время прибытия будет немного различаться. Так же как и положение, время прибытия обладает некоторым статистическим распределением: одни времена прибытия будут встречаться чаще, а другие реже. В учебнике квантовой физики нет описания механизма для точного прогнозирования этого временного распределения. «Нормальная квантовая теория касается только "где", но игнорирует "когда". Это один из способов диагностировать, что есть что-то подозрительное», — отмечает другой представитель научной команды *L.M.U.* Сиддхант Дас (Siddhant Das).

За этим любопытным недостатком теории кроется глубокая причина. В стандартной квантовой теории физическое свойство, которое можно измерить, называется «наблюдаемая». Так, положение частицы — это «наблюдаемая». Каждая «наблюдаемая» связана с соответствующей математической сущностью, называемой оператором. Однако в стандартной теории нет оператора для наблюдения за временем. В 1933 г. австрийский физик-теоретик Вольфганг Паули (Wolfgang Pauli) показал, что квантовая теория не может вместить оператор времени, по крайней мере в стандартном понимании этого слова. Он писал: «Таким образом, мы приходим к выводу, что от введения оператора времени <...> необходимо отказаться коренным образом».

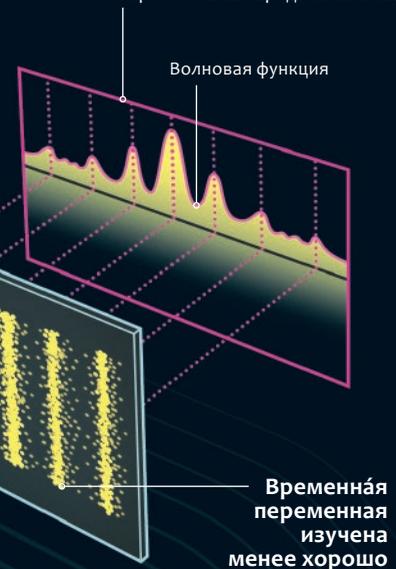
Тем не менее измерение времени прибытия частиц, или их времени полета, представляет собой важную часть экспериментальной физики. Детекторы Большого адронного коллайдера

## Сложные путешествия через пространство-время

Эксперимент с двумя щелями включает в себя запуск частиц, таких как электроны, на непрозрачный экран с двумя отверстиями или щелями. Электроны, проходящие через щели, ударяются о детектор с другой стороны, создавая флуоресцентные точки. Интуитивно можно было бы ожидать, что расположение точек будет совпадать с расположением двух щелей. Однако так не происходит. Вместо этого постепенно возникает интерференционная картина. Больше точек попадает в области максимума интенсивности складывающихся волн; меньше или вообще не попадает — в области минимума. Это происходит, даже если электроны посылаются по одной штуке за раз. Каким-то образом даже один электрон действует как волна, проходя через обе щели одновременно. Так создается интерференционная картина.

### Распределение вероятности положения частицы известно довольно хорошо

То, что проходит через две щели, — это волновая функция частицы, математическая абстракция, представляющая квантовое состояние частицы. Представьте себе волну, которая разделяется на две волны, каждая из них распространяется от щелей, а затем в конечном итоге интерферирует с другой волной. Две составляющие волновой функции либо усиливают, либо компенсируют друг друга на детекторе. Пики и впадины объединенной волновой функции могут помочь ученым рассчитать вероятность того, что электрон будет найден в каком-то определенном месте. Пространственное распределение частиц в детекторе совпадает с теоретическими предсказаниями.



Невозможно не только точно предсказать, где данная частица попадет на детектор, но и когда именно это произойдет. Можно по крайней мере рассчитать, как пространственное распределение ансамбля идентичных частиц будет распределено по плоскости детектора. Но стандартная квантовая механика не может сделать ничего подобного для времени прибытия или точных моментов, когда различные частицы достигают детектора. Невозможно рассчитать распределение по времени прибытия, не делая проблемных предположений.

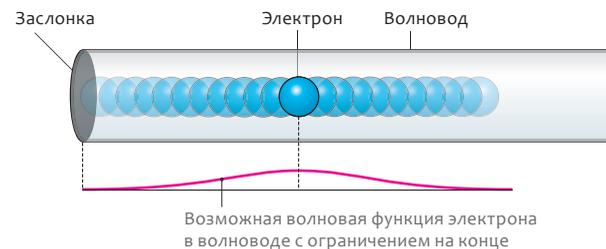
(БАК) в CERN и приборы, называемые масс-спектрометрами, используют такие измерения для расчета масс и импульсов частиц, ионов и молекул. Однако есть серьезная проблема: хотя эти вычисления касаются квантовых систем, они не могут быть выполнены с использованием чистой квантовой механики. Вместо этого они требуют дополнительных предположений. В одном методе экспериментаторы, например, предполагают, что как только частица покидает источник, она ведет себя классически, то есть следует уравнениям движения Ньютона.

Результатом становится гибридный подход: частично квантовый, частично классический. Стартует этот подход с квантовых представлений о частице как о математической абстракции, называемой волновой функцией. Вылетая из некоторого источника, идентичные частицы имеют идентичные волновые функции. Однако измерение импульса каждой частицы в момент вылета (или измерения ее положения) каждый раз будет давать разные значения. Взятые вместе, эти значения следуют распределению, которое точно предсказывается начальной волновой функцией. Если

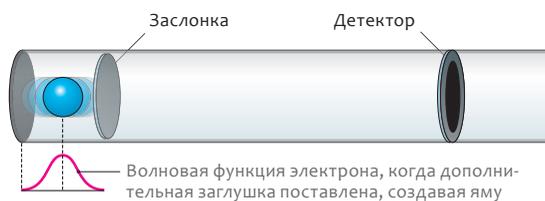
## Измерение времени прибытия

Не все интерпретации квантовой механики дают одинаковые предсказания для времени прилета частиц. Точное измерение момента, когда каждая из множества различных частиц достигает детектора, — непростая задача, но новый эксперимент должен позволить проверить эти предсказания.

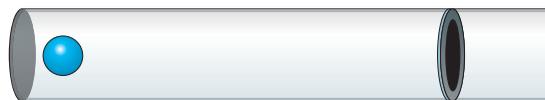
Частица представлена математической абстракцией, называемой волновой функцией. Ее можно использовать, скажем, для расчета вероятности нахождения частицы в заданном месте.



В этом эксперименте электрон в состоянии с наименьшей энергией удерживается на месте с помощью ямы электрического потенциала.



Таймер начинает отсчет, когда одна заглушка удаляется.



Электрон начинает движение к детектору.



Фиксируется время, когда электрон достигает детектора.

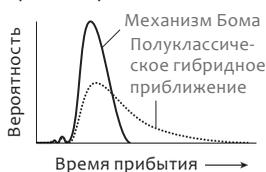


Эксперимент многократно повторяется, создавая некоторое распределение времени прибытия.



Это распределение зависит от направления спинного вектора волновой функции частицы. Когда спиновый вектор перпендикулярен оси цилиндра волновода, то предсказания распределения времени прибытия могут резко отличаться для разных теорий.

Предсказания распределения времени прибытия



исходить из этого набора значений для одинаковых частиц и предполагать, что частица следует классической траектории, как только она испускается, результатом будет распределение времени прибытия на детектор, которое зависит от распределения начального импульса.

Стандартная теория также часто используется для другого квантово-механического метода расчета времени прибытия. Когда частица летит к детектору, ее волновая функция эволюционирует в соответствии с уравнением Шредингера, которое описывает изменение состояния частицы с течением времени. Рассмотрим одномерный случай обнаружения: пусть частица находится на определенном горизонтальном расстоянии от источника излучения. Уравнение Шредингера определяет волновую функцию частицы и, следовательно, вероятность обнаружения этой частицы в этом месте при условии, что частица пересекает это место только один раз. (Конечно, в стандартной квантовой механике нет четкого способа обосновать это предположение.) Используя такие предположения, физики могут рассчитать вероятность того, что частица попадет в детектор в заданный момент времени ( $t$ ) или раньше. «С точки зрения стандартной квантовой механики это звучит совершенно нормально, — говорит Аристархов. — И из таких предположений ожидаешь получить приемлемый ответ».

Однако есть одна загвоздка. Чтобы перейти от вероятности того, что время прибытия меньше или равно  $t$ , к вероятности того, что оно точно равно  $t$ , необходимо вычислить величину, которую физики называют квантовым потоком, или квантовым вероятностным током, — это мера того, как вероятность нахождения частицы в местоположении детектора изменяется со временем. Такой подход хорошо работает за исключением того случая, когда квантовый поток становится отрицательным. Несмотря на то что трудно найти волновые функции, для которых величина потока становится значимо отрицательной, ничто, по словам Аристархова, «не запрещает этой величине быть отрицательной, и это катастрофа». Отрицательный квантовый поток приводит к отрицательным вероятностям, а вероятности никогда не могут быть меньше нуля.

Использование эволюции Шредингера для расчета распределения времени прихода работает только тогда, когда квантовый поток положительный, — случай, который в реальном мире определенно существует только тогда, когда детектор находится в «дальней зоне», то есть на значительном расстоянии от источника, и частица свободно движется в отсутствие потенциалов. Когда экспериментаторы измеряют время прибытия в «дальней зоне», то и гибридный, и квантовый подходы дают аналогичные прогнозы, которые хорошо

согласуются с экспериментальными результатами. Но они не дают четких прогнозов для случаев «ближней зоны», когда детектор находится очень близко к источнику.

### Предсказания теории Бома

В 2018 г. Дас и Аристархов, тогда еще вместе со своим руководителем Детлефом Дюрром (Detlef Dürr), специалистом по механике Бома в *L.M.U.* (скончался в 2021 г.), начали работать с коллегами над предсказаниями времени прибытия на основе этой теории. Согласно механике Бома, каждая частица определяется своей волновой функцией (как и в стандартной квантовой механике. — Примеч. пер.). Однако в отличие от стандартной квантовой механики, в которой считается, что частица не имеет точного положения или импульса до измерения, следовательно, не имеет траектории, частицы в механике Бома реальны и обладают извилистыми траекториями. Описание этих траекторий дается точными уравнениями движения, хотя последние и отличаются от уравнений ньютоновского движения.

Одним из первых выводов исследователей было то, что измерения в «дальней зоне» не позволят провести различие между предсказаниями механики Бома и предсказаниями гибридных подходов или подходов с квантовым потоком. Это связано с тем, что на больших расстояниях траектории Бома становятся прямыми линиями и таким образом реализуется гибридное полуклассическое приближение. Кроме того, для прямых траекторий «дальней зоны» квантовый поток всегда положителен и его значение точно предсказывается механикой Бома. «Если вы поместите детектор достаточно далеко и проведете анализ Бома, то вы увидите, что он совпадает с гибридным подходом и подходом с квантовым потоком», — говорит Аристархов.

Таким образом, ключ состоит в том, чтобы проводить измерения «ближней зоны», но это долгое время считалось невозможным. «Режим "ближней зоны" очень неустойчив, — комментирует Дас. — Он очень чувствителен к исходной форме волновой функции, которую вы создали». Кроме того, «если вы подойдете очень близко к начальной области, где "готовится" частица, то она будет обнаружена мгновенно. Вы не сможете определить время прибытия и увидите различия между прогнозами разных теорий».

Чтобы избежать указанной проблемы, Дас и Дюрр предложили экспериментальную установку, которая позволила бы обнаруживать частицы вдали от источника и в то же время дала бы возможность получить уникальные результаты для выявления различий между предсказаниями механики Бома и более стандартных методов.

Концептуально предлагаемая научной группой установка проста. Представьте себе волновод —

цилиндрический путь, который ограничивает движение частицы (например, оптическое волокно служит таким волноводом для фотонов света). На одном конце волновода подготовьте частицу, в идеале электрон или какую-то частицу вещества. Подготовленная частица должна быть в своем самом низком энергетическом (то есть основном) состоянии. Далее поместите частицу в чашеобразную электрическую потенциальную яму. Последняя на самом деле представляет собой совокупность двух смежных потенциальных барьеров, которые вместе придают ей параболическую форму. Если один из барьеров «отключен», то частица все равно будет заблокирована другим барьером, который остается на месте. При этом частица может свободно выходить из потенциальной ямы в волновод.

## Четкое экспериментальное открытие распределения времени прибытия может потрясти основы квантовой механики

Дас решил требующую большой кропотливости задачу уточнения параметров эксперимента, провел вычисления и моделирование для определения теоретического распределения времени прихода частицы на детектор, расположенный далеко от источника вдоль оси волновода. После нескольких лет работы он получил четкие результаты для двух различных типов начальных волновых функций, связанных с такими частицами, как электроны. Каждая волновая функция может быть охарактеризована чем-то, называемым ее спиновым вектором. Представьте себе стрелку, связанную с волновой функцией, которая может быть ориентирована в любом направлении. Научная группа рассмотрела два случая: один, в котором стрелка указывает вдоль оси волновода, и другой, в котором она перпендикулярна этой оси.

Исследователи показали, что, когда вектор спина волновой функции выровнен вдоль оси волновода, распределение времени прихода, предсказанное методом квантового потока, идентично тому, которое предсказано механикой Бома. Однако эти распределения существенно отличаются от тех, которые рассчитаны для гибридного подхода. Когда спиновый вектор перпендикулярен, различия становятся еще более заметными. С помощью своего коллеги из *L.M.U.* Маркуса Нета (Markus Nöth) исследователи показали, что все траектории Бома попадут в детектор в это время или раньше. «Это было очень неожиданно», — признался Дас.

Предсказание теории Бома значительно отличается от предсказаний полуклассической гибридной теории, которые не демонстрируют такого резкого обрезания времени прибытия. И, что особенно важно, в этом сценарии квантовый поток отрицателен, а это означает, что вычисление времени прибытия с использованием эволюции Шредингера становится невозможным. Стандартные квантовые теории «опускают руки, когда квантовый поток становится отрицательным», — говорит Дас. Но механика Бома продолжает делать прогнозы. «Существует четкое различие между этим подходом и всеми остальными», — комментирует Аристархов.

### Экспериментаторы вступают в бой

Специалист по квантовой теории Чарис Анастопулос (Charis Anastopoulos) из Университета Патр в Греции, эксперт по времени прибытия, который не участвовал в описываемой работе, одновременно и впечатлен, и осмотрителен. «Схема, которую они предлагают, кажется правдоподобной», — отмечает ученый. Поскольку каждый подход к вычислению распределения времени прибытия предполагает свою самостоятельную теорию квантовой реальности, в такой ситуации однозначное экспериментальное открытие может потрясти основы квантовой механики. «Это утвердит конкретный путь рассуждений, — говорит Анастопулос, — и, таким образом, окажет некоторое влияние. <...> Если это согласуется с механикой Бома, что представляется весьма характерным для нее предсказанием, то это, конечно, стало бы очень существенным результатом».

По крайней мере один экспериментатор готовится воплотить в реальность предложение научной группы. Перед смертью Дюрра Фердинанд Шмидт-Калер (Ferdinand Schmidt-Kaler) из Майнцского университета им. Иоганна Гутенберга обсуждал с ним время прибытия для тестирования. Шмидт-Калер — эксперт по типу ионной ловушки, в которой электрические поля используются для удержания одного иона кальция. Массив лазеров используется для охлаждения иона до его квантового основного состояния, когда неопределенность импульса и положения иона минимальна. Ловушка представляет собой трехмерную область в форме чаши, созданную комбинацией двух электрических потенциалов; ион находится в нижней части этого «гармонического» потенциала. «Выключение» одного из потенциалов создает условия, аналогичные тем, которые требуются в теоретическом предложении, а именно — барьер с одной стороны и наклонный электрический потенциал с другой. Ион движется вниз по этому склону, ускоряется и набирает скорость. «Вы можете установить детектор снаружи ловушки и измерить время прибытия, — комментирует этот эксперимент Шмидт-Калер. — Вот что делает его таким привлекательным».

На данный момент его научная группа провела эксперименты, в которых ион выталкивается из ловушки и детектируется снаружи. Исследователи показали, что время полета зависит от начальной волновой функции частицы. Полученные результаты были опубликованы в 2021 г. в журнале *New Journal of Physics*. Шмидт-Калер и его коллеги также провели еще не опубликованные испытания иона, выходящего из ловушки только для того, чтобы быть отраженным обратно «электрическим зеркалом» и снова захваченным. По словам ученого, этот процесс обладает эффективностью 98%. «Наша работа продвигается, — говорит Шмидт-Калер. — Конечно, наш прибор специально не настроен на оптимизацию измерения распределения времени полета, но это возможно».

Это легче сказать, чем сделать. Детектор вне ионной ловушки, скорее всего, будет представлять собой просто лазерное излучение, и научной группе придется измерить взаимодействие иона с этим излучением с точностью до наносекунды. Экспериментаторам также потребуются отключить половину гармонического потенциала с аналогичной временной точностью, а это еще одна серьезная задача. Эти и другие подводные камни изобилуют на пути между теоретическим предсказанием и экспериментальной реализацией.

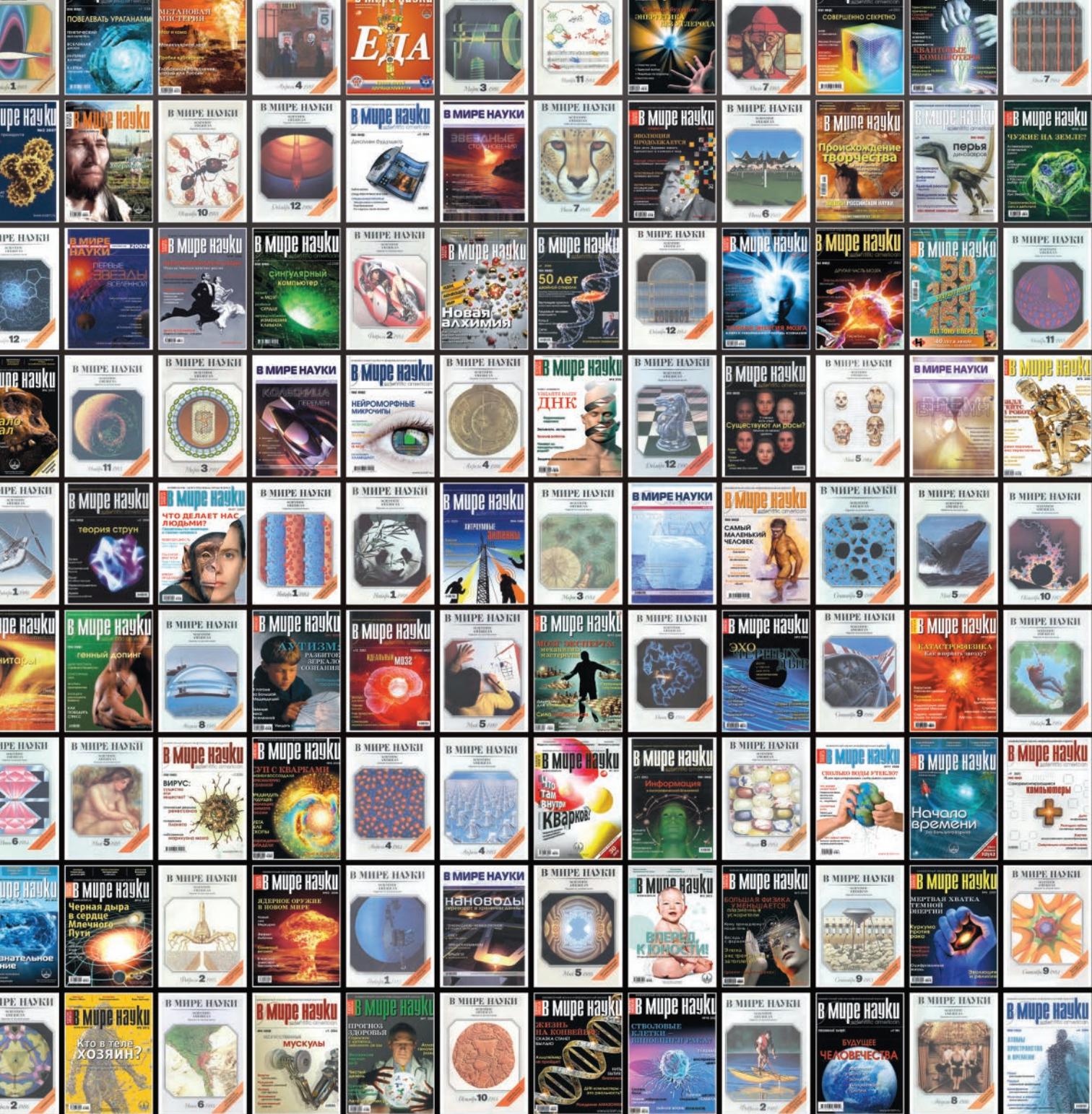
Тем не менее Шмидт-Калер взволнован перспективой использования измерений времени полета для проверки основ квантовой механики. «Это привлекательно тем, что полностью отличается от других видов тестов. Это действительно что-то новое, — утверждает он. — Это будет проходить через множество итераций. Первые результаты мы увидим, надеюсь, в следующем году. Это мое твердое ожидание». Тем временем Аристархов и Дас обращаются и к другим людям. «Мы очень надеемся, что экспериментаторы по всему миру заметят нашу работу, — призывает Аристархов. — Мы объединим усилия для проведения экспериментов».

Заключительные слова еще не опубликованной статьи, написанной Дюрром в соавторстве перед смертью, могут служить почти эпитафией: «К настоящему времени должно быть ясно, что глава об измерениях времени в квантовой физике может быть написана только в том случае, если станут доступны подлинные квантово-механические данные о времени полета». Какую теорию экспериментальные данные сочтут правильной, если таковая имеется? Как писал Дюрр, «это очень интригующий вопрос». ■

Перевод: О.С. Сажина

### ИЗ НАШИХ АРХИВОВ

■ Bohm's Alternative to Quantum Mechanics. David Albert; May 1994.



## Хотите знать о науке больше?

Полный архив выпусков журнала  
«В мире науки» — на сайте издания  
по адресу: [www.sciam.ru](http://www.sciam.ru)

**В мире науки**  
SCIENTIFIC AMERICAN

Теперь можно купить  
и отдельные статьи



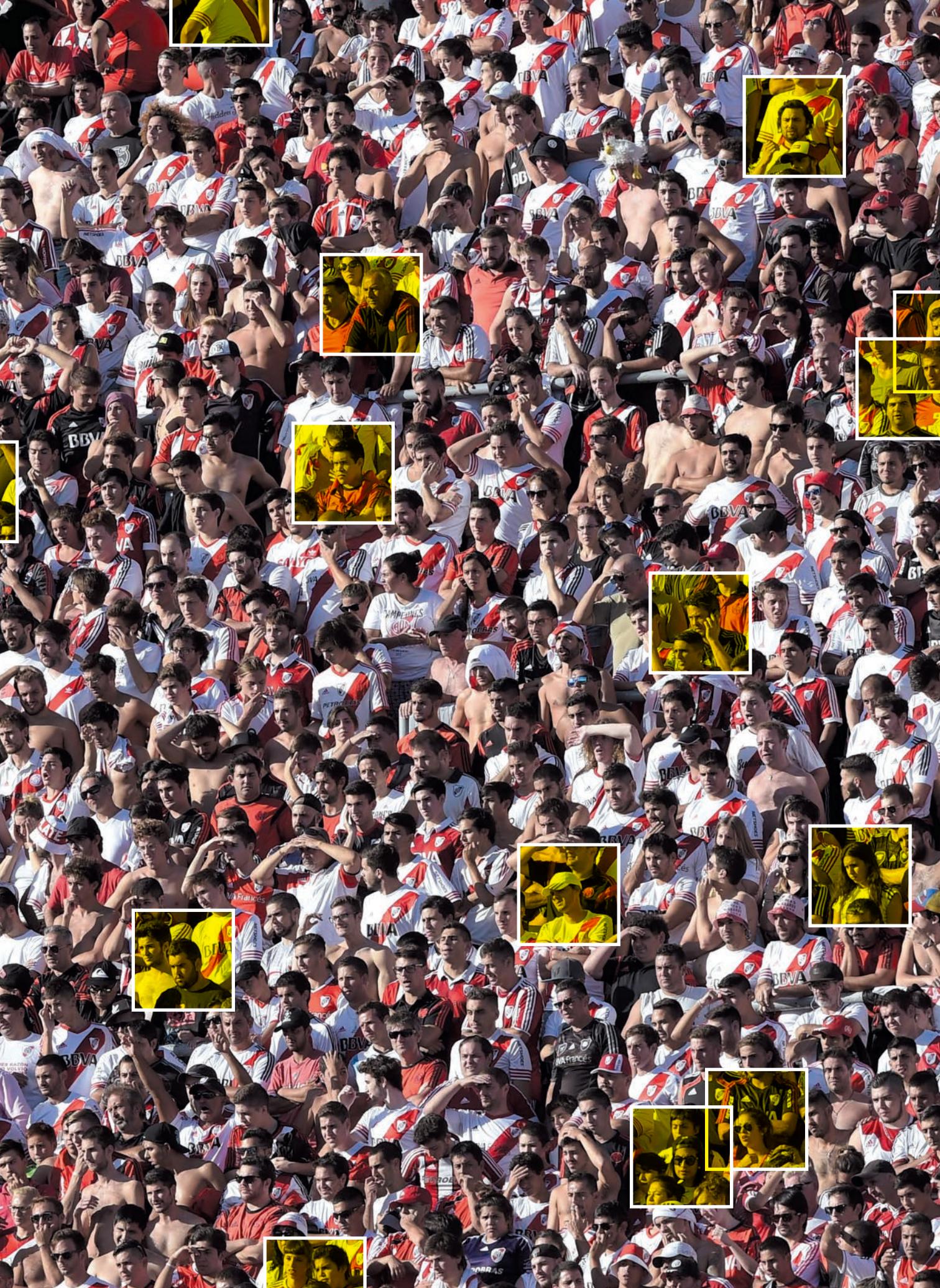


ТЕХНОЛОГИИ

# СЛЕЖКА ЗА ВАШИМИ ЭМОЦИЯМИ

Сегодня ИТ-компании используют искусственный интеллект для распознавания человеческих эмоций — например, в ходе собеседований с соискателями вакансий, да и в любых общественных местах. Но, как оказалось, искусственному интеллекту тоже не чужды расовые, культурные и гендерные предрассудки

*Джон Маккуэйд*



## ОБ АВТОРЕ

**Джон Маккуэйд** (John McQuaid) — писатель и журналист. В настоящее время — аспирант Колледжа журналистики им. Филипа Меррилла Мэрилендского университета. Тема предлагаемой статьи уже рассматривалась автором в бытность его научным сотрудником Международного центра ученых им. Вудро Вильсона в Вашингтоне (округ Колумбия).



**В** феврале 2020 г. в британском Ливерпуле на конференции, посвященной госзакупкам (тема, в общем-то, проходная), участники, как обычно, прогуливались мимо стендов, останавливаясь у тех, которые привлекли внимание. А в это время за ними велось скрытое наблюдение: 24 видеокамеры, расставленные на полу в залах, где проходила конференция, со скоростью от пяти до десяти кадров в секунду четко отслеживали реакцию каждого посетителя, регистрируя едва различимые сокращения его мимических мышц. Отснятый материал передавали в компьютерную сеть. Затем к работе подключался искусственный интеллект (ИИ): алгоритмическая ИИ-начинка определяла пол и возраст, а кроме того, распознавала мимику участников конференции с целью выявления признаков «счастья» и «вовлеченности».

Результаты этого эксперимента настолько впечатлили Паноса Мутафиса (Panos Moutafis), гендиректора компании *Zenus* из Остина, штат Техас, что он никак не мог забыть о них даже год спустя после той ливерпульской конференции. «Ни одной из коммерческих систем до сих пор не удавалось продемонстрировать хотя бы сравнимый уровень точности распознавания невербальных знаков», — сообщил мне Мутафис во время видеозвонка. Затем он показал фотографию, изображавшую группу людей, лица некоторых из них были обведены рамками. Оказалось, специалисты компании *Zenus* научили ИИ-систему распознавать эмоции, заставив ее анализировать гигантскую базу данных, где содержались различные выражения человеческих лиц, которым соответствовали определенные человеческие чувства. Проверка производительности программы распознавания осуществлялась разными способами, включая испытания в реальных условиях, в ходе которых испытуемые сообщали о том, какие чувства у них вызывают те или иные снимки. По словам Мутафиса, система распознавания «способна работать и в помещении, причем ей не мешают ни медицинские

маски на лицах, ни отсутствие хорошего освещения; она способна действовать и вне помещения, скажем, на улице, — люди в шляпах и солнцезащитных очках ей не помеха».

Система распознавания компании *Zenus* — лишь один из примеров новой технологии, которая называется «анализ эмоций с помощью искусственного интеллекта», или «аффективные вычисления». Эта технология объединяет в единое целое камеры видеонаблюдения и прочие устройства, интегрируя их с программами ИИ. Технология *Zenus* призвана записывать на видео человеческую мимику, жестикуляцию, голосовую интонацию и прочие невербальные знаки. Но ее задача не только в том, чтобы распознавать лица и устанавливать личность; способности новой технологии уникальны, ни одно техническое средство до сих пор не научилось делать то, что подвластно *Zenus*, а именно — определять эмоциональное состояние, в котором находится человек на изображении, его побуждения и, так сказать, общий настрой. «Раньше видеокамеры были все-таки простоваты, — поясняет старший стратегический аналитик Джей Стэнли (Jay Stanley) из Американского союза защиты



**Зеркало души.** Некоторые системы распознавания эмоций с помощью ИИ основаны на концепции психолога Пола Экмана. По его мнению, разные душевные состояния (слева направо) — печаль, счастье, гнев, страх и удивление — можно передать при помощи универсальных мимических движений.

гражданских свобод (ACLU), автор отчета «Зарождение автоматических систем видеонаблюдения» (*The Dawn of Robot Surveillance*) за 2019 г. — А теперь они прямо-таки умнеют на глазах. Буквально прозревают. Теперь они способны не только фиксировать действия человека, но и высказывать об этих действиях суждения».

Технология распознавания эмоций уже успела превратиться в довольно популярный инструмент маркетинга (так, например, на одной из выставок специалисты *Zenus* уже успели порадовать компанию *Hilton Hotel*, сообщив ей о том, что ее рекламная акция привлекла к себе гораздо больше внимания, чем работавший на выставке бесплатный бар), но она будет крайне полезна и в других сферах. Системы, призванные определять эмоциональную реакцию человека, свойства его характера и намерения, уже используются или пока только обкатываются на пограничных КПП с целью обнаружения угроз, во время собеседований при трудоустройстве, чтобы составить мнение о соискателе вакансий, для отслеживания ситуации в аудитории (например, насколько увлекательно велось занятие, был ли срыв урока), а также для распознавания признаков агрессивного вождения. Интересно, что крупные автопроизводители уже внедряют эту технологию в новые модели автомобилей, причем такие гиганты, как *Amazon*, *Microsoft*, *Google*, зачастую предлагают облачные сервисы так называемого эмоционального искусственного интеллекта в комплекте с оборудованием распознавания мимики. Десятки стартапов уже

создают приложения, назначение которых — содействие компаниям в принятии решений о найме сотрудников. Причем эта практика стала настолько распространенной, например, в Южной Корее, что консультанты по вопросам трудоустройства уже зачастую натаскивают соискателей на собеседования, во время которых используется ИИ.

Чтобы система, созданная на базе ИИ, смогла оценить эмоциональное состояние и поведение человека, она должна получить как можно больше самых разных данных. Помимо выражения лица, голосовой интонации, жестикуляции и походки, такие системы способны анализировать содержание устной или письменной речи с целью выявления ее эмоциональности и своеобразия. Некоторые приложения используют собранную информацию не для анализа эмоций, а с целью выявления связанных с ними психологических характеристик — скажем, к какому типу личности относится данный человек, насколько его внимание устойчиво, представляет ли он собой потенциальную угрозу.

Но критики предупреждают: анализ человеческих эмоций с помощью ИИ таит в себе опасность: может так получиться, что ИИ-алгоритмы будут обучены на массиве данных, которым тоже свойственны расовые, этнические и гендерные предубеждения. Подобные ИИ-алгоритмы вполне способны будут проявить, например, предвзятость при найме на работу в отношении представителей небелых рас. «Получается, что мы пытаемся спихнуть с себя некоторые из когнитивных способностей и препоручить их ИИ-системам. А потом с их



подачи будем делать выводы о том, что, мол, "поведение такого-то человека нас сильно настораживает", — вот здесь и подстерегает опасность», — предупреждает специалист по информационным системам Лорен Рю (Lauren Rhue) из Мэрилендского университета.

Кроме того, некоторые подходы, которых придерживается наука психология, были объявлены спорными. Дело в том, что многие приложения анализа эмоций с помощью ИИ базируются на тех исследованиях, которые велись еще полвека назад психологами Полом Экманом (Paul Ekman) и Уоллесом Фризенем (Wallace Friesen). Эти ученые полагали, что существует прямая зависимость между мимикой и основными человеческими эмоциями («гневом», «отвращением», «страхом», «радостью», «печалью» и «удивлением»; позднее Экман включил еще и «презрение») и, кроме того, что мимика будто бы представляет собой универсальный и общепонятный язык, отображающий человеческие эмоции. Однако в настоящее время данная гипотеза стала предметом горячих споров. Специалисты заметили, что существуют большие культурные и индивидуальные различия мимики. Многие ученые утверждают, что компьютерные программы неспособны (во всяком случае, пока) корректно распознавать едва заметные изменения мимики разных людей, поскольку эти изменения



**Важно учитывать контекст.** На фото 1964 г. кажется, что женщина плачет от горя. Однако если посмотреть на весь снимок целиком, то мы увидим, что так она проявляет свою радость. На фотографии — восторженные фанаты «Битлз» возле нью-йоркского отеля, где остановились музыканты группы.

не укладываются в стандартную классификацию душевных состояний. Сам Экман, который в прошлом участвовал в разработке первых версий технологии распознавания эмоций, в настоящее время стал утверждать, что подобные технологии несут с собой серьезную угрозу для неприкосновенности частной жизни и поэтому нуждаются в жестком правовом регулировании.

Вообще говоря, анализ эмоций с помощью ИИ — вещь в сущности неплохая. Если бы можно было научить компьютер эффективно интерпретировать человеческие эмоции и поведение, то в этом случае, по уверению экспертов, такие секторы, как робототехника, здравоохранение, автомобилестроение, могли бы раскрыть перед нами весь свой мощный потенциал. Однако сейчас эта область больше напоминает проходной двор, поэтому может получиться так, что толком не опробованная технология получит широкое распространение еще до того момента, когда у общества появится время осознать связанные с ней потенциальные издержки.

**В 2018 г. Марк Грей** (Mark Gray), на тот момент вице-президент по персоналу и бизнес-операциям *Airtame* (компания, разрабатывающей устройства совместного доступа к экрану и использования виртуального рабочего стола), пытался усовершенствовать в этой компании процесс найма специалистов. В качестве одного из критериев он выбрал эффективность. *Airtame* — компания небольшая, в ней всего около сотни сотрудников, работающих в ее отделениях, расположенных в Копенгагене, Нью-Йорке, Лос-Анджелесе

и Будапеште. Тем не менее к ней выстроилась очередь из соискателей и руководству пришлось просматривать сотни резюме специалистов по маркетингу и графическому дизайну. Кроме того, в ходе рекрутинга в отношении некоторых кандидатов проявлялось некое предубеждение. «Зачастую бывает так, словно какой-то голос нам говорит: "Лично мне этот человек нравится", вместо того чтобы сказать: «У этого человека, на мой взгляд, квалификация выше», — говорит Грей, ныне работающий в датской ИТ-компании *Proper*, действующей в сфере недвижимости. — Когда мы говорим о рекрутинге и управлении персоналом, появляется нечто неосознаваемое и трудновыразимое. Но мне бы хотелось внести побольше конкретики, то есть каким-то образом материализовать всю эту неосознаваемость».

*Airtame* заключила соглашение с компанией *Retorio* из Мюнхена, разрабатывающей ИИ-платформы для анализа видеопортретов соискателей. Вот как работает платформа: весь процесс не занимает много времени — на видео продолжительностью всего в одну минуту кандидаты отвечают на два-три вопроса. Затем алгоритм распознает выражение лица и голоса, а также анализирует ответы. После этого программа выдает психологический портрет, который выстраивается на основе выделения пяти основных черт личности (эту модель также называют Большой пятеркой личностных качеств (*Big Five personality traits*), или сокращенно *OCEAN* по первым буквам английских названий качеств (*Openness to experience* — «открытость познанию», *Conscientiousness* — «добросовестность, сознательность», *Extraversion* — «экстраверсия», *Agreeableness* — «доброжелательность», *Neuroticism* — «невротизм»). В результате работодатель получает ранжированный список, в котором каждому соискателю сопоставлена вакансия в зависимости от его психологического портрета.

Приложения, способные выявлять психологические особенности человека, уже начинают постепенно трансформировать процесс принятия бизнес-решений, а также способы взаимодействия между организациями и соискателями вакансий. Например, в *Airtame* подобный софт коренным образом изменил саму процедуру подбора персонала, специалисты компании научились быстро формировать упорядоченные списки соискателей — в общем, технология составления психологических портретов, по словам Грея, принесла свои плоды. В подтверждение он предоставил диаграмму, на которой было показано, что эффективность работы группы сотрудников отдела продаж, недавно взятых в компанию, и в самом деле соответствовала их психологическим качествам; при этом работники, получившие более высокие баллы в отношении таких качеств, как «добросовестность»,

«доброжелательность» и «открытость познанию», добивались наилучших результатов.

Чудо-компьютеры, способные распознавать эмоции, уже давно прописались на страницах научно-фантастических книг. Однако в информатике и компьютерной инженерии «человеческий аффект» как таковой долгое время оставался концептом чуждым. Еще в 1990-х гг. это понятие, по словам Розалинд Пикард (*Rosalind Picard*) из Массачусетского технологического института, «рассматривалось как запретная тема, нечто сомнительное». Напомним, что именно Пикард ввела термин «аффективные вычисления» в своем научном отчете за 1995 г. «Меня считали сумасшедшей, ненормальной, недалекой, возмутительницей спокойствия. Помню, один уважаемый человек, специалист по обработке сигналов и речевой информации, как-то подошел ко мне и, разглядывая мои ноги, произнес: "Ты только время зря тратишь. Эмоции — это шумовые помехи и не более"».

**«Существует довольно сильное расхождение между тем, каким нам видится человек со стороны, и тем, что реально творится в его душе».**

— *Кейт Кроуфорд, Университет Южной Калифорнии*

Розалинд Пикард и другие ученые приступили к разработке программных средств, способных автоматически считывать биометрическую информацию и реагировать на нее — например, распознавать мимику и даже улавливать изменение притока крови к поверхности кожи (а это своеобразный индикатор изменения эмоционального состояния). Однако то пристальное внимание, которое в настоящее время стало уделяться приложениям, предназначенным для распознавания эмоций, связано с усиленным внедрением начиная с 2010-х гг. глубокого обучения — этой мощной разновидности машинного обучения; напомним, что в машинном обучении используются нейронные сети, в грубом приближении имитирующие работу мозга. Методы глубокого обучения — вот причина возросшей эффективности алгоритмов ИИ и точности их работы; благодаря глубокому обучению оказалось возможным автоматизировать многие процессы, с которыми в прежние времена мог



**Гендерные стереотипы.** В одном из исследований, в котором анализировались лица политиков, было сделано следующее наблюдение: ИИ-программа распознавания эмоций определила, что улыбаются всего лишь несколько мужчин. Однако непосредственная проверка показала, что улыбались почти все мужчины. Платформа Google Cloud Vision пометила многие женские лица словом «улыбка», а на мужских она этого не сделала. Проценты рядом с персональными данными, указанные в прямоугольных вставках на двух фото (ниже), говорят о том, насколько ИИ уверен в точности информации. Достоверность того, что женщина на фотографии улыбается, равна 64% (кроме того, показана достоверность ее цвета волос), а на мужском фото платформа Google Cloud Vision этих характеристик вообще не выявила.



справиться только человек, например управление машиной, распознавание лиц, анализ рентгеновских снимков, томограмм и других изображений.

Однако перечисленные системы распознавания все еще далеки от совершенства, но, несмотря на это, технологиям анализа эмоций с помощью ИИ предстоит выполнять особо сложные задачи. Предполагается, что алгоритмы должны «объективно» воспринимать окружающий нас мир, например распознавать яблоко именно как яблоко, а не как персик. Если говорить о машинном обучении, то сам процесс «обучения» заключается в следующем: проводится многократное сравнение исходных данных (их источником чаще всего становятся изображения, снимки, но также и видео, аудио и т.д.) с данными режима обучения, которые обладают необходимыми свойствами. Таким образом, система учится усваивать некоторые важные свойства: например, на фотографии яблок компьютер выявляет абстрактное свойство — «яблочность», и в итоге по окончании обучения алгоритм способен найти эти фрукты на любом изображении.

Но совсем другое дело — распознавание столь трудно поддающихся определению человеческих свойств, как «личность» или «эмоция»; здесь объективность и непредвзятость по большому счету ускользают. В самом деле, каким образом можно формализовать, например, понятия «счастье» или «невротизм»? Дело в том, что алгоритмы анализа эмоций с помощью ИИ не могут сами интуитивно дать формальные определения тем или иным эмоциям человека, его личностным качествам или побуждениям. Поэтому они обучаются, образно говоря, посредством вычислительного краудсорсинга, то есть всего лишь бездумно повторяют суждения, которые одни люди высказали о других людях. Именно здесь, как говорят критики, появляется слишком много субъективности и предвзятости. «Существуют довольно сильные расхождения между тем, каким нам видится человек со стороны, и тем, что реально происходит в его душе или эмоциональном пространстве, — поясняет Кейт Кроуфорд (Kate Crawford) из Школы коммуникации и журналистики им. Уолтера Анненберга при Университете Южной Калифорнии. — В настоящее время мы видим, как некоторые из подобных технологий совершают мощные и опасные рыбок».

Процесс формирования суждений о человеческих эмоциях довольно сложен, на каждом этапе возникают свои подводные камни. Например, при использовании глубокого обучения необходимы большие объемы вводных данных. Однако для анализа эмоций с помощью ИИ требуются просто-таки гигантские объемы данных, объединяющие воедино тысячи, а порой и миллиарды человеческих суждений (например, множество изображений людей, которых специалисты по анализу

и обработке данных охарактеризовали как «счастливых» или «улыбающихся»). Но алгоритмы, оказывается, способны непреднамеренно впитывать укоренившиеся коллективные предубеждения людей, собиравших данные. Причинами подобной предвзятости могут стать, например, искаженная информация о тех или иных группах населения в обучающих выборках или же предвзятое мнение самих разработчиков. Могут быть и другие причины.

Даже распознать обычную улыбку — задача далеко не из легких. Так, в одном из исследований, проведенном в 2020 г. Карстеном Швеммером (Carsten Schwemmer) и его коллегами из кельнского *GESIS* — Института социальных наук Лейбница, было сделано следующее: ученые загрузили фотографии членов Конгресса США в облачные платформы распознавания эмоций, разработанные компаниями *Amazon*, *Microsoft* и *Google*. Непосредственная проверка, проведенная авторами статьи вручную, показала, что на фотографиях улыбались 86% мужчин и 91% женщин, однако облачные приложения гораздо чаще находили улыбающихся женщин, а не мужчин. Например, платформа *Google Cloud Vision* распознала 90% женских и менее 25% мужских улыбок. В итоге ученые предположили, что в массив обучающих данных где-то закралась гендерная предвзятость. Кроме того, авторы статьи заметили, что для тех характеристик, которые они сами давали изображениям, неуверенность была обычным явлением: «Мимику на многих фотографиях сложно однозначно классифицировать. Скажем, действительно ли перед нами улыбка? А может быть, это ухмылка? А если мы видим широкую улыбку, даже зубы видны, но при этом человек не кажется счастливым?»

Системы распознавания мимики, базирующиеся в большинстве своем на глубоком обучении, часто подвергались критике за необъективность. Например, специалисты из Медиалаборатории Массачусетского технологического института обнаружили, что точность работы этих систем распознавания снижалась в тех случаях, когда анализировалась мимика представителей небелой расы и женщин. Обычно эти ошибки возникают по той причине, что изначально использовались наборы обучающих данных, в которых наблюдались перекос в пользу представителей белой расы и мужчин. Кроме того, при распознавании эмоций задача усложняется, поскольку следует учитывать тот факт, что мимика меняется в динамике; к тому же выражения одного и того же лица на официальной фотографии и на любительском снимке могут незначительно отличаться друг от друга.

Лорен Рю из Мэрилендского университета воспользовалась общедоступной базой данных, где помещены фото баскетболистов-профессионалов, чтобы протестировать два приложения,

распознающие эмоции: одно — производства *Microsoft*, другое — *Face++* (китайской компании, специализирующейся на распознавании лиц). Как оказалось, оба приложения связывали отрицательные эмоции скорее с чернокожими игроками, чем с белыми, хотя каждое делало это по-своему. Так, приложение *Face++* пришло к выводу, что чернокожие игроки вызывают отрицательные эмоции вдвое чаще, чем белые, а продукт компании *Microsoft* в ситуациях неопределенности (то есть когда выражение лица нельзя было трактовать однозначно) делал следующее заключение: чернокожие игроки смотрят с презрением в три раза чаще, нежели белые. По мнению Рю, причина появления таких искажений, вполне возможно, заключается в том, что маркированные изображения, входящие в наборы обучающих данных, уже были отчасти не совсем объективны. На просьбу прокомментировать эту ситуацию компании *Microsoft* и *Face++* не ответили.

## **Представление о том, что мимика — это отражение внешних проявлений базовых эмоций человека, проникло в самые разные сферы человеческой деятельности, но веских доказательств в поддержку этой концепции приведено недостаточно**

В настоящий момент многие компании признают, что о подобных проблемах им известно и они пытаются их решить. Так, например, алгоритм компании *Retorio* был обучен на наборе данных, состоявшем из небольших видеозаписей собеседований, каждая из которых была снабжена информацией о психологических особенностях участников эксперимента (услуги этих добровольцев были оплачены, а видеоматериал собирался на протяжении нескольких лет), сообщает соучредитель *Retorio* Кристоф Хоэнбергер (Christoph Hohenberger). По его словам, компания *Retorio* предприняла необходимые меры, чтобы ее алгоритмы избавились от предвзятости по отношению к лицам, принадлежащим к некоторым группам населения и культурам, ведь при оценке той или иной личности в результате необъективности предпочтение может быть отдано какой-то одной группе в ущерб другой. Правда, поскольку

на текущий момент в этой сфере деятельности пока отсутствуют инструменты регулирования и надзора, то по большому счету нам придется поверить компании *Retorio* на слово, поскольку трудно проверить надежность и беспристрастность принадлежащих ей конфиденциальных данных. А вот пример компании *HireVue*, которая разрабатывает специальное ПО для анализа речи соискателей вакансий и их голоса, записанных во время видеособеседований: *HireVue* привлекла внешнего аудитора для проведения проверки своего продукта на предмет предвзятости оценок. Правда, слушай с *HireVue* достаточно редкий.

Ифеома Аджунва (Ifeoma Ajunwa), доцент юридического факультета Университета Северной Каролины, которая изучает вопрос о принятии решений с помощью ИИ, считает, что «сама мысль о том, что существует какой-то один-единственный стандарт, которому все люди будто бы должны — и могут — соответствовать в равной степени», в корне ошибочна. Из этого допущения, полагает Аджунва, логически вытекает, что «каждый, кто не соответствует единому стандарту, заведомо ставится в невыгодное положение».

**Но не только предвзятость** вызывает опасения. Большие возражения в научном сообществе порождает представление о том, что невербальное поведение человека (мимика, жесты и т.п.) будто бы всегда однозначно определяется его душевным состоянием и, следовательно, чувства можно всегда распознать. Эта концепция зародилась более полувека назад; как видим, с тех пор мнение ученых сильно изменилось. Напомним, что в те времена психологи Пол Экман и Уоллес Фризен проводили исследования среди племени форэ (один из коренных народов, проживающих в высокогорных районах на юго-востоке Папуа — Новой Гвинеи). Обоим хотелось разобраться в следующем вопросе: действительно ли представители народа форэ понимают мимику точно так же, как это делают представители совершенно иных обществ — например, грузчик из Бруклина или, скажем, медсестра из Сенегала? Добровольцам форэ показывали различные фотографии людей, лица которых выражали, говоря научным языком, шесть основных эмоций. Чтобы погрузить испытуемого в контекст, переводчик давал краткие описания (например, чтобы описать чувство отвращения, он говорил: «Он/она смотрит на нечто неприятно пахнущее»). Ответы представителей народа форэ практически совпали с ответами респондентов, опрошенных в таких странах, как Япония, Бразилия и США, что и дало основание Экману и Фризену утверждать, что мимика — это универсально понятный язык эмоций.

Так родилась концепция, согласно которой основным душевным состояниям человека прямо соответствует группа определенных мимических

выражений; эта концепция быстро завоевала популярность в психологии и других областях. Экман и Фризен разработали так называемую Систему кодирования лицевых движений (*Facial Action Coding System, FACS*), представляющую собой атлас, в котором классифицируются несколько тысяч выражений лица; атлас должен был облегчить интерпретацию мимики. Таким образом, атлас *FACS* и теоретические положения Экмана и Фризена стали теми элементами, которые заложили фундамент системы распознавания эмоций с помощью искусственного интеллекта. Оба элемента стали неотъемлемой частью многих ИИ-приложений — здесь можно упомянуть, например, разработки компании *Affectiva* (включая встроенные системы для автомобилей и приложения для маркетинговых исследований).

Но все-таки, по мнению ученых, в концепции Экмана имеются свои изъяны. Так, например, в статье, опубликованной в 2012 г. в журнале *Proceedings of the National Academy of Sciences*, уже утверждалось, что мимика в значительной степени различается в зависимости от культурной среды. А в 2019 г психолог Лиза Фелдман Барретт (*Lisa Feldman Barrett*) из Северо-Восточного университета вместе с коллегами опубликовала работу, где проштудировано более 1 тыс. научных материалов, посвященных человеческой мимике. Ученые пришли к следующему выводу: представление о том, что мимика — это отражение внешних проявлений базовых эмоций человека, проникло в самые разные сферы человеческой деятельности начиная от прикладной науки и заканчивая юриспруденцией, но веских доказательств в поддержку этой концепции приведено недостаточно.

По словам Лизы Фелдман Барретт, базовые эмоции — это обширные типовые категории. Непрерывно меняющееся выражение лица — отражение сложных душевных переживаний: так, например, за улыбкой могут порой скрываться боль или сочувствие. По мысли Барретт, на сегодня система ИИ, обученная на множестве данных (которые, по сути, представляют собой наборы детализированных стандартных шаблонов), еще не способна четко и надежно распознавать душевные состояния. «Сначала идет распознавание образа, а затем делаются выводы о его психологическом содержании», — говорит Барретт. — Но это две совершенно разные операции. Не буду здесь говорить обо всех компаниях, которые создают такой софт, поскольку я не в курсе всей их деятельности. Но, как правило, в разрекламированных технологиях распознавания эмоций эти две операции смешиваются».

Как полагает Кейт Кроуфорд, одна из причин этой проблемы заключается в том, что ИТ-стартапы не осведомлены о тех научных дискуссиях, которые ведутся в других областях знаний. Вот поэтому-то их и привлекает элегантная простота

систем классификации типа *FACS*. «Так почему же все технологии машинного обучения базируются лишь на концепции Экмана? — задается вопросом Кроуфорд. — А всего лишь потому, что эта концепция прекрасно сочетается с машинным обучением. Если полагать, что действительно существуют ограниченный набор мимических реакций и строго ограниченное число возможных эмоций, то с концепцией Экмана можно было бы полностью согласиться — к тому же эта теория соответствует нынешним техническим возможностям». Однако компании, работающие в области так называемого эмоционального искусственного интеллекта, помимо концепции Пола Экмана и модели *OCEAN* не забывают также и о других методах анализа эмоций. Один из них — так называемое колесо эмоций, предложенное покойным психологом Робертом Плутчиком (*Robert Plutchik*); данный подход используется британской компанией *Adoreboard*, которая задалась целью выявить эмоциональную составляющую в текстовых фрагментах. Во всех указанных подходах мы обнаруживаем стремление свести всю сложность человеческих аффектов к простым шаблонам. Но и в этом подходе тоже обнаруживаются схожие недостатки. Так, например, в одной из научных статей было показано, что модель *OCEAN*, если применять ее к представителям разных сообществ и культур, дает противоречивые результаты.

И все же, как уверяют ученые, приложения для анализа эмоций тоже способны принести пользу, правда, только в том случае, если мы не будем забывать об их недостатках. Так, например, специалист по робототехнике Аянна Хауард (*Ayanna Howard*), декан Инженерного колледжа при Университете штата Огайо, вмонтировала в робота, который обучает детей-аутистов социальному поведению, модифицированную версию по производству *Microsoft*, предназначенную для распознавания мимики. Если робот находил выражение лица ребенка «сердитым», то он пытался своим поведением разрядить ситуацию. И хотя с помощью ограниченного множества мимических шаблонов не всегда удается охарактеризовать истинное душевное состояние человека, тем не менее, по словам Хауард, и от мимических шаблонов тоже есть польза. «Да, каждый человек по-своему уникален. Но при этом он не так уж и сильно отличается от своих соседей. Вот почему, с одной стороны, в большинстве случаев нам действительно не всегда удается по мимике точно распознать то или иное душевное состояние, с другой — процесс распознавания не имеет и чисто случайный характер».

В целом алгоритмы, способные распознавать и собирать в большие базы данных реакции больших групп людей (как, например, разработки *Zelus* для распознавания лиц в толпе), со временем

станут еще более точными, поскольку, продолжает Барретт, если какая-либо информация «не чисто случайна», то в пределах большой выборки она становится статистически значимой. В то же время оценка личностных особенностей человека может ввести в заблуждение, поскольку все, что не гарантирует стопроцентной точности оценки, в конечном итоге приведет к дискриминации отдельных людей.

В наше время многие специалисты по компьютерному зрению стали скептичнее относиться к концепции, согласно которой человеческая мимика будто бы всегда точно отражает внутреннее душевное состояние человека. (Кстати, все большее число компаний стали заявлять, что выражение человеческого лица не служит точным индикатором эмоций или внутреннего душевного состояния.) «По мере развития этой области знаний растет понимание того, что выражение лица зачастую вообще реально не отражает истинные эмоции и чувства, — говорит специалист в области аффективных вычислений Джонатан Грэтч (Jonathan Gratch), профессор информатики из Университета Южной Калифорнии. — Различные выражения лица — это своего рода инструменты, с помощью которых мы пытаемся оказывать влияние друг на друга. Они чем-то напоминают слова в диалоге, и потому в них есть смысл. Однако по выражению лица мы все-таки не можем однозначно судить о тех чувствах, которые человек испытывает в данный конкретный момент».

**И все же не прекращаются попытки** научиться как можно точнее распознавать с помощью компьютерных средств эмоциональную реакцию человека, выявлять его личностные и поведенческие особенности и одновременно извлекать из этого выгоду. Вот почему сфера использования систем скрытого видеонаблюдения будет только расширяться. Как известно, технологические компании на протяжении двух десятков лет продолжают собирать персональные данные о пользователях, основываясь на информации об их поведении в интернете. То же самое эти компании будут делать и в новой сфере, затрагивающей более тонкие проявления человеческой природы — мимику и прочие невербальные реакции. «Если вы, скажем, представитель такого гиганта, как *Coca-Cola*, и проводите рекламную кампанию, действуя в основном через интернет, то сразу же становитесь обладателем всей необходимой информации о целевой аудитории, — говорит Джей Хаттон (Jay Hutton), генеральный директор компании *VSBLTY* из Ванкувера (эта компания предлагает ритейлерам умные видеорекамеры и умное ПО для осуществления скрытого видеонаблюдения за отдельными группами людей, анализа их состава и реакции на товары). — А почему бы и обычным компаниям

не воспользоваться технологиями компьютерного зрения и не получать аналитические данные столь же высокого уровня?»

И вот уже в декабре 2020 г. *VSBLTY* объявила о сотрудничестве с мексиканской пивоваренной компанией *Grupo Modelo*. Цель — создать к 2027 г. сеть видеорекамер, позволяющих собирать видеoinформацию в минимаркетах *Modelorama* и винных магазинах (а их число достигает 50 тыс.), расположенных не только в Мексике, но и в других странах Латинской Америки. Как уверяет Хаттон, спрос будет возникать везде, где есть электронные экраны и реклама. По его словам, данная технология «будет использоваться в транзитных узлах, в аэропортах, на стадионах», ведь «рекламодатели выкладывают миллионы долларов, только чтобы стать спонсорами, и им, конечно, хотелось бы отбить затраты».

Сбор персональной информации о мимике и прочем невербальном поведении вынуждает нас затронуть фундаментальную юридическую и социальную проблему: принадлежит ли человеку информация о его лице и теле? В большинстве стран мира вам ответят отрицательно: нет, не принадлежит, правда, при одном условии — эти данные не должны быть объединены с информацией, удостоверяющей личность. «Если вам захочется собрать информацию об эмоциональных особенностях некоей личности, которая находится в публичном пространстве, то пожалуйте — собирайте», — утверждает профессор Дженнифер Бард (Jennifer Bard) из Юридического колледжа Университета Цинциннати, изучавшая данный вопрос.

Большинство компаний, которые специализируются на анализе эмоций с помощью ИИ и открыто заявляют о том, что они собирают персональные данные о мимике и прочем невербальном поведении, уверяют нас, что вся эта информация анонимна, а коли так, то не нужно беспокоиться. Например, по словам Хаттона, компания *VSBLTY* не хранит никаких фотографий человеческих лиц или иных данных, которые могли бы как-то охарактеризовать того или иного человека. По словам же Мутафиса из *Zenus*, разработанное этой компанией приложение вообще не занимается пересылкой фотопортретов, зафиксированных видеорекамерами, из локальной системы в какую-нибудь центральную базу данных (за исключением только метаданных о настроении и местоположении). Кроме того, в момент проведения онлайн-совещаний приложение открыто уведомляет пользователей о том, что за ними ведется видеонаблюдение. «От этого можно отказаться, — пояснил Мутафис. — Мы считаем, что оповещать о видеонаблюдении — очень правильно. Необходимо сообщать о скрытом видеонаблюдении, ведь кто-то может из-за него чувствовать себя неудобно». Но, как правило, продолжает Мутафис, люди

не возражают насчет видеонаблюдения и даже как-то вообще о нем забывают. Правда, никаких общих стандартов в этой сфере еще не появилось, отсюда — большое количество разных программных приложений. И еще нам не совсем ясно, обратят ли наконец политики и рядовые граждане свое пристальное внимание на тот факт, что видеонаблюдение уже входит в нашу повседневную жизнь? Ведь этот вопрос касается не только политики, но и самих основ нашего общества.

Пол Экман, который в свое время сотрудничал с *Emotient* и *Apple* в области анализа эмоций с помощью ИИ, теперь уже предупреждает нас, что подобные приложения с участием ИИ представляют собой угрозу для конфиденциальности. Экман предлагает следующую меру: если какая-нибудь компания собирается осуществлять видеонаблюдение за человеком, то ее следует законодательно обязать, чтобы она сначала получила от него согласие. «К сожалению, эту технологию можно применять несанкционированно. Именно так все и происходит. И осуществляется это, понятное дело, совсем не для того, чтобы сделать человеку приятное, — сетует Экман. — С ее помощью пытаются навязать человеку покупку каких-нибудь ненужных ему товаров. Но это, пожалуй, еще не самое страшное».

Технологии распознавания эмоций с помощью ИИ уже проникли в личное пространство человека, поскольку именно здесь можно получить еще более точное представление о его невербальном поведении. Так, например, по утверждению представителя *Amazon*, виртуальный помощник *Alexa*, дабы улучшить свои алгоритмы, уже умеет по интонации выявлять степень разочарованности пользователя. А к 2023 г. некоторые автопроизводители начнут устанавливать в салоны автомобилей ИИ-системы для сбора информации о действиях водителя и поведении пассажиров. Автомобильные компании хотели бы заполучить эти данные (быть может, и в обезличенном виде) для того, чтобы проверить реакцию ИИ-системы, установленной в салоне авто, и усовершенствовать дизайн машины, а также измерить общую поведенческую реакцию, например общую эффективность работы водителя. (Компания *Tesla* уже собирает подобную информацию с помощью нескольких устройств, установленных внутри салонов своих автомобилей.) Скорее всего, для этой системы будут предусмотрены несколько режимов работы и у водителя появится возможность выбрать любой из них, уверяет Модар Алауи (Modar Alaoui), гендиректор компании *Eyeris*. Иными словами, если водитель не захочет включать систему распознавания эмоций с помощью ИИ, то сама она не станет работать. Директор по маркетингу компании *Affectiva* (недавно приобретенной шведской компанией *Smart Eye*) Габи Зайдервелд (Gabi Zijderveld)

утверждает, что установленные в салоне автомобиля системы видеонаблюдения, разработанные компанией, видео не записывают, вместо этого они лишь предоставляют доступ к метаданным.

**Специалист по компьютерному зрению** Алейс Мартинес (AleiX Martinez), ведущий научные исследования в Университете штата Огайо и в компании *Amazon* (кстати, Мартинес — соавтор статьи, написанной в 2019 г. совместно с Лизой Фелдман Барретт и подвергающей критике тезис о прямой зависимости между мимикой и душевными переживаниями человека), обожает показывать всем одну фотографию. Сначала он дает посмотреть только изображение лица, вроде бы отражающего смесь гнева и страха. Потом Мартинес демонстрирует все изображение целиком: оказывается, перед нами фотография футболиста, празднующего забитый гол. Таким образом, подчеркивает Мартинес, мимику, жесты и прочие невербальные сигналы следует трактовать не только во взаимосвязи с телесным выражением внутреннего состояния человека, но и с учетом общего контекста фотографии, ее фона. В итоге при распознавании эмоций с помощью ИИ самой большой проблемой на сегодня следует признать следующую: правильная интерпретация изображения с учетом неоднозначного фона. «Если я не знаю, что такое футбол, я никогда не смогу понять, что же произошло с тем футболистом на фотографии. Учет всех обстоятельств во всей их совокупности — вопрос наиважнейший. Но пока что у нас не создана система искусственного интеллекта, которая бы могла справиться с такой задачей», — объясняет Мартинес.

По словам Мартинеса, эффективность технологий распознавания эмоций с помощью ИИ увеличивается лишь в том случае, если перед нами стоит какая-нибудь узкая задача, а общий план на изображении отличается простотой, к тому же у нас есть разнообразные биометрические данные, например информация об особенностях человеческого голоса, жестикуляции, пульсе, изменении лицевого кровотока и т.д. Наверное, в будущем так называемые системы эмоционального ИИ научатся хорошо переваривать всю эту информацию. И вот тогда наш мир заполонят еще более мощные и назойливые технологии, к появлению которых человечество может оказаться не готовым. ■

Перевод: И.В. Нозаев

## ИЗ НАШИХ АРХИВОВ

- What's in a Face? Susana Martinez-Conde and Stephen L. Macknik; *Scientific American Mind*, January/February 2012.
- Facial Recognition — My Favorite Alternative to Password Login. David Pogue; August 2016.
- Instruments of Bias. Claudia Wallis; June 2021.





психология

# ДЛИННАЯ ТЕНЬ ТРАВМЫ

Пограничное расстройство личности — один из наиболее стигматизированных психиатрических диагнозов. Не пора ли начать рассматривать его как последствия травмы?

*Дайана Квон*

## ОБ АВТОРЕ

Дайана Квон (Diana Kwon) — журналист-фрилансер, живет в Берлине и пишет про здоровье и естественные науки.



**К**огда два года назад Энн попала в больницу после длительного эмоционального выгорания, у нее начались ночные кошмары. Ей снился отец, сновидения сменялись мучительными воспоминаниями о физическом и психологическом насилии, пережитом в детстве.

Мать-одиночка с тремя дочерьми, Энн, имя которой изменено для сохранения анонимности, выросла в Восточной Германии, в городе в часе езды от Берлина. В детстве ее окружали алкоголики, в числе которых были ее отец и дед. Часто она возвращалась после школы в пустой дом, а когда приходили родители, становилось только хуже. И мать, и отец проявляли физическую и эмоциональную жестокость. В подростковом возрасте она пережила несколько изнасилований. Кроме того, она потеряла близкую подругу, которая забеременела и была убита родным отцом.

По словам Энн, среди всех этих ужасных событий хуже всего ей было от недостатка сочувствия со стороны родителей. Когда она рассказала матери об изнасиловании, та ей ответила, что она сама виновата. Когда она ехала на велосипеде на работу и ее сбила машина, отец равнодушно сказал: «Вставай, все в порядке». И только после того, как шокированная коллега подбежала к ней с вопросом, почему у нее голова залита кровью, Энн поняла, насколько серьезной была авария. «Для меня самое тяжелое, — говорит Энн, и ее голос начинает дрожать, а из глаз текут слезы, — что родители не считают меня за человека».

Энн вспоминает, что была злобным агрессивным ребенком, но очень старалась контролировать свои эмоции и нормально общаться с окружающими. В подростковом возрасте она дважды пыталась покончить жизнь самоубийством. Сейчас Энн за 40, повзрослев, она часто вела себя рискованно, например слишком быстро водила машину, и часто ощущала потребность причинить себе боль — реализуя это желание, она расцарапывала свою кожу. Потребность была настолько навязчивой, что иногда по утрам она вставала с окровавленными руками. Эмоциональная регуляция по-прежнему дается ей с трудом: при возникновении проблем она ощущает себя раздавленной. «Мне нужно немедленно с кем-то поговорить, — рассказывает она, — Иначе я боюсь, что что-то с собой сделаю».

Я встретила Энн в Центральном институте психического здоровья, или ZI, — это сокращение от его немецкого названия. Институт занимает несколько кварталов в центре Мангейма — средних размеров города на юго-западе Германии. Там Энн лечат от комплексного посттравматического стрессового расстройства (КПТСР) — совокупности тяжелых и стойких симптомов, возникающих после длительной травмы, и от пограничного расстройства личности (ПРЛ) — состояния, характеризующегося сильными неустойчивыми эмоциями, отрицательно влияющего на самооценку и взаимоотношения человека и часто сопровождающегося самоповреждениями и суицидальным поведением.

ПРЛ и КПТСР имеют ряд общих черт, таких как сложности с эмоциональной регуляцией и измененное самовосприятие. Ключевое различие между ними в том, что КПТСР четко подразумевает, что состояние человека вызвано психологической травмой, а ПРЛ — нет. Симптомы многих людей подходят под критерии обоих заболеваний. Но вопрос, в какой степени травма играет роль в развитии ПРЛ, оставался предметом бурных споров среди психологов и психиатров.

Как показывают исследования, 30–80% людей с ПРЛ сообщают о пережитом травматическом опыте или же их состояние позволяет предположить травматическую причину. Большинство

специалистов, изучавших или лечивших людей с ПРЛ, признают, что не все, у кого диагностировано данное состояние, пережили травму, по крайней мере в традиционном понимании этого термина. Но появляется все больше данных о том, что само понятие «травма» неочевидно: даже если неблагоприятные события не соответствуют определению травмы из учебника, они могут оставлять долго сохраняющиеся следы в мозге и повышать риск развития таких психических заболеваний, как ПРЛ.

Благодаря этим данным возникают сомнения по поводу определения самого понятия ПРЛ и подходов к его лечению. Некоторые врачи и пациенты призывают переименовать ПРЛ в КПТСР, утверждая, что между этими двумя состояниями достаточно общего, чтобы отказаться от прежнего диагноза. Долгое время диагноз ПРЛ воспринимался негативно, причем даже психиатрами; некоторые из них вообще отвергали подобных пациентов, считая их сложными, не поддающимися лечению и склонными к манипулятивности. Другие специалисты говорят, что, хотя не все случаи ПРЛ — это КПТСР, имеется достаточно данных о влиянии давних стрессорных событий на развитие этого состояния, чтобы смена названия была оправданной.

«Я думаю, что пограничное расстройство личности не соответствует понятию "расстройство личности", — рассказывает мне психиатр из Центрального института психического здоровья Мартин Бохус (Martin Bohus). — Оно гораздо сильнее соответствует понятию стрессовых расстройств, поскольку мы видим у наших клиентов, что не бывает пограничного расстройства без пережитого ранее серьезного межличностного стресса».

### Размытые границы

В самом начале своей стажировки в психиатрическом отделении клиники в Германии Бохус увидел женщину с самоповреждениями, сидящую на полу и рисующую собственной кровью. Когда Бохус спросил о ней, главврач ответил: «О, это всего лишь пациентка с пограничным расстройством. С этим ничего не поделаешь. Просто выпишите ее».

«А если она покончит с собой?», — спросил Бохус. «Они никогда этого не делают», — ответил психиатр. — Они только пугают».

Следуя указанию своего наставника, Бохус выписал пациентку. Вскоре женщина покончила с собой.

Сейчас Мартину Бохусу за 60, он уважаемый специалист. Но эта история, произошедшая несколько десятков лет назад, стала первой из многих, благодаря которым он понял, что людей с ПРЛ лечат как-то неправильно. «В те времена [в этой области] полностью преобладало чрезвычайно консервативное и, я бы сказал, враждебное, высокомерное и презрительное отношение к пациентам», — рассказывает Бохус.

Термин «пограничное расстройство» был введен в 1930-х гг. немецко-американским психиатром Адольфом Штерном (Adolph Stern) для описания состояния, расположенного на границе между невротами, к которым относили не сопровождавшиеся галлюцинациями и бредом психические заболевания, такие как тревожность и депрессия, и психозами, когда люди перестают понимать, что реально, а что нет. Штерн писал, что эти пациенты «чрезвычайно трудно поддаются воздействию каких-либо психотерапевтических методов».

Годами «пограничное расстройство» осталось расплывчатым понятием. Оно стало официальным диагнозом в 1970-х гг., когда психиатр из Больницы Маклина в Белмонте, штат Массачусетс, Джон Гандерсон (John Gunderson) тщательно обследовал и описал группу пациентов, у которых ошибочно, как он считал, была диагностирована шизофрения. Гандерсон выделил шесть ключевых особенностей этих людей: сильные эмоции, которые по своей природе были обычно враждебными или депрессивными; импульсивное поведение в анамнезе; краткие психотические эпизоды; хаотичные отношения; нелогичное или «бессвязное» мышление, которое проявляется, например, в виде необычных ответов в тестах с открытыми вопросами; и способность поддерживать внешнюю видимость нормальности.

В 1980 г. понятие «пограничное расстройство личности» появилось в третьем издании «Диагностического и статистического руководства по психическим расстройствам» (*DSM*), основного справочника, используемого психологами и психиатрами США и исследователями во всем мире. Появление этого диагноза стимулировало изучение причин заболевания и разработку методов его лечения. В ходе долгосрочных исследований Гандерсона с коллегами было показано, что, хотя пограничное расстройство часто считают хроническим и неизлечимым, большинство пациентов в итоге выздоравливают.

В совокупности все расстройства личности определяются как устойчивые модели мышления и поведения, не соответствующие ожиданиям общества и вызывающие как индивидуальные, так и межличностные проблемы. Рассмотрение пограничного расстройства в качестве одного из таких расстройств остается спорным. Когда оно впервые появилось в *DSM*, то оказалось там в одном ряду с несколькими другими расстройствами личности, каждое из которых имеет свои характерные особенности. Для нарциссического расстройства личности, например, свойственны грандиозность, эгоцентризм и отсутствие эмпатии.

ПРЛ чаще диагностируют у женщин, но, по данным некоторых исследований, встречаемость заболевания среди мужчин и женщин примерно одинакова. Явные гендерные различия могут возникать

из-за большей готовности женщин обращаться за психологической помощью или из-за различий в проявлении заболевания, в связи с чем у мужчин чаще диагностируют другие расстройства личности, например нарциссическое или антисоциальное. Из-за таких накладок многие врачи и исследователи считают, что нет оснований выделять отдельные, четко различимые расстройства личности. Вместо этого они предлагают так называемую количественную модель, когда при едином общем диагнозе «расстройстве личности» выделяются разные степени тяжести симптомов и оценивается наличие определенных черт у каждого пациента.

Другие специалисты категорически отрицательно относятся к пересмотру существующей системы. В их числе Гандерсон и Бохус, которые утверждают, что благодаря большому объему исследований конкретных расстройств, в частности ПРЛ, найдены уникальные специализированные методы лечения, а внедрение совершенно новой модели затормозит прогресс и повредит пациентам. В публикуемом ВОЗ главном диагностическом документе — Международной классификации болезней (МКБ) — в версии 2019 г. использована новая, количественная модель, но сохранен термин «пограничное расстройство», чтобы угодить сторонникам выделения этого диагноза. *DSM* последний раз пересматривалось в 2013 г., и там сохранены отдельные категории, но добавлена альтернативная система диагностики, применяющая количественный подход. (И *DSM*, и МКБ широко используются по всему миру врачами и исследователями, занимающимися психическим здоровьем, однако названия заболеваний из МКБ чаще применяют при оформлении страховки.)

Разногласий много. Некоторые специалисты, такие как руководитель Лаборатории психопатологии развития Хьюстонского университета Карла Шарп (Carla Sharp), предполагают, что черты, характерные для ПРЛ, характерны и для других расстройств личности. Другие, например Бохус, считают, что ПРЛ уникально и напрямую связано с травматическим опытом в прошлом. Какую роль опыт играет в развитии других расстройств личности — неясно. На сегодня большинство исследований выполнены на людях с ПРЛ, потому что они чаще, чем люди с другими разновидностями расстройства личности, обращаются за помощью. Специалист по клинической психологии Медицинской школы Коннектикутского университета Джулиан Форд (Julian Ford) говорит, что, хотя он сам считает травму возможной причиной всех расстройств личности, этот вопрос не изучен. «Проведено достаточно исследований, чтобы предполагать, что травма может играть некоторую роль в развитии практически любых расстройств личности, — говорит Форд. — Но мне неизвестно об исследованиях, выясняющих, в чем конкретно заключается эта роль».

### Эмоциональная уязвимость

Бохус вспоминает, как в первые годы своей работы психиатром в Больнице Уэйлл Корнелл в Уайт-Плейнс, штат Нью-Йорк, наблюдал два принципиально разных метода лечения людей с ПРЛ. В первом случае пациентов держали взаперти и лечили сильнодействующими препаратами. Обстановка вокруг них была враждебной и подозрительной, и большинство оставались в отделении на год или дольше. Во втором случае отделение было открытым, а атмосфера вокруг — теплой и поддерживающей. Пациентам рекомендовали помогать друг другу развивать навыки преодоления стресса, и в основном они выписывались с заметным улучшением через несколько месяцев после поступления.

Во втором случае лечение в отделении было основано на методе, разработанном американским специалистом по клинической психологии Маршей Линехан (Marsha Linehan) у которой у самой был диагноз ПРЛ. Незадолго до окончания школы Линехан заперли в палате в Институте жизни, психиатрической больнице в Хартфорде. Там она резала себе конечности острыми предметами, наносила ожоги сигаретами и разбивала голову об пол. Ее врачи пробовали разные методы лечения, включая лекарства, электрошок, изоляцию и лечение холодом (ее заворачивали в ледяные одеяла и привязывали к кровати), которые, по словам Линехан, вероятно, принесли больше вреда, чем пользы.

Данный опыт, который Линехан в своих мемуарах назвала «состраданием в ад», побудил ее посвятить свою жизнь помощи таким же людям, как она. Со временем Линехан пришла к выводу, что это расстройство вызвано нарушением регуляции эмоций, поскольку для людей с ПРЛ характерны резкие перепады эмоций. «У людей с пограничным расстройством — психологический аналог ожога третьей степени, — рассказывала Линехан журналу *Time* в 2009 г. — Можно сказать, что у них нет кожи, защищающей их от эмоций. Даже малейшее прикосновение или движение может вызвать невыносимые страдания». У человека с ПРЛ даже очень слабые воздействия способны спровоцировать чувство глубокого стыда, гнева или отчаяния.

Используя эти идеи, Линехан разработала новый подход к лечению, который она назвала диалектической поведенческой терапией (*DBT*). Лечение направлено на принятие себя и изменение нежелательного поведения: «диалектическая» в названии описывает баланс между принятием и изменением. В ходе клинических испытаний выяснилось, что *DBT* успешно облегчает некоторые ключевые симптомы пограничного расстройства, такие как самоповреждение и суицидальное поведение, и снижает вероятность госпитализации.

Увидев *DBT* в действии, Бохус понял, что метод значительно превосходил другие доступные в то

## Травмированный мозг

Детские травмы оставляют неизгладимые следы в мозге. Некоторые изменения, например в структуре и функционировании миндалин, гиппокампа и других участков, задействованных в обработке воспоминаний и эмоций, характерны для всех форм жестокого обращения. Другие изменения более специфичны. Например, у детей, которых систематически оскорбляли словесно, могут быть ослаблены связи между областями, участвующими в понимании и воспроизведении речи. Скорее всего, эти изменения помогли пережить стресс, но в более позднем возрасте они могут привести к появлению психологических проблем. Однако у многих людей, имеющих такие следы насилия в мозге, не возникло психических заболеваний. Вероятно, в остальном они росли в благоприятных условиях и оказались защищены, избежав «травмирующего обесценивания».

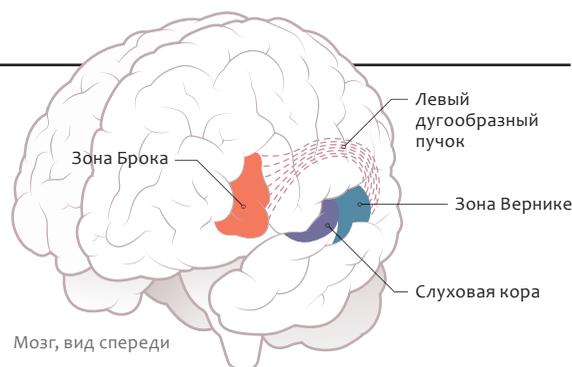
### Области, измененные из-за словесных оскорблений в детстве



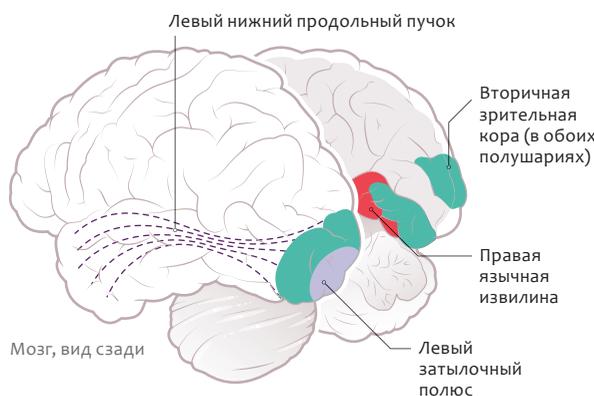
**Левая слуховая кора** ●  
Область верхней височной извилины, обрабатывающая звуковую информацию.



**Левый дугообразный пучок** ●  
Пучок нервных волокон, соединяющих в мозге зоны Брока и Вернике — две области, участвующие в воспроизведении и понимании языка.



### Области, пострадавшие у свидетелей бытового насилия



**Вторичная зрительная кора в обоих полушариях** ●  
Связана со зрительной памятью и другими аспектами зрения.



**Правый затылочный полюс** ●  
Первичная зрительная кора, любое повреждение в этой области вызывает потерю части поля зрения.



**Левый нижний продольный пучок** ●  
Длинный нервный путь, соединяющий области обработки зрительной информации в передней и задней частях мозга. Эти две области участвуют в восприятии лиц.



**Правая язычная извилина** ●  
Часть первичной зрительной коры, связанная со способностью обрабатывать зрительную информацию, особенно связанную с текстом.

### Области, страдающие при сексуальном насилии в детстве



**Правая и левая первичная зрительная кора** ●  
Реагирует на простую зрительную информацию, такую как ориентация и направление.



**Ассоциативные зоны зрительной коры** ●  
Считается, что они помогают распознавать и различать зрительные формы и объекты.



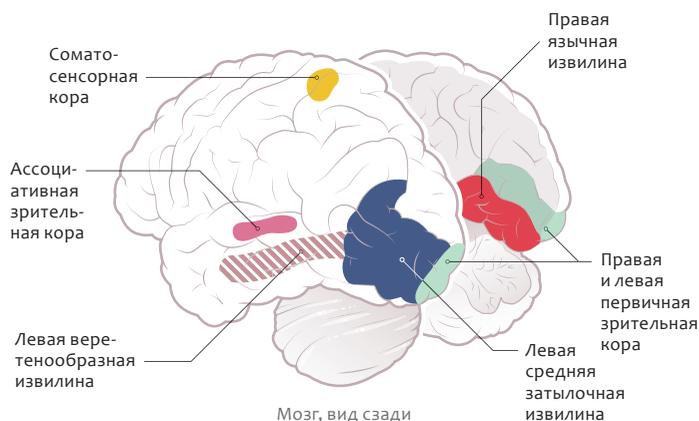
**Левая средняя затылочная извилина** ●  
Помогает воспринимать тела и лица.



**Левая веретенообразная извилина** ●  
Считается, что обеспечивает обработку выражений лиц и, таким образом, имеет важнейшее значение для адекватного социального взаимодействия.



**Участки соматосенсорной коры** ●  
Область, обрабатывающая сенсорную информацию от клитора и окружающих его органов.





время способы лечения ПРЛ. Вернувшись в Германию, он создал первое в стране отделение, специализирующееся на лечении ПРЛ методом диалектической поведенческой терапии. С тех пор появилось много *DBT*-клиник в Европе, США, они начали открываться в Латинской Америке, Азии и на Ближнем Востоке. Однако, несмотря на преимущества *DBT*, с годами Бохус увидел также и моменты ограниченности этого метода, когда пытались разобраться с травмой, которая была у многих его пациентов.

### Травма с большой буквы

ПТСР в качестве официального диагноза появился в *DSM* в 1980 г.; впервые туда попало психическое заболевание, вызванное внешней причиной. ПТСР определялось как состояние, при котором вследствие ужасного события появились такие проблемы, как навязчивые воспоминания, ночные кошмары и тревожность. О таких заболеваниях было известно десятилетиями: вспомним, например, «боевую психическую травму», описанную во время Первой мировой войны. Но появление диагноза

в *DSM* произошло благодаря осознанию психологических потребностей ветеранов войны во Вьетнаме.

В начале 1990-х гг., после многолетнего изучения литературы о переживших травму, психиатр из Гарвардского университета Джудит Герман (Judith Herman) предложила понятие «комплексное ПТСР» в качестве нового диагноза (отличного от ПТСР) для описания совокупности симптомов, возникших после длительного воздействия сильнейшего стресса. Герман отмечала, что такое состояние возникает, когда один человек находится под контролем другого человека, например в условиях тюрем или концентрационных лагерей, или в некоторых семьях. Среди симптомов были сложности с регулированием эмоций, нестабильность личных отношений, патологические изменения в идентичности и самооценке и самоповреждающее поведение.

«Сейчас диагноз ПТСР сформулирован таким образом, что учитывает главным образом наблюдения за пережившими относительно кратковременные травматические события, — писала Герман в статье в 1992 г. — Эта формулировка не отражает многообразных последствий длительной, повторяющейся травмы». Она также отмечала, что симптомы людей с КПТСР «слишком легко приписывались исходным особенностям характера» и могли быть ошибочно диагностированы как пограничное расстройство.

Споры продолжались десятилетиями. Одной из главных причин для разногласий оказалось значительное перекрытие этого диагноза с ПРЛ. Психиатр и директор Института расстройств личности им. Джона Гандерсона Больницы Маклина Лоис Чой-Каин (Lois Choi-Kain) вспоминает шумные дискуссии, бушевавшие в начале 2000-х гг. «Были огромные разногласия и почти бешеные споры о различии между ПРЛ и ПТСР или расстройствами, связанными с травмой, как будто они были взаимоисключающими и в итоге могло остаться только что-то одно», — рассказывает психиатр. Она поясняет, что люди обычно делились на два лагеря: те, кто считал, что ПТСР неправильно рассматривать как проблему личности, и те, кто говорил, что у многих с ПРЛ в прошлом была травма, но это не дает полного объяснения заболеванию.

Главным вопросом в этих спорах был: что считать травмой? Хотя некоторые люди с ПРЛ, такие как Энн, в прошлом пережили тяжелые травматические события и им явно можно

диагностировать КПТСР, у многих других такого не было. Например, у Ребби Ратнер (Rebbie Ratner), женщины 49 лет, которой десять лет назад диагностировали ПРЛ, ведущей на YouTube канал «Пограничные заметки» (*Borderline-Notes*) для повышения осведомленности об этом заболевании. Ратнер рассказывает, что в ее жизни был период, когда она рассматривала диагноз КПТСР в качестве объяснения сильной эмоциональной боли и большого количества своих проблем, в числе которых было много разрушенных отношений и серьезное расстройство пищевого поведения. «Это объяснение никогда меня полностью не устраивало, — говорит Ратнер. — В моей семье было несколько действительно психологически тяжелых событий, — поясняет она, — но ни одно из них не было достаточно серьезным, чтобы соответствовать критерию травмы, вызывающей заболевание. И, я думаю, мои родители действительно любят меня».

В пятом и последующих изданиях *DSM* «травма» определяется как событие, представляющее собой «смерть или угрозу смерти, серьезное телесное повреждение или сексуальное насилие». Человек может непосредственно участвовать в этом событии, наблюдать за ним, знать, что оно произошло с близким членом семьи или другом, или неоднократно сталкиваться с таким событием (например, если он работник экстренной службы). Однако для многих специалистов в области психического здоровья понятие травмы не так однозначно. Официальное определение можно считать травмой с большой буквы, тогда как травма с маленькой буквы, связанная со словесными оскорблениями, пренебрежением, буллингом и бедностью, считается недостаточно серьезной, чтобы соответствовать диагнозу. «Определение травмы — это всегда чрезвычайно сложно», — говорит психолог из Цюрихского университета и один из сторонников понятия КПТСР Андреас Меркер (Andreas Maercker).

В крупном американском исследовании потенциально травмирующих событий (начиная от насилия и пренебрежения и заканчивая взрослением в нестабильной семье) показано, что почти две трети взрослых в детстве пережили по крайней мере одно такое событие. Нейровизуализация мозга этих людей показала, что некоторые травмы с маленькой буквы могут оставлять неизгладимые следы в мозге, особенно если эти события происходили в детстве или в подростковом возрасте, когда мозг все еще развивается. Некоторые из таких изменений весьма специфичны. Например, у людей, которых словесно оскорбляли родители, по-видимому, наблюдаются изменения в слуховой зоне коры, которые коррелируют с вербальными трудностями в более позднем возрасте. Среди более широких последствий — уменьшение размера гиппокампа (структуры, участвующей в процессах

обучения и памяти), повышенная активность миндалины (важнейший центр регуляции эмоций) и изменение связей между этими и другими участками мозга.

«Последствия эмоционального насилия или эмоционального пренебрежения действительно весьма серьезны, — говорит Мартин Тейчер (Martin Teicher), руководитель Исследовательской программы по биопсихиатрии развития в Больнице Маклина. — По своему воздействию на мозг они полностью сопоставимы с физическим и сексуальным насилием».

При обследовании людей с диагнозом ПРЛ был выявлен целый ряд внешних воздействий, повышающих риск развития этого заболевания. К ним относятся как травмы с большой буквы, такие как сексуальное насилие в детстве, так и травмы с маленькой буквы, такие как грубые методы воспитания, пренебрежение и буллинг. Бохус вместе с другим психиатром из *ZI*, Кристианом Шмалем (Christian Schmah), и их коллегами обнаружили, что у пациентов с ПРЛ и у людей, переживших травмы, имеются некоторые общие нейробиологические изменения, среди них структурные и функциональные нарушения в связанной с эмоциями лимбической системе, в состав которой входят миндалины и гиппокамп.

Шмаль говорит, что такие схожие изменения могут быть признаками травмы или стресса, из-за которых развилось ПРЛ. Четко охарактеризовать особенности ПРЛ на нейронном уровне пока затруднительно, но уже получены результаты, на основе которых могут появиться новые способы лечения. Шмаль с коллегами из *ZI* сейчас проверяют, можно ли дополнить существующие методы лечения еще и использованием биологической обратной связи, когда людей учат контролировать активность определенных отделов мозга, в частности миндалины, в режиме реального времени.

«Травматические события, будь то травля в детстве или пренебрежение со стороны родителей или воспитателей, имеют долгосрочные последствия — они влияют на вашу способность доверять другим, регулировать свое эмоциональное состояние, справляться с проблемами, — рассказывает Шелли Макмейн (Shelley McMain), специалист по клинической психологии из Центра наркологии и психического здоровья в Торонто. — Они влияют на различные сферы жизни, поэтому я думаю, что очень важно учитывать последствия неблагоприятного детского опыта при лечении людей, у которых диагностировано пограничное расстройство личности».

Некоторые специалисты, например Чой-Каин, считают, что хотя стресс и прошлые травмы играют большую роль в развитии ПРЛ, у этого расстройства есть и другие причины. Во-первых, в исследованиях, где сравнивали идентичных

и разнояйцовых близнецов (то есть тех, у кого почти 100% генов одинаковые, и тех, у кого таких генов примерно 50%) и оценивали вероятность распространения заболевания в семье, оказалось, что это расстройство хорошо наследуется, следовательно, здесь должен быть еще и генетический компонент. По словам Карлы Шарп из Хьюстонского университета, такая биологическая предрасположенность может означать, что ребенок рождается с повышенной чувствительностью и из-за этого с большей вероятностью сложные ситуации станут для него травмирующими.

Кроме того, Чой-Каин отмечает, что между травмой и ПРЛ есть двусторонняя связь. Такие симптомы ПРЛ, как нарушение эмоциональной регуляции и высокая чувствительность в межличностных взаимодействиях, могут повысить уязвимость в стрессовой ситуации, помешать человеку полноценно общаться и эффективно справляться с проблемами. «Человек с повышенной эмоциональной чувствительностью и чувствительностью к межличностным взаимодействиям становится импульсивным и злится на людей, когда ощущает обиду или угрозу, и рискует быть неправильно понятым, отвергнутым, получить замечание или ответную агрессию, — добавляет она. — Этим объясняется, почему люди с таким расстройством постоянно сталкиваются с социальными трудностями». Например, в одном исследовании в 2014 г. с участием более 2 тыс. девочек-подростков и их родителей выяснилось, что выраженность симптомов ПРЛ позволяет предсказать, насколько жестким будет поведение родителя в следующем году.

Чой-Каин считает, что замена диагноза ПРЛ на КПТСР способна принести больше вреда, чем пользы. «У человека может развиться ПРЛ из-за того, что ему выпала слишком неблагоприятная комбинация биологических и средовых факторов, — рассказывает она. — И делать акцент на наличии травмы — все равно что говорить, будто право на этот диагноз есть только у тех, кто пережил серьезную травму».

### Травматическое обесценивание

Одна из самых больших и давних загадок — почему у некоторых людей, имеющих неблагоприятный детский опыт, в результате развиваются ПРЛ или иные заболевания, например КПТСР, депрессия или наркотическая зависимость, а у других нет. В поисках ответов группа Тейчера с помощью методов нейровизуализации обследовала людей, у которых не было никаких психиатрических диагнозов, несмотря на жестокое обращение в раннем возрасте. К удивлению ученых, мозг этих людей выглядел почти так же, как у людей с разнообразными диагнозами, но в некоторых областях, например в миндалине, имелись отличия. По словам Тейчера, с помощью таких отличий можно

объяснить, почему некоторым людям удастся противостоять психологическим последствиям проблем в раннем возрасте.

Какие факторы обеспечивают устойчивость либо уязвимость, остается неясным. Возможно, те, у кого развилось ПРЛ, росли в условиях, которые Линехан называет «травматичной обесценивающей средой», где человек ощущает, что окружающие его не принимают. Это могут быть, например, недостаток сочувствия и родительской заботы в трудную минуту, постоянное неодобрение от членов семьи или буллинг со стороны сверстников. Бохус рассказывает, что накопление таких событий может привести к целому ряду негативных последствий, таких как чувство отчуждения и повышенная чувствительность к отторжению. «Большинству наших пациентов было очень сложно приспособиться к положительным сигналам из-за подобного опыта повторяющегося травматического обесценивания», — говорит Бохус.

Изучив десятки женщин, подвергшихся жестокому сексуальному насилию в раннем возрасте, Бохус с коллегами нашли доказательства того, что те, кому удалось избежать дополнительного мучительного обесценивания, способны формировать полноценные партнерские отношения и жить без психиатрических проблем. По словам Бохуса, очень важно, что у них был кто-то, с кем они могли обсудить произошедшее. «Конечно, это ужасно, это трагедия, — говорит он. — Но если вам есть, с кем это обсудить, то это чуть менее трагично».

Энн считает главной причиной своих проблем постоянное обесценивание со стороны родителей. «Я не могу по-настоящему любить себя, потому что мои родители говорили мне, что я не заслуживаю любви, — рассказывает она. — Мне нужно преодолевать это ежедневно. Каждый божий день я прощаюсь и говорю, что хочу жить иначе». Само по себе хроническое обесценивание тоже считается травмой с маленькой буквы, но может и без других тяжелых и болезненных событий приводить к развитию ПРЛ. Яна (имя изменено из соображений конфиденциальности), пациентка с ПРЛ, проходящая лечение в ЗИ, рассказывает мне, что развитию ее состояния, вероятно, способствовало отсутствие эмоциональной поддержки в детстве. «Я не знаю, любила ли меня мать или просто считала, что должна любить, а что касается отца — я знаю, что он любил меня, но не умел этого показать, — говорит она. — Если родители не ценят ваши чувства <...>, вы так и не научитесь строить отношения и пользоваться своими эмоциями».

### Разорвать замкнутый круг

Стационар для пациентов с ПРЛ и КПТСР в Мангейме расположен в одном из новейших зданий Центрального института психического здоровья. Фасад дома преимущественно стеклянный,

а внутри чисто и светло. Стефани Молл (Stephanie Mall), молодой психолог, работающая в отделении, проводит мне экскурсию по этажу, где находятся взрослые пациенты. Двери с именами пациентов закрыты, и атмосфера неожиданно спокойная. «Здесь всегда так тихо?» — спрошу я позже. «Нет, не всегда», — смеясь ответит Молл. Она поясняет, что во второй половине дня большинство пациентов либо выходят на улицу, либо ложатся вздремнуть. По утрам обычно происходят сеансы групповой и личной терапии, поэтому к полудню многие устают.

Когда мы уселись пообедать в парке в квартале от ZI, Молл рассказала о пациентке, поступившей в клинику после попытки самоубийства, приведшей ее в реанимацию. Ей диагностировали ПРЛ, и состояние ее было очень тяжелым — она почти не разговаривала, была чрезвычайно подавлена, постоянно резала руки так сильно, что раны приходилось зашивать. «Мы выяснили, что у нее ПТСР», — рассказывает Молл. Женщина пережила серьезное насилие, как сексуальное, так и иное. Только после диалектической поведенческой терапии и лечения травмы пациентке стало лучше. «Она больше не занимается самоповреждением, — говорит Молл. — Она не пытается покончить с собой. Она хочет жить». Раньше «все считали ее агрессивной, манипулятивной, все время сопротивляющейся, но никто не интересовался, почему она такая».

Несколько групп клинических исследователей в разных концах земного шара сейчас работают над тем, чтобы при лечении ПРЛ обращали внимание на травму. В ZI группа Бохуса предложила новый способ лечения, сочетающий диалектическую поведенческую терапию и терапию для травмы (во время которой пациент в безопасной среде сталкивается со стимулами, запускающими воспоминания о травме), и назвала этот подход *DBT-PTSD* (диалектическая поведенческая терапия для посттравматического стрессового расстройства). Одна из основных задач такого лечения — помочь людям связать свой предыдущий травматичный опыт со своим нынешним состоянием и при этом определить, какими стимулами запускаются нежелательные мысли и поведение. «Вам нужно вновь вспомнить эти стимулы и научить мозг, что теперь они ничего не значат», — объясняет Бохус. Сама по себе диалектическая поведенческая терапия хорошо учит людей описывать и регулировать свои эмоции, чтобы контролировать свое поведение. Однако она почти никогда не занимается смысловой значимости стимулов.

Бохус с коллегами недавно провели многоцентровое рандомизированное контролируемое исследование в трех амбулаторных клиниках в Германии, чтобы оценить эффективность своего способа лечения для женщин с ПТСР, связанным

с пережитым в детстве насилием, при этом имеющих несколько признаков ПРЛ. В ходе исследования, опубликованного в июле 2020 г. в журнале *JAMA Psychiatry*, было показано, что такое лечение достоверно ослабляло симптомы ПТСР и ПРЛ, причем в большей степени, чем хорошо зарекомендовавшая себя когнитивно-обрабатывающая терапия.

Сейчас эта исследовательская группа модифицирует лечение таким образом, чтобы оно подходило людям с ПРЛ, но без больших травм в прошлом, и чтобы оно было направлено непосредственно на последствия травматического обесценивания. Исследователи назвали новый метод «структурированной экспозицией в диалектической поведенческой терапии» (*SE-DBT*). В январе начнутся его первые испытания в двух клиниках в Германии и в одной в Канаде. «Я считаю, что акцент на работе с травмой при психотерапии ПРЛ — это революционная идея и, вероятно, запоздалая, — говорит Макмейн, которая возглавит испытания в Канаде в Центре наркологии и психического здоровья. — Мы надеемся, что это ускорит изменения и восстановление».

Проведя несколько месяцев в ZI в клинике для пациентов с ПРЛ и КПТСР, Энн сейчас продолжает лечиться амбулаторно. Она все еще работает с пережитой травмой, но ее способность контролировать свои эмоции значительно улучшилась.

Даже при доступности новых способов лечения многие люди с сочетанием диагнозов ПРЛ и КПТСР все еще испытывают значительные сложности при поиске психотерапевтов, способных по приемлемой цене предоставить такое лечение, длящееся месяцами или даже годами. Для Пегги Ван (Peggy Wang), американки, у которой диагностировали одновременно ПРЛ и КПТСР, главный вопрос не в том, какой диагноз ей больше подходит, а в том, как ей получить лечение, которое ей поможет. У Ван множество проблем, среди которых употребление наркотиков, отсутствие постоянной работы, сложности с формированием здоровых отношений. Она считает, что все это связано с пережитым эмоциональным и физическим насилием со стороны родителей. Ван рассказала мне, что в течение десяти лет меняла психотерапевтов одного за другим в Нью-Йорке и Калифорнии. Когда в итоге она нашла подходящего, то смогла заплатить лишь за небольшое количество сеансов.

«Неважно, как это назвать, — говорит Ван. — Важно найти от этого спасение».

**Перевод: М.С. Багоцкая**

## ИЗ НАШИХ АРХИВОВ

■ Квон Д. Расстройство мозга и психики // ВМН, № 1–2, 2021.

**ОБ АВТОРЕ**

**Клаудиа Уоллис** (Claudia Wallis) — научная журналистка, лауреат премий, автор статей в *New York Times*, *Time*, *Fortune* и *New Republic*. Была выпускающим редактором *Scientific American Mind* и научным редактором *Time*.



# Йога для вашего мозга

Сканирование головного мозга свидетельствует о том, что эта древняя тренировка тела и духа способствует укреплению нервной системы

**Клаудиа Уоллис**

Честно говоря, я немного помешана на йоге. Я занимаюсь ею несколько десятков лет и недавно получила сертификат тренера по йоге. Однако некоторые высказывания относительно ее влияния на состояние здоровья меня смущают. Действительно ли йога помогает при расстройстве пищеварения? Неужели она способствует нормализации работы щитовидной железы? Иногда на занятиях йогой я изо всех сил пытаюсь спокойно воспринимать указания тренера сделать нечто невозможное с анатомической точки зрения, например такое: «Дышите той областью тела, где находятся почки».

Йога — составной элемент религиозной и философской системы Индии; она лежит в основе восточной медицины и рассматривает человеческое тело как совокупность энергетических каналов и узлов — картина, с трудом согласующаяся с представлениями западной медицины. Но с начала текущего столетия в научных исследованиях, касающихся йоги, произошел перелом. В рамках многих недавних аналитических разработок йогу рассматривают как «вспомогательную терапию», которую можно применять наряду с другими способами избавления от таких недугов, как боль в спине, депрессия, тревога и артрит. Многие из этих исследований свидетельствуют о пользе занятий йогой. Однако даваемые

рекомендации не систематизированы и часто имеют субъективный характер. На этом фоне на меня произвела большое впечатление опубликованная в 2019 г. обзорная статья, в которой упор делался на более объективный показатель: результат сканирования головного мозга. Полученные данные далеко не окончательны, однако они указывают на положительное влияние упражнений на головной мозг и рациональность объединения йоги и научного подхода.

В аналитическом исследовании, выполненном под руководством Нехи Готе (Neha Gothe), заведующей Лабораторией психологического тренинга Иллинойского университета в Эрбане — Шампейне, рассмотрены 11 работ, в которых применялись различные типы сканирования головного мозга, чтобы оценить, как влияют на него занятия йогой. Готе с коллегами ограничили свой анализ исследованиями, которые включали три основных элемента йоги: позы, дыхательные упражнения и медитацию. В ходе шести исследований проводилось сравнение головного мозга людей, давно занимающихся йогой, с мозгом новичков, которые были одного возраста, имели одинаковое состояние здоровья, находились в сходной физической форме или придерживались одинакового уровня физической активности. В пяти остальных

Йога рассматривалась как некое воздействие, а испытуемые были случайным образом распределены по группам в соответствии с продолжительностью занятий йогой или отнесены к контрольной группе.

Готе признает, что пока это «непаханое поле» и большинство исследований не были масштабными. Но, несмотря на разнообразие групп испытуемых, три характерные особенности отличались некоторым постоянством: занятия йогой могут способствовать увеличению объема серого вещества гиппокампа — ключевой структуры, отвечающей за память; они приводят к увеличению объема областей префронтальной коры, которые связаны с когнитивными функциями более высокого порядка; они усиливают межнейронные взаимодействия по сравнению с таковыми в исходной сети. Эта сеть играет определенную роль в процессах запоминания и эмоциональной деятельности и в «том, что мы называем самореферентной обработкой — обработкой информации о себе», — объясняет Джессика Дамуазо (Jessica Damoiseaux), когнитивный нейробиолог из Университета Уэйна в Детройте, штат Мичиган, и соавтор обзорной статьи. «Какую роль играет увеличение объема серого вещества в этих областях, не вполне ясно, — говорит она. — Но это предполагает образование дополнительных связей между нейронами и эффективное функционирование».

Дамуазо занимается исследованием возрастных изменений головного мозга. По ее наблюдениям, структуры, на которые, по-видимому, положительно влияют занятия йогой, имеют тенденцию уменьшаться с возрастом, особенно у людей, страдающих деменцией. Увеличение объемов, связанное с йогой, сходно с наблюдаемым при аэробных упражнениях. В связи с этим возникает вопрос: действительно ли в йоге с ее медитативным компонентом есть что-то особенное или это просто еще один вид тренировки, улучшающей работу мозга?

Сейчас сложно ответить на этот вопрос. «Положительная сторона занятий йогой заключается в том, что она сочетает в себе массу полезных для человека факторов», — замечает Кэтрин Бушнелл (Catherine Bushnell), старший научный сотрудник Национального центра комплементарного и интегративного здравоохранения при Национальных институтах здоровья. В ходе предварительных исследований, имевших наблюдательный характер, трудно установить причинно-следственную связь



между занятиями йогой и изменениями в анатомии и функциях мозга. Так, Бушнелл обнаружила, что у людей, длительное время занимающихся йогой, болевой порог выше, чем обычно, а толерантность к боли связана с увеличением количества серого вещества в области островковой коры головного мозга. Однако нельзя утверждать, что дело здесь непосредственно в йоге. «Возможно, в нашем организме заложена потребность заниматься йогой и этот же личностный фактор обуславливает увеличение количества серого вещества», — говорит Бушнелл.

Вероятно, более четкий ответ удастся получить в результате тщательных исследований, основанных на результатах небольших экспериментов. Так, Готе недавно получила федеральный грант на проведение исследования, в ходе которого 168 пожилых людей будут распределяться по группам, где они в течение шести месяцев будут заниматься йогой, аэробными упражнениями или растяжкой и укреплением мышц. Цель заключается в том, чтобы сравнить влияние различных типов тренировок на анатомию мозга и когнитивные показатели. По мнению Бушнелл, «это именно то исследование, которое нам нужно». ■

Перевод: С.Э. Шафрановский

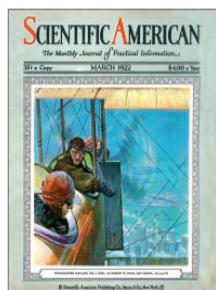


## МАРТ 1972

**Марсианский вулкан.** Марс продолжает удивлять исследователей, участвующих в программе «Маринер-9». Этот космический аппарат находится на орбите Красной планеты с 13 ноября. Возможно, самая впечатляющая ее особенность — вулканический конус

диаметром не менее 480 км у основания, что делает его больше любого сопоставимого объекта на Земле. На крупноплановых снимках склонов вулкана видна линейчатая текстура, почти наверняка созданная потоками лавы. Вулкан совпадает с округлым объектом, обозначенным на картах с 1879 г. как *Nix Olympica* («Снега Олимпа»). На фотографиях, переданных «Маринером-6» и «Маринером-7», он казался гигантским кратером диаметром около 480 км; теперь видно, что это конус высотой не менее 6,5 км.

**Компьютерная логика.** Стремясь создать компьютер, с которым было бы легче работать, корпорация *Fairchild Camera and Instrument* разработала новую компьютерную систему, в которой значительная часть задач, обычно возлагаемых на программное обеспечение, выполняется аппаратными средствами, то есть логическая схема встроена непосредственно в компьютер. Компания *Fairchild* называет новую систему *SYMBOL*, что подчеркивает непосредственную аппаратную символическую адресацию. Система будет поддерживать управление многими критическими областями памяти в 10–100 раз эффективнее, чем сейчас это делает ПО. Первый прототип новой системы *Fairchild* — *SYMBOL IIR* — проходит испытания в Университете штата Айова.



## МАРТ 1922

**Аура человека — ультрафиолет.** Каждый человек окутан дымкой, в обычных обстоятельствах невидимой. Долгое время считалось, что этот ореол, изображенный на старых картинах, явлен только отдельным «ясновидящим», обладающим особым даром. Неоспоримое свидетельство Уолтера Килнера (Walter J. Kilner), специалиста в области электричества из Больницы Св. Томаса в Лондоне, приведенное в его книге «Атмосфера человека» (*The Human Atmosphere*), должно сразу же опровергнуть любые намеки на то, что это побочный продукт оккультизма или шарлатанства. Профессор Килнер говорит: «Хотя в настоящее время невозможно точно утверждать, из чего состоит аура, я чувствую, что мы имеем дело с ультрафиолетовым явлением.

Среди портретов медведя периода палеолита есть выгравированное изображение пещерного медведя с выуклым лбом. Визуальный образ длиной в 50 см — одно из многих изображений животных ледникового периода в пещере Комбарель недалеко от коммуны Лез-Эзи-де-Тайак-Сирей во Франции (1972).

На физическую ауру могут влиять и внешние силы, такие как электричество и химические вещества».

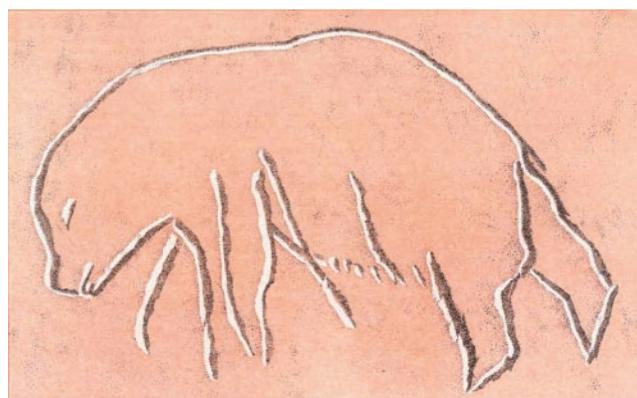
**Чай из остролиста.** Разновидность падуба, буйно произрастающего на площади более 103,6 тыс. км<sup>2</sup> в штатах вдоль побережья Южной Атлантики и Мексиканского залива, может в недалеком будущем стать сырьем для массово производимого напитка. Джордж Митчелл (George F. Mitchell), специалист по чаю из Химического бюро [Министерства сельского хозяйства США], правильно оценил ценность местного растения как стимулирующего напитка, подобного импортируемому чаю и кофе. Этот кустарник широко используется в декоративных целях и в качестве замены рождественским елкам. Образцы листьев, проанализированные химиками, показали содержание до 1,65% кофеина. Лабораторные эксперименты и наблюдения на юге США прошлым летом указывают на то, что можно приготовить великолепный напиток. Чай, завариваемый сегодня в лаборатории бюро, бывает двух цветов: темный и зеленоватого оттенка.



## МАРТ 1872

**Вред свинца.** За немногими исключениями все отвары, продаваемые с целью «восстановления» цвета или окрашивания волос, содержат соли свинца — смертельный яд, крайне вредный для здоровья при нанесении на кожу головы или другие части тела

даже в ничтожно малых количествах. Профессор Чарлз Чандлер (Charles F. Chandler) из Колумбийского колледжа исследовал множество препаратов и в каждой жидкой унции многих популярных марок обнаружил свинец.



Среди портретов медведя периода палеолита есть выгравированное изображение пещерного медведя с выуклым лбом. Визуальный образ длиной в 50 см — одно из многих изображений животных ледникового периода в пещере Комбарель недалеко от коммуны Лез-Эзи-де-Тайак-Сирей во Франции (1972).

**Editor in Chief:**

Laura Helmuth

**Copy Director:**

Maria-Christina Keller

**Creative Director:**

Michael Mrak

**Managing Editor:**

Curtis Brainard

**Chief Features Editor:**

Seth Fletcher

**Chief News Editor:**

Dean Visser

**Chief Opinion Editor:**

Megha Satyanarayana

**Senior Editors:**

Mark Fischetti, Josh Fischman, Clara Moskowitz,  
Madhusree Mukerjee, Jen Schwartz, Kate Wong

**Associate Editors:**

Gary Stix, Lee Billings, Sophie Bushwick,  
Andrea Thompson, Tanya Lewis, Sarah Lewin Frasier

**Editors Emeriti:**

Mariette DiChristina, John Rennie

**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:**

Ryan Reid

**Senior Graphics Editor:**

Jen Christiansen

**Acting President:**

Stephen Pincock

**Executive Vice President:**

Michael Florek

**Vice President, Commercial:**

Andrew Douglas

**Publisher and Vice President:**

Jeremy A. Abbate

© 2022 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

### Происхождение пространства и времени

Возможно, пространство-время возникло из более фундаментальной реальности. Выяснение того, как это произошло, могло бы помочь достичь самой насущной цели физики — создания теории квантовой гравитации.

### Тяжкое бремя генома

Фантастическая жизнеспособность саламандр заставляет исследователей менять традиционные представления об эволюции.

### Уроки правды

Дети — главная мишень дезинформации, но педагоги пока не могут понять, как лучше всего учить их отличать факты от вымысла.

### Путаница в мыслях

Люди, склонные делать поспешные выводы, обычно чрезмерно самоуверенны, чаще верят конспирологическим теориям и совершают другие когнитивные ошибки.

### Почти как люди

Анализ ископаемых останков из Хорватии показывает, что «дремучие» неандертальцы гораздо сильнее походили на современного человека, чем до сих пор считали ученые.

### Психоделики лечат психотравмы?

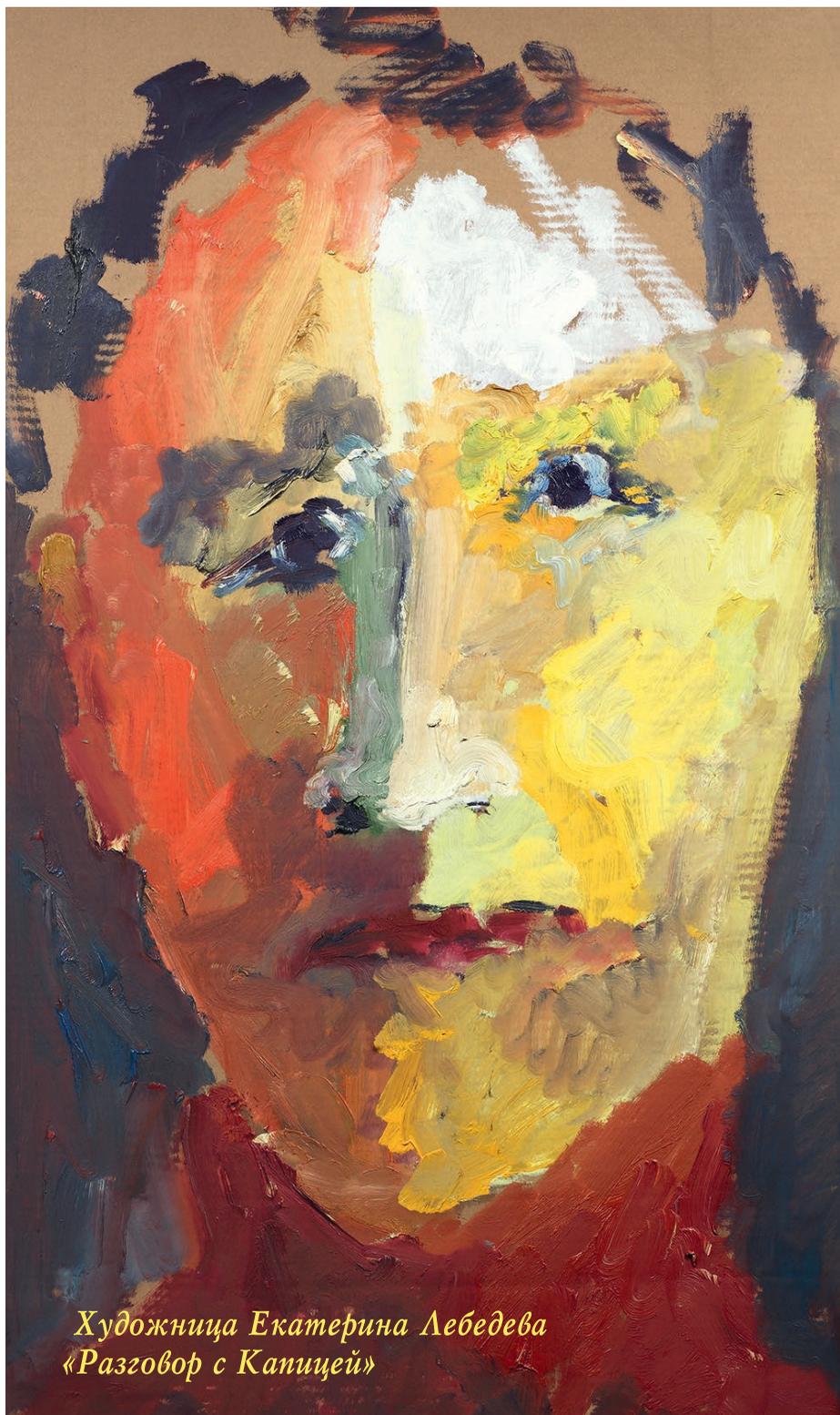
По результатам клинических испытаний препарат MDMA, известный под сленговым названием «экстази», получил высокие оценки как средство борьбы с посттравматическим стрессовым расстройством.





ИНТЕРНЕТ-ПОРТАЛ

# Научная Россия



*Художница Екатерина Лебедева  
«Разговор с Капицей»*



## Взгляд на науку с пристрастием

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

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

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

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