

# В мире науки

SCIENTIFIC  
AMERICAN

Ежемесячный  
научно-информационный  
журнал

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

4 2022\*

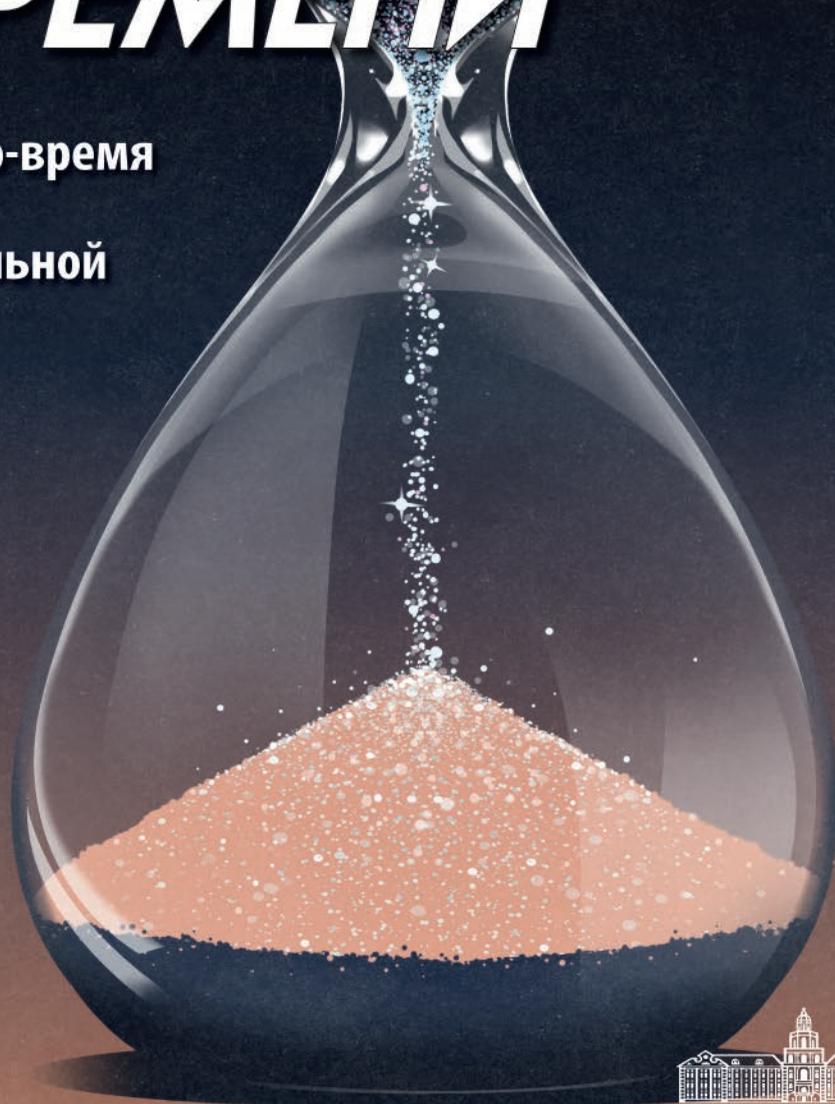
12+

ЛЕЧЕНИЕ ТРАВМ ПСИХОДЕЛИКАМИ

ОКНО В МОСКОВСКИЙ КАРБОН

## НАЧАЛО ПРОСТРАНСТВА И ВРЕМЕНИ

Возникло ли  
пространство-время  
из более  
фундаментальной  
реальности?





4



22

## Темы номера

### ФИЗИКА

**Происхождение пространства и времени** 4

*Адам Беккер*

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

### КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

**Дорога к звездам академика Марова** 14

*Наталья Лескова*

Патриарх отечественной ракетно-космической отрасли академик **Михаил Маров** — о своих великих учителях, о своей научной деятельности, о перспективах российского космоса



### ГЕОЛОГИЯ

**Окно в карбон: тропические леса и коралловые рифы Подмосковья** 22

*Янина Хужина*

Какой была территория нынешней Москвы, когда на Земле еще не было динозавров? Беседуем об этом интереснейшем времени в истории нашей планеты с профессором РАН **Сергеем Наугольных**



## СОДЕРЖАНИЕ

Апрель 2022

### БИООРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

**Аптека из океана** 30

*Анастасия Рогачева*

Морские организмы и объекты флоры Дальнего Востока с необычными химическим строением и биологической активностью привлекают внимание ученых всего мира. О поиске источников для новых лекарственных препаратов рассказывает академик **Валентин Стоник**



### БИОЛОГИЯ

**Тяжкое бремя генома** 38

*Дуглас Фокс*

Фантастическая жизнеспособность саламандр заставляет ученых менять традиционные представления об эволюции



50



84



92



30

**ЭВОЛЮЦИЯ**

**Почти такие, как люди**

*Даворка Радович и Дэвид Фрейер*

Изучение ископаемых останков из Хорватии показывает, что «дремучие» неандертальцы гораздо сильнее походили на современных людей, чем до сих пор считали ученые

50

**МАТЕМАТИКА**

**Бесконечная математика**

*Эмили Рил*

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

58

**ФАРМАКОЛОГИЯ**

**Психоделики как лекарства**

*Дженнифер Митчелл*

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

70

**ИММУНОЛОГИЯ**

**Вакцинированные, но уязвимые**

*Таня Льюис*

Вакцины от COVID-19 хуже защищают людей, у которых иммунная система подавлена из-за болезни или приема лекарств

78

**ОБРАЗОВАНИЕ**

**Уроки правды**

*Меллинда Уэннер Мойер*

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

84

**МЫШЛЕНИЕ**

**Путаница в мыслях**

*Дэвид Даннинг и Кармен Санчес*

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

92

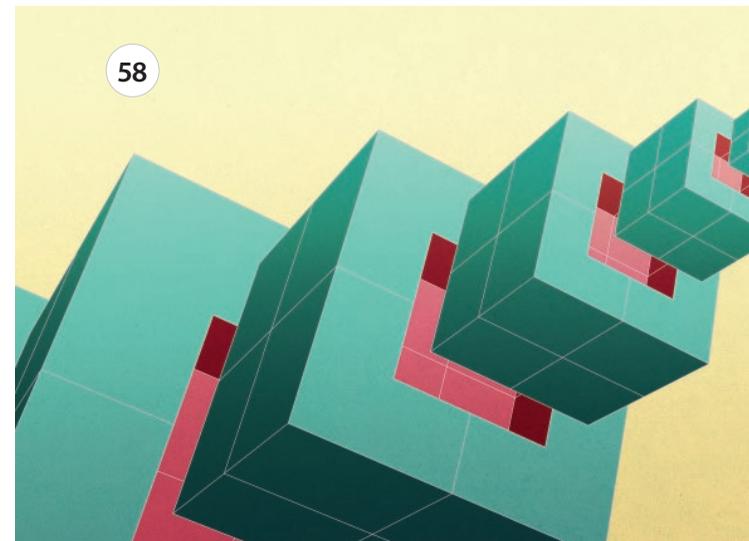
**Разделы**

От редакции

3

50, 100, 150 лет тому назад

96



58



38

# В мире науки

SCIENTIFIC  
AMERICAN

## Наши партнеры:



НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»



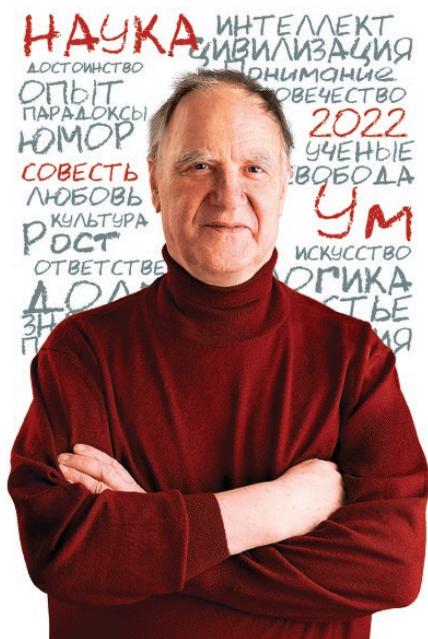
РОСАТОМ



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. Ардаматская

## Зав. отделом российских материалов:

О.Л. Беленицкая

## Выпускающий редактор:

М.А. Янушкевич

## Обозреватель:

В.Ю. Чумаков

## Администратор редакции:

Э.Х. Мусина

## Научные консультанты:

академик М.Я. Маров; проф. РАН С.В. Наугольные; к.ф.-м.н. А.Г. Сбоев; академик В.А. Стоник

## Над номером работали:

М.С. Багоцкая, А.С. Бурмистров, А.П. Кузнецов, С.М. Левензон, Н.Л. Лескова,  
А.И. Прокопенко, А.И. Рогачева, О.С. Сажина, Д.С. Хованский, Я.Р. Хужина,  
Н.Н. Шафрановская, А.В. Щеглов

## Дизайнер:

А.Р. Гукасян

## Верстка:

А.Р. Гукасян

## Корректур:

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:

АО «Можайский полиграфический комбинат», 143200, Россия, г. Можайск, ул. Мира, 93,



www.oaotprk.ru, тел.: 8 (4963) 82-06-85

Заказ № 1408/22

© 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.



## Фундаментальные вопросы

Что такое пространство и время? Откуда они взялись? Физики рассматривали их как фундаментальные свойства Вселенной, но сегодня они находят доказательства того, что, возможно, это всего лишь отображение чего-то еще более фундаментального. Ответы на эти и другие вопросы могли бы помочь достичь наиболее актуальной цели физики — создания теории квантовой гравитации. О захватывающих исследованиях в этой области читайте в статье «Происхождение пространства и времени».

Многие считают, что именно физика отвечает на самые интересные и важные фундаментальные вопросы, особенно связанные с космосом. Одни ли мы во Вселенной? Есть ли кроме Земли пригодные для жизни планеты? Существует ли внеземной разум? О том, как развивались научные и прикладные космические исследования в нашей стране, рассказывает ученый, который стоял у их истоков, в интервью под названием «Дорога к звездам академика Марова».

Еще один пласт интереснейших фундаментальных вопросов скрыт в глубине веков. Какими были предки совре-

менного *Homo sapiens*? Как они жили и почему исчезли? Палеоантропологи утверждают, что неандертальцы обладали высокими когнитивными способностями и сложными формами поведения, выработанными ими задолго до встречи с древними предками современного человека. О том, как ученые пришли к таким выводам, можно узнать из статьи «Почти такие, как люди».

Глядя на современную Москву, трудно поверить, что более 350 млн лет назад на ее месте располагалось теплое коралловое море, окруженное тропической растительностью. Однако ученые, исследовавшие десятки геологических и палеонтологических памятников на территории нашей столицы и в ее окрестностях, пришли к выводу, что именно такой пейзаж можно было увидеть в наших широтах в каменноугольный период. Подробности — в интервью с палеонтологом С.В. Наугольных «Окно в карбон: тропические леса и коралловые рифы Подмосковья». ■

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

ФИЗИКА

# Происхождение пространства

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

*Адам Беккер*

# и времени



## ОБ АВТОРЕ

**Адам Беккер** (Adam Becker) — популяризатор науки из Национальной лаборатории им. Лоуренса в Беркли. Получил докторскую степень по космологии в Мичиганском университете. Его статьи появлялись в *New York Times*, *BBC* и в других изданиях. Автор книги «Что реально?» (*What Is Real?*), посвященной малоизвестным неприятным страницам истории квантовой физики.



**Н**атали Пакетт (Natalie Paquette) проводит время в размышлениях о том, как «вырастить» дополнительное измерение. Начните с маленьких кружочков, сидящих на каждой точке пространства и времени, — извилистое измерение, замкнутое на себя. Потом сжимайте эти кружочки, все меньше и меньше, затягивая петли, пока не произойдет любопытная трансформация: измерение перестает казаться крошечным и вместо этого станет огромным. Подобное ощущение схоже с тем, когда вы понимаете, что нечто, казавшееся маленьким и близким, на самом деле огромно и далеко. По словам Пакетт, «мы сокращаем пространственное направление, но когда пытаемся уменьшить его до определенной точки, вместо этого появляется новое, большое пространственное направление».

Пакетт, физик-теоретик из Вашингтонского университета, не одинока в размышлениях об этом странном преобразении измерений. Растущее число физиков, работа которых, несмотря на различие подходов и методов, так или иначе связана с пространством и временем, все больше склоняются к глубокой идее: пространство и, возможно, даже время не фундаментальны. Вместо этого пространство и время могут быть возникающими (эмерджентными). Они могут возникать из структуры и проявлений более фундаментальных компонентов природы. На самом глубоком уровне реальности такие вопросы, как «где?» и «когда?», могут вообще остаться без ответа. «В физике есть много намеков на то, что пространство-время, как мы его понимаем, — не фундаментальное понятие», — говорит Пакетт.

Такие радикальные идеи проистекают из последних поворотов в столетней охоте за теорией квантовой гравитации. Лучшая теория гравитации физиков — это общая теория относительности, знаменитая концепция Альберта Эйнштейна о том, как материя искажает пространство и время. Лучшая теория для всего остального — это квантовая физика, которая удивительно точна,

когда дело доходит до свойств материи, энергии и субатомных частиц. Обе теории легко прошли все испытания, которые физики смогли разработать за прошедшее столетие. Можно было бы подумать, что если сложить их вместе, то получится «теория всего».

Однако эти две теории не очень хорошо сочетаются. Спросите общую теорию относительности, что происходит в контексте квантовой физики, и вы получите противоречивые ответы, когда в ваших расчетах вырвутся на свободу неукротимые бесконечности. Природа знает, как применять гравитацию в масштабах значимости квантовой теории, она знает, что произошло в первые мгновения после Большого взрыва и постоянно происходит в недрах черных дыр. Мы же, люди, все еще пытаемся понять, как делается этот трюк. Часть проблемы заключается в том, как именно вводятся понятия пространства и времени в двух рассматриваемых теориях. В то время как квантовая физика позиционирует пространство и время неизменными, общая теория относительности деформирует их как нечто делать.

Каким-то образом теория квантовой гравитации должна была бы согласовать эти представления о пространстве и времени. Один

из способов сделать это — устранить проблему в ее источнике, в самом пространстве-времени, заставив пространство и время возникнуть из чего-то более фундаментального. В последние годы несколько различных направлений исследований показали, что на самом глубоком уровне реальности пространство и время существуют не так, как в нашем повседневном мире. В частности, за последнее десятилетие эти идеи радикально изменили представление физиков о черных дырах. Теперь исследователи используют эти концепции для объяснения работы чего-то еще более экзотического, например кротовых нор — гипотетических туннелей между удаленными точками пространства-времени. Имеющиеся успехи сохраняют надежду на еще более глубокий прорыв. Если пространство-время эмерджентно, то выяснение того, откуда оно берется (и как оно может возникнуть из чего-либо другого), может оказаться недостающим ключом, который наконец откроет дверь в «теорию всего».

### Мир в струнном дуэте

Сегодня среди физиков наиболее популярна теория квантовой гравитации — теория струн. Ее основная идея заключается в том, что струны — фундаментальные составляющие материи и энергии, которые порождают множество фундаментальных субатомных частиц, наблюдаемых на ускорителях частиц по всему миру. Струны ответственны даже за гравитацию. Так, гипотетическая частица «гравитон», переносчик гравитационного взаимодействия, есть неизбежное следствие теории.

Однако теорию струн трудно понять, потому что она обитает в труднодоступных районах изощренной математики, на изучение которой физикам и математикам потребовались десятилетия. Большая часть структуры теории струн все еще не нанесена на карту, экспедиции все еще планируются, а карты еще предстоит составить. В этой новой области основной метод навигации — это использование математических двойственных (дуальных) соответствий между разными типами теории струн.

Один из примеров — двойственность, описанная в начале этой статьи: между крошечными измерениями и большими. Попробуйте втиснуть измерение в небольшое пространство, и теория струн скажет вам, что в итоге вы получите нечто математически идентичное миру, где такое измерение вместо этого огромно. Согласно теории струн, эти две модели одинаковы. Это означает, что

можно свободно переходить от одной модели к другой и использовать методы одной модели, чтобы понять, как работает другая. Пакетт говорит: «Если вы внимательно следите за фундаментальными строительными блоками теории, то вы, естественно, можете иногда обнаружить, что <...> могли бы создать новое пространственное измерение».

Наличие подобной дуальности наводит многих теоретиков в области теории струн на мысль, что пространство само по себе эмерджентно. Идея зародилась в 1997 г., когда Хуан Малдасена (Juan Maldacena), физик из Института перспективных исследований, обнаружил дуальность между хорошо понятой квантовой теорией, известной как конформная теория поля (*CFT*), и особым видом пространства-времени из общей теории от-

## Узнаем ли мы когда-нибудь истинную природу пространства и времени?

носительности, известным как антидеситтеровское пространство (*AdS*). Эти две теории кажутся совершенно разными. Действительно, в *CFT* вообще нет гравитации, а в *AdS* используется вся теория гравитации Эйнштейна. Тем не менее одна и та же математика может описать обе эти модели. Когда это было обнаружено, так называемое *AdS/CFT*-соответствие обеспечило перспективную математическую связь между квантовой теорией и целой вселенной с гравитацией в ней.

Любопытно, что антидеситтеровское пространство в концепции *AdS/CFT*-соответствия имело на одно измерение больше, чем конформная теория поля. Однако это несоответствие даже радовало физиков, потому что оно лежало полностью в русле хорошо изученного примера другого вида соответствия, задуманного несколькими годами ранее физиками Герардом 'т Хофтом (Gerard 't Hooft) из Утрехтского университета в Нидерландах и Леонардом Сасскиндом (Leonard Susskind) из Стэнфордского университета. Найдено ими соответствие известно как голографический принцип. Основываясь на некоторых специфических характеристиках черных дыр, 'т Хофт и Сасскинд заподозрили, что свойства области пространства могут быть полностью «закодированы» ее границей. Другими словами, двумерная поверхность черной дыры может содержать всю информацию, необходимую для того, чтобы знать, что находится в ее трехмерной внутренней

## Как возникает пространство-время

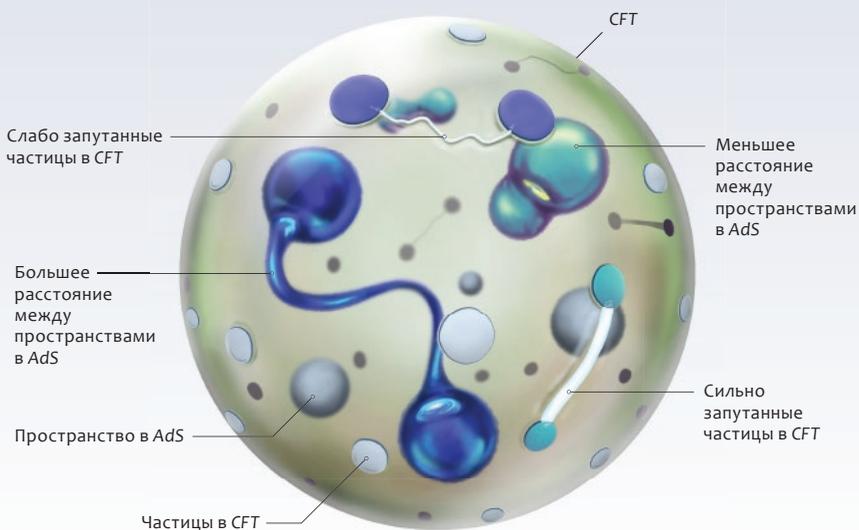
Пространство и время традиционно рассматриваются как фон для Вселенной. Однако новые исследования показывают, что они могут и не быть фундаментальными. Так, пространство-время может порождаться более фундаментальной реальностью, истинным фоном Вселенной. Эта идея исходит из двух теорий, которые пытаются преодолеть разрыв между общей

теорией относительности и квантовой механикой. Первая, теория струн, позиционирует субатомные частицы как крошечные петли вибрирующей струны. Вторая, петлевая квантовая гравитация, предполагает, что пространство-время разбивается на куски — дискретные биты, объединяющиеся в видимый нами плавный континуум.

### ВОЗНИКАЮЩЕЕ ПРОСТРАНСТВО-ВРЕМЯ СОГЛАСНО ТЕОРИИ СТРУН

В сценарии теории струн пространство-время возникает из более фундаментальной реальности согласно концепции AdS/CFT-соответствия, где AdS означает антидезиттеровское пространство, а CFT — конформную теорию поля. CFT можно наглядно представить как двумерную поверхность трехмерной сферы, а AdS — как заключенное внутри сферы содержание. Связи между частицами посредством квантового процесса, называемого «запутыванием» на поверхности, приводят к возникновению областей пространства внутри, которые расположены рядом друг с другом. Чем сильнее запутанность, тем ближе области пространства.

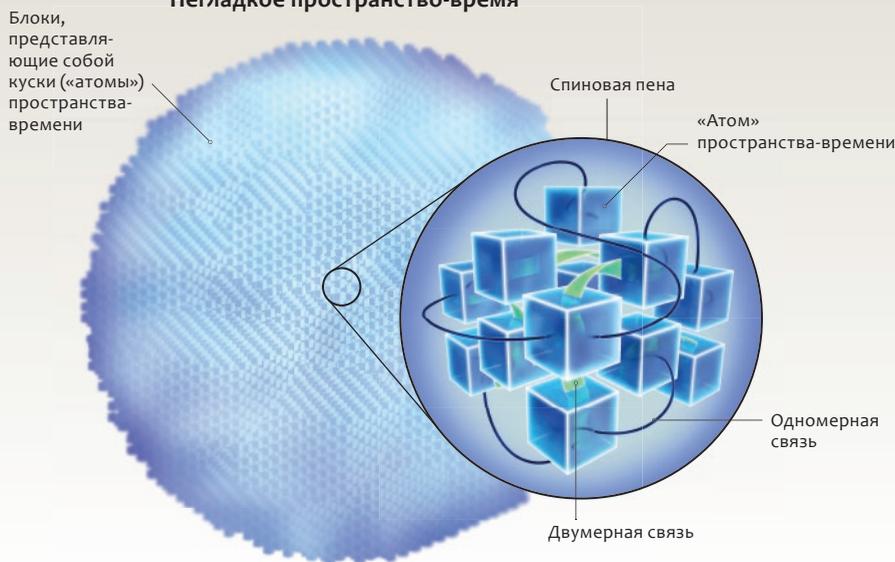
#### AdS/CFT-соответствие



### ВОЗНИКАЮЩЕЕ ПРОСТРАНСТВО-ВРЕМЯ СОГЛАСНО ПЕТЛЕВОЙ КВАНТОВОЙ ГРАВИТАЦИИ

Петлевая квантовая гравитация описывает пространство-время как непрерывное: вместо того чтобы быть гладким, оно разбивается на куски, или «атомы», пространства-времени (если вы приближаетесь достаточно). Эти строительные блоки порождают то, что мы воспринимаем как непрерывное пространство-время через одномерные струны и двумерные листы, которые соединяют блоки. Эти связи создают то, что физики называют «спиновой пеной».

#### Негладкое пространство-время



части, — как голограмма. «Полагаю, многие люди подумали, что мы чокнутые», — комментирует Сасскинд.

Аналогично в  $AdS/CFT$ -соответствии четырехмерная теория  $CFT$  кодирует все, что касается пятимерного пространства  $AdS$ , с которым она связана. В этой системе вся область пространства-времени построена из взаимодействий между компонентами квантовой системы в конформной теории поля. Малдасена сравнивает этот процесс с чтением романа, «Если вы рассказываете историю в книге, в ней есть персонажи, которые что-то делают. Но все, что там есть, — это строка текста, верно? То, что делают персонажи, выводится из этой строки текста. Персонажи в книге были бы похожи на теорию  $AdS$ , а сама строка текста — на  $[CFT]$ ».

Но откуда берется место в  $AdS$ -пространстве? Если это пространство возникает, то из чего оно возникает? Ответ заключается в особом и странно квантовом виде взаимодействия в  $CFT$ : так называемая запутанность (или путаница. — *Примеч. пер.*), связь на большом расстоянии между объектами, мгновенно коррелирующая их поведение статистически невероятными способами. Запутанность, как известно, беспокоила Эйнштейна, который называл это «жутким действием на расстоянии».

Несмотря на свою пугающую природу, запутанность тем не менее представляет собой основную особенность квантовой физики. Когда любые два объекта взаимодействуют в квантовой механике, они обычно запутываются и остаются запутанными до тех пор, пока изолированы от остального мира, независимо от того, как далеко друг от друга они могут перемещаться. В экспериментах физики поддерживали запутанность между частицами, находящимися на расстоянии более 1 тыс. км друг от друга, и даже между частицами на Земле и другими частицами, отправленными на орбитальные спутники. В принципе, две запутанные частицы могли бы поддерживать связь на противоположных сторонах Галактики или даже Вселенной. Возникает такое впечатление, что расстояние просто не имеет значения для феномена запутанности, — вот загадка, которая десятилетиями беспокоит физиков.

Однако если пространство возникает, то способность запутанности сохраняться на больших расстояниях может быть не такой уж загадочной, потому что, в конце концов, расстояние — это конструкция. Согласно исследованиям  $AdS/CFT$ -соответствия, которые проводят физики Шинсей Рю (Shinsei

Ryu) из Принстонского университета и Тадаши Такаянаги (Tadashi Takayanagi) из Киотского университета, запутанность — это то, что в первую очередь создает расстояния в пространстве  $AdS$ . Любые две близлежащие области пространства на стороне  $AdS$  дуальности соответствуют двум сильно запутанным квантовым компонентам  $CFT$ . Чем больше они запутаны, тем ближе друг к другу области пространства.

В последние годы физики начали предполагать, что это соотношение может быть применимо и к нашей Вселенной. «Что удерживает пространство вместе и не дает ему распасться на отдельные области? Ответ заключается в запутанности между двумя частями пространства, — говорит Сасскинд. — Непрерывность и связность пространства обязаны своим существованием квантово-механической запутанности». Таким образом, запутанность может лежать в основе структуры самого пространства, образуя основу и своего рода систему направляющих, которые порождают геометрию мира. «Если бы вы могли каким-то образом разрушить запутанность между двумя частями [пространства], пространство развалилось бы. Это привело бы к прямо противоположному результату, нежели воплощение пространства», — объясняет Сасскинд.

Если пространство состоит из запутанности, то загадку квантовой гравитации, по-видимому, решить гораздо проще: вместо того чтобы пытаться объяснить искривление пространства квантовым способом, можно сказать, что само пространство возникает из фундаментального квантового явления. Сасскинд подозревает, что именно поэтому теорию квантовой гравитации было так трудно найти: «Я думаю, что причина, по которой это никогда хорошо не работало, заключается в том, что модель начиналась с двух разных вещей, [общей теории относительности] и квантовой механики, и соединяла их вместе. И я думаю, что на самом деле проблема в слишком тесной связи, чтобы их можно было разделить, а затем снова собрать вместе. Без квантовой механики не существует такой вещи, как гравитация».

Однако учет эмерджентного пространства — только половина работы. Пространство и время так тесно связаны в теории относительности, что любое объяснение того, как возникает пространство, должно включать в себя и время. «Время тоже должно каким-то образом возникать, — говорит Марк ван Раамсдонк (Mark van Raamsdonk), физик из Университета Британской Колумбии,



исследователь связей между запутанностью и пространством-временем. — Это недостаточно изучено и представляет собой активную область исследований».

По словам ван Раамсдонка, еще одна область исследований, которая пользуется повышенным вниманием ученых, — использование моделей эмерджентного пространства-времени для понимания природы кротовых нор. Раньше многие физики полагали, что отправка объектов через кротовую нору невозможна даже теоретически. Однако в последние несколько лет физики, работающие над AdS/CFT-соответствием и подобными моделями, нашли новые способы построения кротовых нор. «Мы не знаем, смогли бы мы сделать это в нашей Вселенной, — отмечает ван Раамсдонк. — Но что мы теперь знаем, так это то, что определенные виды проходимых кротовых нор теоретически возможны». Две научные статьи, одна в 2016 г. другая в 2018 г., привели к продолжающейся активной работе в этой области (*по вопросу проходимости кротовых нор существует обширная современная библиография, в том числе российских авторов. — Примеч. пер.*). Однако даже если бы можно было сконструировать проходимые кротовые норы, то от них было бы мало пользы для космических путешествий. «Вы не можете пройти через эту кротовую нору быстрее, чем потребовалось бы [свету], чтобы пройти долгий путь вокруг», — считает Сасскинд.

### Пространство для размышлений

Если специалисты по теории струн правы, то пространство строится из квантовой запутанности и время может строиться так же. Но что бы это могло означать на самом деле? Как пространство может быть «сделано из» запутанности между объектами, если только эти объекты сами где-то не находятся? Как могут эти объекты запутаться, если они не испытывают влияния времени и не изменяются? И как понимать существование той или иной вещи, если она не обитает в истинном пространстве и времени?

Эти вопросы уводят от физики в плоскость философии, и ученые, работающие на стыке этих дисциплин, относятся к ним серьезно. «Как же пространство-время может оказаться такой вещью, которая может возникнуть? Интуитивно это кажется невозможным», — рассуждает Элинор Нокс (Eleanor Knox), занимающаяся философскими проблемами физики, из Королевского колледжа Лондона. Однако Нокс не считает это проблемой, ведь «иногда наша интуиция ужасна», она

«эволюционировала в африканской саванне, взаимодействуя с макрообъектами, с флорой и фауной» и, как правило, не переносится в мир квантовой механики. Нокс полагает, что когда дело доходит до квантовой гравитации, то вопросы «Где же тут вещество?» и «Где оно живет?» — не те, которые следует задавать.

Абсолютно верно, что в повседневной жизни объекты живут в разных местах. Однако, как отмечают Нокс и многие другие, это не означает, что пространство и время должны быть фундаментальными. Но тогда они с необходимостью должны порождаться из чего-то фундаментального. Рассмотрим, например, жидкость. «В конечном счете это элементарные частицы, такие как электроны, протоны и нейтроны или, что еще более фундаментально, кварки и лептоны, — говорит Кристиан Вютрих (Christian Wüthrich) из Женевского университета, также занимающийся философскими проблемами физики. — Обладают ли кварки и лептоны свойствами жидкости? Это просто не имеет смысла, верно? Тем не менее, когда эти фундаментальные частицы собираются вместе в достаточном количестве и демонстрируют определенное совместное поведение, коллективное поведение, тогда они будут действовать подобно жидкости».

Пространство и время, по мнению Вютриха, могли бы работать таким же образом в теории струн и других теориях квантовой гравитации. В частности, пространство-время может возникнуть из материалов, которые мы обычно считаем присутствующими во Вселенной, то есть из самих материи и энергии. «Дело не в том, что сначала у нас есть пространство и время, а затем мы добавляем какую-то материю. Скорее что-то материальное может быть необходимым условием существования пространства и времени. Это все еще очень тесная связь, но это совсем не то, о чем вы могли подумать изначально».

Однако существуют и другие способы интерпретировать последние результаты. AdS/CFT-соответствие часто рассматривается как пример возникновения пространства-времени из квантовой системы. На самом деле это можно толковать и иначе. Философ физики Алисса Ней (Alyssa Ney) из Калифорнийского университета в Дейвисе утверждает: «AdS/CFT дает возможность предоставить руководство по переводу между фактами пространства-времени и фактами квантовой теории. Это совместимо с утверждением, что пространство-время возникает, а некоторая квантовая теория фундаментальна». Ней

полагает, что верно и обратное. Другими словами, *AdS/CFT*-соответствие может означать, что квантовая теория возникает, а пространство-время фундаментально. Либо, наконец, ни то ни другое не фундаментально и существует какая-то еще более глубокая фундаментальная теория. Допущение эмерджентности пространства-времени — это серьезное утверждение, по словам Ней, и оно может оказаться истинным, но «по крайней мере, просто глядя на *AdS/CFT*, я все еще не вижу четких аргументов в пользу этой концепции».

Возможно, более серьезная проблема картины устройства мира в связи с возникающим пространством-временем, рисуемой теорией струн, скрыта на виду, прямо в названии самого соответствия *AdS/CFT*. «Мы ведь не живем в антидеситтеровском пространстве, — отмечает Сасскинд. — Мы живем в чем-то гораздо более близком к пространству де Ситтера». Пространство де Ситтера описывает ускоряющуюся и расширяющуюся вселенную, очень похожую на нашу собственную. «У нас нет ни малейшего представления о том, как там применяется [голография]», — полагает Сасскинд. Выяснение того, как установить такого рода соответствие для пространства, которое более близко напоминает нашу реальную Вселенную, — одна из наиболее насущных проблем для специалистов по теории струн. «Я думаю, мы сможем лучше понять, как перейти к космологической версии этого», — говорит ван Раамсдонк.

Наконец, имеются новости — точнее, их отсутствие — от новейших ускорителей частиц, не нашедших никаких доказательств наличия дополнительных частиц, предсказанных суперсимметрией, на идее которой основывается теория струн. Суперсимметрия диктует, что у всех известных частиц будут свои собственные «суперпартнеры», которые, таким образом, удваивают число фундаментальных частиц. Однако Большой адронный коллайдер *CERN*, частично предназначенный для поиска «суперпартнеров», не обнаружил никаких признаков их присутствия. «Все действительно точные версии [эмерджентного пространства-времени], которые у нас есть, находятся в суперсимметричных теориях, — подытоживает Сасскинд. — Как только у вас нет суперсимметрии, способность математически следовать уравнениям просто испаряется из ваших рук».

### Атомы пространства-времени

Теория струн — не единственная наводящая на мысль о возникновении пространства-

времени. Теория струн «не оправдала [своих] обещаний как способ объединить гравитацию и квантовую механику, — говорит Абхай Аштекар (Abhay Ashtekar), физик из Университета штата Пенсильвания. — Сила теории струн сейчас заключается в предоставлении чрезвычайно богатого набора инструментов, который широко используется в очень многих разделах физики». Аштекар — один из основоположников наиболее популярной альтернативы теории струн, известной как петлевая квантовая гравитация. В петлевой квантовой гравитации пространство и время не гладкие и непрерывные, как в общей теории относительности. Вместо этого они состоят из дискретных компонентов, которые Аштекар называет кусками, или «атомами», пространства-времени.

Эти «атомы» пространства-времени соединены в сеть с одномерными и двумерными поверхностями, соединяющими их вместе в то, что теоретики петлевой квантовой гравитации называют спиновой пеной. Несмотря на ограничение этой пены всего двумя измерениями, она порождает наш четырехмерный мир с тремя измерениями пространства и одним измерением времени. Аштекар сравнивает свою модель с предметом одежды: «Если вы посмотрите на свою рубашку, она выглядит как двумерная поверхность. Если вы возьмете увеличительное стекло, то сразу увидите, что все это одномерные нити. Просто эти нити настолько плотно упакованы, что для всех практических целей вы можете думать о рубашке как о двумерной поверхности. Точно так же пространство вокруг нас выглядит как трехмерный континуум. Но на самом деле эти [«атомы» пространства-времени] пересекаются».

Хотя теория струн и петлевая квантовая гравитация предполагают, что пространство-время эмерджентно, то есть оно возникающее, но вид эмерджентности в обеих теориях различен. Теория струн предполагает, что пространство-время (или по крайней мере пространство) возникает в результате поведения, казалось бы, несвязанной системы в форме запутанности. Подумайте о том, как транспортные пробки формируются из-за коллективных решений отдельных водителей. Автомобили не сделаны из пробок, но автомобили делают пробки. С другой стороны, в петлевой квантовой гравитации возникновение пространства-времени больше похоже на наклонную песчаную дюну, возникающую в результате коллективного движения песчинок из-за ветра. Гладкое, привычное для нас пространство-время получается

в результате коллективного поведения крошечных «зерен» пространства-времени; как и дюны, зерна все еще остаются песком, хотя массивные кристаллические зерна не выглядят и не действуют как волнистые дюны. Несмотря на эти различия, как петлевая квантовая гравитация, так и теория струн предполагают, что пространство-время возникает из некоторой основополагающей реальности. И это не единственные предложенные теории квантовой гравитации, которые указывают в данном направлении. Теория причинных множеств, еще один претендент на теорию квантовой гравитации, утверждает, что пространство и время также состоят из более фундаментальных компонентов. «Действительно поразительно то, что для большинства правдоподобных теорий квантовой гравитации, которые у нас есть, в некотором смысле идея такова: да, общего релятивистского пространства-времени нет на фундаментальном уровне, — говорит Нокс. — Ученые чрезвычайно возбуждаются, когда разные теории квантовой гравитации сходятся хотя бы в чем-то».

### Будущее пространства на краю времени

Современная физика — жертва собственного успеха. Квантовая физика и общая теория относительности феноменально точны, каждая в своей области применимости. Квантовая гравитация необходима только для описания экстремальных ситуаций, когда огромные массы помещаются в неопостижимо крошечные пространства. Такие условия существуют лишь в нескольких местах в природе. Например, в центре черной дыры. Особенно важно, что такие условия реализуются не в физических лабораториях, даже самых больших и мощных. Потребовался бы ускоритель частиц размером с галактику, чтобы непосредственно проверить поведение природы в условиях, когда царит квантовая гравитация. Это отсутствие прямых экспериментальных данных в значительной степени служит причиной того, что ученые так долго ищут теорию квантовой гравитации.

Столкнувшись с отсутствием доказательств, большинство физиков обратили взгляды в небо, возложив надежды на космос. В самые ранние моменты после Большого взрыва вся Вселенная была феноменально маленькой и плотной — вот ситуация, для описания которой требуется квантовая гравитация. Отголоски той эпохи могут остаться в космическом пространстве и сегодня. «Я думаю, что наш лучший выбор [для тестирования квантовой гравитации] — это

космология, — говорит Малдасена (по словам Я.Б. Зельдовича, *космос — это «ускоритель бедного человека»*. — Примеч. пер.). — Может быть, что-то в космологии, что мы сейчас считаем непредсказуемым, что, вероятно, можно предсказать, как только мы пойдем полную теорию, или что-то новое, о чем мы даже не думали». Однако лабораторные эксперименты могут пригодиться для проверки теории струн, по крайней мере косвенно.

Ученые надеются изучить *AdS/CFT*-соответствие не с помощью исследования пространства-времени, но создавая сильно запутанные системы атомов и наблюдая, проявляется ли в их поведении аналог пространства-времени и гравитации. Такие эксперименты могут «иметь некоторые особенности гравитации, хотя, возможно, и не все особенности, — говорит Малдасена. — Это также зависит от того, что именно вы называете гравитацией».

Узнаем ли мы когда-нибудь истинную природу пространства и времени? Данные наблюдений из космоса могут появиться не в ближайшее время. Лабораторные эксперименты могут провалиться. И, как известно философам, вопросы об истинной природе пространства и времени действительно очень старые. Все то, что существует, «все вместе, едино, непрерывно, — сказал философ Парменид 2,5 тыс. лет назад. — Все наполнено тем, что есть». Парменид настаивал на том, что время и перемены суть иллюзии, что все везде одно и то же. Его ученик Зенон создал знаменитые парадоксы, чтобы доказать точку зрения своего учителя, стремясь показать, что движение на любом расстоянии невозможно. Их работа подняла вопрос о том, не иллюзорны ли в некотором смысле время и пространство, — тревожная перспектива, которая преследует западную философию более двух тысячелетий.

«Тот факт, что древние греки задавали вопросы "Что такое пространство?", "Что такое время?", "Что такое перемены?", и то, что мы так или иначе все еще задаем их сегодня, означает, что это были правильные вопросы, — говорит Вютрих. — Именно размышляя над такого рода вопросами, мы многое узнали о физике». ■

Перевод: О.С. Сажина

### ИЗ НАШИХ АРХИВОВ

■ Москович К. Запутанные пространством-временем // ВМН, № 5–6, 2017.



КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

# Дорога к звездам академика МАРОВА

Патриарх отечественной ракетно-космической отрасли академик Михаил Яковлевич Маров был дружен с людьми, которым сегодня поставлены памятники, их именами названы города и улицы. Сегодня ученый продолжает трудиться — руководит отделом планетных исследований и космохимии в Институте геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского (ГЕОХИ) РАН, читает лекции в МГУ им. М.В. Ломоносова, пишет замечательные книги. И всегда помнит своих учителей, которые открыли ему дорогу к звездам.

— **Михаил Яковлевич, вы неплохо знали Сергея Павловича Королева, общались с ним. Каким он вам запомнился?**

— Очень суровым! Многие его побаивались. Мне особенно бояться было нечего, поскольку я не был его сотрудником, хотя тоже занимался ракетно-космической техникой. Я был свидетелем разносов, которые он устраивал многим. Правда, потом очень быстро отходил.

Я был много лет дружен с одним из его близких сотрудников и воспитанников — В.П. Легостаевым. Одно время он был генеральным конструктором. Виктор Павлович вспоминал, что иногда нужна была шутка (а Сергей Павлович был человеком с тонким чувством юмора), для того чтобы он отошел. Так, однажды не было вовремя выполнено какое-то задание, ответственным за которое был Виктор Павлович. Королев пришел в бешенство, вызвал Легостаева и сказал: «Увольняю!» На следующий день Королев пришел знакомиться с результатами некой опытной отработки. Что-то ему не понравилось, и, обращаясь к стоящему у стенда Легостаеву, он сказал: «Выговор объявляю!» Виктор Павлович улыбнулся и ответил: «Не можете, Сергей Павлович». Тот совершенно растерялся: «То есть как это не могу?» — «Да вы меня вчера уволили». Сергей Павлович сразу смягчился, и все встало на свои места. Он, конечно, был совершенно уникальным человеком. И я с огромным чувством благодарности вспоминаю не очень частые минуты нашего общения. Мне очень дорого, что на протяжении многих лет мы сохраняем дружеское общение с Натальей Сергеевной, его дочерью.

— **После окончания знаменитой Бауманки вы работали как инженер со многими выдающимися людьми, членами королевского Совета главных конструкторов. А в 1962 г. вас пригласил к себе в Институт прикладной математики М.В. Келдыш. Это он предложил вам заняться планетными исследованиями?**

— Ему нравилось научное направление, которым я тогда занимался, — физика околоземного космоса, представляющего собой сильно разреженный газ, с которым взаимодействует солнечное ультрафиолетовое и рентгеновское излучение. Под это направление он создал для меня отдел в институте. Одновременно я вел огромную научно-организационную работу в Межведомственном научно-техническом совете по космическим исследованиям, который возглавлял М.В. Келдыш, а я был ученым секретарем. С Мстиславом Всеволодовичем я работал и тесно общался на протяжении 17 лет — это наиболее значимая пора моей жизни. Об этом я написал в книге воспоминаний о М.В. Келдыше, которая вышла к его юбилею в феврале прошлого года.

В числе прочего он всячески поощрял в окружающих его людях, ведущих организационную

работу, занятия наукой. Он понимал, что грамотно руководить исследованиями может человек, хорошо понимающий и делающий настоящую науку.

— **Это камень в огород министерства?**

— Безусловно. Не должно быть чиновников от науки. Руководить наукой должны профессионалы. В NASA работало много моих коллег, великолепных ученых, и я знаю, что туда приглашают людей из научных организаций, но не больше, чем на три-четыре года, а после этого, как правило, возвращают их обратно. Им нужны квалифицированные, знающие люди, но не теряющие собственный научный опыт. Нам не помешало бы этому поучиться.

— **А как вышло, что вы занялись Венерой?**

— Для меня было совершенно неожиданным, когда в 1966 г. М.В. Келдыш вдруг меня позвал и сказал: «Я бы хотел, чтобы вы занялись Венерой». Я говорю: «Мстислав Всеволодович, я в этом ничего не понимаю». А он со свойственной ему полуулыбкой ответил: «Ничего, научитесь». Это была не только грандиозная ответственность, но и знак доверия.

С этого времени началась новая, очень интересная полоса в моей жизни. Конечно, до меня и на Венеру, и на Марс летали аппараты, которые создавались в конструкторском бюро С.П. Королева. Но было много неучтенных, однако важных технических сложностей, в том числе это касалось аппаратов «Венера», которые летели по направлению к Солнцу и перегревались. В значительной мере и это, и ряд других обстоятельств предопределили решение Келдыша подключить к этому лунно-планетному направлению бывшее КБ С.А. Лавочкина. С.А. Лавочкин — создатель наших боевых «Ла», которые внесли громадный вклад в победу в Великой Отечественной войне. К работам над космическими аппаратами привлекались люди высочайшей авиационной квалификации. Они внесли много изменений в переданные им из КБ Королева чертежи, приумножили неоценимый опыт отработки, и все это привело к тому, что уже в 1966 г. была первая успешная мягкая посадка на Луну, к чему мы стремились многие годы. А в 1967 г. — первый успешный спуск в атмосфере Венеры аппарата «Венера-4». Он был раздавлен на высоте примерно 20 км — но ведь мы тогда практически ничего не знали о параметрах атмосферы Венеры. По существу, принимались волевые конструкторские решения, на какие предельные условия среды проектировать аппарат.

В 1970 г. на основе первых полученных результатов измерений я опубликовал в «Докладах Академии наук» статью с моделью атмосферы Венеры, которая была положена в основу создания будущих космических аппаратов с усовершенствованными техническими характеристиками и возможностями.

Параллельно создавались марсианские аппараты. Вспоминаю об этом как о самом светлом периоде жизни. Буквально дни и ночи я проводил тогда в НПО Лавочкина, и как-то Г.Н. Бабакин, талантливый инженер, который возглавил в 1965 г. это производственное объединение, сказал: «Ну а Марову надо вот здесь раскладушку поставить».

Когда я возвращаюсь мысленно к тем временам, даже не верится, что мы могли все это сделать. Ведь не было вычислительных машин, и вся последовательность операций при посадке аппарата на Марс, составлявших доли секунды, осуществлялась на реле. Сейчас это уму непостижимо! Но все сработало безукоризненно. Это сделали люди удивительного поколения первопроходцев. Были получены научные результаты мирового уровня. К этому времени относится и начало моих обширных международных связей, встречи с руководителями крупнейших научных центров. Вместе с моим американским коллегой Уэсли Хантрессом была написана книга «Советские роботы в Солнечной системе. Технологии и открытия». По его инициативе на обложку книги были вынесены слова, отдающие дань уважения нашим историческим достижениям: «Первые на Луне, первые на Венере, первые на Марсе».

— **Михаил Яковлевич, вы работали с М.К. Янгелем и В.Н. Челомеем. Какие остались воспоминания?**

— Они были во многом разные люди. Владимир Николаевич был интеллигент, что называется, до мозга костей, блестящий специалист в области

колебательных систем, очень эрудированный человек. Нас сблизило и то, что еще в Бауманке я занимался нелинейными колебаниями, по ним у меня был диплом.

Михаил Кузьмич был исключительно одаренным и образованным человеком, но, пожалуй, внешне более суровым. Не знаю почему, но ко мне он очень тепло относился, часто приглашал к себе, когда я прилетал в Днепропетровск. Жил он в гостинице, предпочитая ее квартире. Этот умудренный опытом, признанный человек приглашал к себе мальчишку — может быть, потому что ему не хватало общения. Это были неформальные встречи «за кофеем», и он рассказывал очень много интересного — о жизни, о людях, человеческих отношениях, внимательно слушал мои рассказы. Эти задушевные разговоры запомнились на всю жизнь.

— **Знаю, Королев и Челомей не очень ладили между собой?**

— Это правда. И это нанесло стране большой вред. Достаточно сказать, что, к большому сожалению, тогдашнее руководство страны не смогло преодолеть антагонизм Королева и Челомея, в частности в том, что касалось облета Луны в период лунной гонки 1960-х гг. Дело в том, что Челомей предложил и доказал расчетами, что на созданной им универсальной ракете среднего класса УР-500 «Протон» можно осуществить облет Луны на корабле «Союз» (проект 7К-Л1) с двумя космонавтами на борту, причем раньше американцев. Но на этот шаг руководство страны не пошло, находясь под влиянием сторонников Королева, считавших, что



*М.Я. Маров с директором Лаборатории реактивного движения Уильямом Пикерингом, Калифорния, США, 1971 г. (слева); с заместителем администратора NASA Джорджем Лоу и директором ИКИ академиком Г.И. Петровым, Москва, 1971 г. (справа)*



*М.Я. Маров с М.В. Келдышем (слева); М.Я. Маров вместе с Г.Н. Бабакиным и руководителями ракетно-космической отрасли у приемной камеры с лунным грунтом «Луны-16» в ГЕОХИ*

этого делать не надо, что мы скоро сядем на Луну, используя создававшуюся в то время у Королева тяжелую ракету Н-1. Но на Луну мы так и не сели, поскольку ракета Н-1 не была создана, и после четырех тяжелейших аварий этот проект пришлось закрыть.

Здесь надо отдать должное М.В. Келдышу, который отстоял создание В.Н. Челомеем в 1965 г. ракеты «Протон», хотя конкуренты как могли ее торпедировали. А ведь эта ракета грузоподъемностью 20 с небольшим тонн, по существу, обеспечила на многие годы вперед, вплоть до сегодня, нашу космическую программу, приобрела огромную популярность и большой спрос на международном рынке носителей. Это целиком заслуга М.В. Келдыша. Он не поддавался уговорам, не сломался, а отстоял свою точку зрения. Сейчас даже трудно себе представить, что стало бы без этой ракеты с нашей космической программой.

**— Как вышло, что вы перешли работать в ГЕОХИ?**

— В 2006 г. меня пригласил вице-президент РАН Н.П. Лаверов, возглавлявший в академии науки о Земле. Он высказал пожелание руководства РАН, чтобы я перешел в Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского. На тот момент я проработал в институте Келдыша 46 лет — огромный срок. Это период моего становления как специалиста, как человека. Там я работал с М.В. Келдышем, о котором говорю как о своем великом учителе, и это не просто уроки научные, это уроки жизни, уроки нравственности.

**— Но тем не менее вы согласились.**

— Да. Вслед за Лаверовым со мной много беседовал на эту тему Э.М. Галимов, директор ГЕОХИ, который открыл передо мной вполне определенные перспективы. Для меня самого важной мотивацией была не столько перспектива возглавить в этом институте космическое направление, сколько возможность совместить мои многолетние исследования планет на основе математического моделирования с экспериментальными исследованиями вещества, позволяющими хоть как-то верифицировать модельные результаты. Открывалась возможность интереснейшей смычки этих двух фундаментальных научных направлений, составляющих основу планетной космогонии.

В ГЕОХИ мне предложили возглавить отдел планетных исследований и космохимии, состоящий из пяти профильных лабораторий. Я неплохо знал людей в институте, с которым долгие годы тесно сотрудничал, и мог ожидать, что меня примут не как «варяга», как на самом деле и получилось. Я благодарен руководству и сотрудникам института, органично вписавшим меня в эту структуру. Здесь мне столь же комфортно, как в Институте прикладной математики, где я оставил своего ученика во главе отдела, созданного еще М.В. Келдышем, и это стало замечательной преемственностью.

**— Развивалась ли космохимия в ГЕОХИ до вашего прихода?**

— Термин «космохимия» был предложен В.И. Вернадским, так же как и «биогеохимия». С биогеохимией напрямую связаны проблемы зарождения

жизни и становления биосферы. Об этом я писал по просьбе авторитетного американского журнала в связи со 150-летним юбилеем Вернадского (позже эта статья была опубликована на русском языке в журнале «Ноосфера»).

Развивая проблемы астробиологии, я попытался проследить истоки мысли Вернадского о Земле как планетарном теле в единой космохимической концепции. С понятием «космохимия» Владимир Иванович связывал представления о Земле как об одном из множества планетных тел и о необязательном зарождении жизни конкретно на Земле. Он не исключал возможности влияния внешних факторов, что мы сегодня называем панспермией, хотя сам термин был предложен еще в конце позапрошлого века известным шведским ученым Сванте Аррениусом. Космохимия обобщает геохимию, и я с большим удовлетворением отмечаю, что впервые на предстоящих выборах в РАН на вакансию академика по отделению наук о Земле одна из специальностей названа «геохимия, космохимия».

— **А есть кому на эту вакансию претендовать?**

— Да, конечно. Прежде всего, крупным ученым нашего и родственных нам институтов. Но в более широком смысле с понятием космохимии связаны, скажем, работы по изучению свойств планет по спектральным характеристикам. Подобные измерения дают возможность восстанавливать особенности природы тела, которое как бы само себя выдает через излучаемые свойства поверхности и/или атмосферы. Это позволяет получать сведения о лежащих в их основе физико-химических процессах.

Родоначальником космохимического направления в космических исследованиях Луны и планет был академик А.П. Виноградов, первый директор ГЕОХИ. Я был очень близко с ним знаком. Мои первые уроки по геохимии самым тесным образом связаны с Александром Павловичем. Он внес неоценимый вклад в мое образование с точки зрения более полных представлений о свойствах вещества, о природе материи. Именно А.П. Виноградов был пионером в изучении геохимии не только Земли, но и ближайших к ней небесных тел, стоял во главе измерений свойств поверхности Луны, которые были проведены с наших лунных космических аппаратов. Он был инициатором создания приборов — газоанализаторов, посредством которых был впервые измерен химический состав атмосферы Венеры. Александр

Павлович стоял у истоков космической гамма-спектрометрии. По целому ряду направлений космических исследований, связанных с изучением внеземного вещества, институтом были получены уникальные научные результаты, и мы стремимся сохранять эти традиции.

— **Как вы оцениваете перспективы нашей нынешней космической отрасли?**

— Это очень непростой для меня вопрос. Если говорить о космонавтике в целом, то мы, в общем-то, неплохо выглядим. Но это главным образом благодаря пилотируемой космонавтике, которая, к сожалению, очень мало дает для фундаментальной науки — за исключением медико-биологических исследований. Более или менее неплохо обстоят дела в прикладном космосе — связь, навигация, метеорология, дистанционное зондирование Земли, хотя здесь наметилось большое отставание. Это направления, куда легче привлекать частный капитал, бизнес, что активно делается за рубежом, а нам, к сожалению, здесь похвастаться нечем.

Гораздо хуже обстоят дела с научным космосом, где мы целиком утратили лидирующие позиции, которыми заслуженно гордились в начале космической эры. Мы сейчас очень скромно выглядим на фоне других космических агентств, почти полвека не летаем к Луне и планетам.

Конечно, у государства ограниченные ресурсы, а привлечь сюда частные инвестиции не удается. Попробуйте, например, заинтересовать олигархов таким заманчивым проектом, как, скажем, пилотируемый полет на Марс. Этот проект может в перспективе не только оправдать затраты, но и принести колоссальные дивиденды благодаря развитию новых технологий. Но это то, что называют «длинными деньгами», а бизнес на такое не идет.



Изучение панорамы Луны, переданной посадочным аппаратом LUNA-9

Конечно, по всем нам больно ударила социально-экономическая ситуация разрушительных 1990-х гг., и космос — не исключение. Очень многое развалилось в том числе и в космической отрасли. Достаточно сказать, что мы разучились садиться на Луну, Венеру, Марс, что умели полвека назад. Вот уже почти 20 лет мы пытаемся возобновить нашу лунную программу, но запуск первой в этом ряду «Луны-25» периодически откладывается. Она должна была лететь в прошлом году, но миссия опять отложена, на этот раз на июль текущего года.

**— А ведь существуют еще марсианская и венерианская программы...**

— По венерианской программе у нас есть интересный проект «Венера-Д», но, к сожалению, пока на бумаге. Венере я отдал 15 лет жизни, и, конечно, хотелось бы увидеть возврат на эту «русскую», как ее всегда называли, планету. Изучение Венеры, кстати, важно еще и потому, что она — один из потенциальных трендов для Земли при неблагоприятном антропогенном воздействии на природу нашей планеты. Более реалистичен совместный с Европой марсианский проект «Экзо-Марс». Он состоит из двух частей. Первая часть программы началась в 2016 г., был успешно запущен орбитальный аппарат, который летает и дает интересные результаты. Запуск посадочного аппарата с марсоходом намечен на этот год, но, откровенно говоря, в новой ситуации, складывающейся в мире, когда многие страны отказываются с нами сотрудничать, я не знаю, что из этого получится.

**— В.И. Вернадский говорил, что возможность зарождения жизни вне Земли исключить нельзя, и вы об этом упомянули. Во время интервью Н.С. Кардашев говорил мне, что, возможно, представители высокоразвитых цивилизацией научат нас уму-разуму. Что вы думаете об этом? Одиноки ли мы во Вселенной?**

— С Н.С. Кардашевым мы долгие годы дружили. Он действительно был очень одаренным человеком и успел многое сделать в своей жизни. Нас многое связывало, а вот в этой части мы с ним расходились. Мне он даже как-то, помню, в сердцах сказал: «Ну почему ты этому не веришь?!» Он был страстный поборник и энтузиаст внеземного разума.

Я же настроен гораздо более скептически. Хотя сейчас значительная часть моей научной деятельности сосредоточена на экзопланетах, открытие которых, казалось бы, внушает больше оптимизма, скептицизм сохраняется. Скоро в издательстве «Физматлит» выйдет книга «Экзопланеты», написанная мною в соавторстве с коллегой, замечательным астрономом, сотрудником Санкт-Петербургского государственного университета И.И. Шевченко. Как вы понимаете, мы перелопатили большое количество материала, многое

продумали, посчитали. Ситуация действительно на первый взгляд очень заманчивая. Ведь число планет во Вселенной сопоставимо с числом звезд, а это  $10^{22}$ . Представляете себе эту цифру?

**— Не очень.**

— Я студентам говорю, что это очень хорошо познается на зарплате: получаете вы 1 тыс. рублей или 1 млн — большая разница. А это всего три порядка. Как мы сегодня знаем, подавляющее большинство открытых экзопланет сильно отличаются от планет нашей Солнечной системы. И лишь очень немногие имеют более или менее благоприятные для жизни климатические условия. Но даже очень небольшой процент таких планет от их общего числа — это все равно огромная цифра: много миллиардов планет, которые могут быть похожи на Землю.

**— Пока все звучит хорошо.**

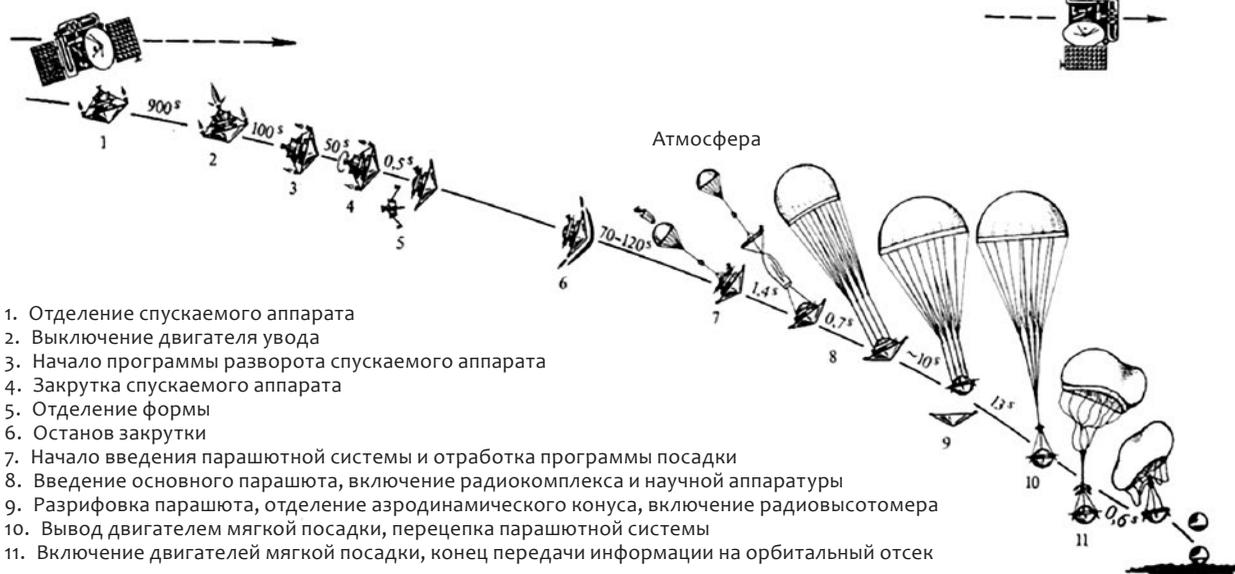
— Да, но когда вы начинаете все это изучать в деталях, появляется масса факторов, которые препятствуют зарождению жизни даже на такого рода планетах. Достаточно сказать, что многие звезды имеют очень высокую радиационную активность, которая враждебна любым известным нам биологическим формам. Может ли быть другая основа? Не знаю. Но в любом случае еще большие ограничения связаны с возможностью развития жизни до интеллектуального уровня.

И здесь появляется фактор расстояния, с которым непосредственно связана оценка продолжительности жизни технологически развитой цивилизации. Кстати, мы на таком уровне развития существуем примерно 100 лет, считая, скажем, от изобретения радио. С большой вероятностью за такой короткий срок подобная цивилизация сталкивается с истощением природных ресурсов, нарушением экологического равновесия и т.п., но главное — с социально-экономическими и политическими проблемами, которые раздрают нас сегодня. Подобно нам, такая высокоразвитая цивилизация может оказаться на грани самоуничтожения. Как вы думаете, с учетом этих факторов сколько времени может просуществовать цивилизация, подобная нашей? Сотни, тысячи лет?

**— В таком виде, как сейчас, боюсь, недолго.**

— Но если взять даже 1 тыс. лет, надо учесть, что в ближайших к нам окрестностях Галактики (порядка тысячи световых лет) мы не находим ничего похожего на существование цивилизации. В 1980-х гг. в предисловии к русскому переводу книги моих коллег Дональда Голдсмита и Тобиаса Оуэна «Поиски жизни во Вселенной» я привел сравнение возникающих и исчезающих цивилизаций, способных общаться, с пузырями на луже во время дождя. Один вздулся, послал сигнал другому вздущемуся, но тот еще до момента прихода сигнала схлопнулся, и наоборот.

## Схема посадки спускаемого аппарата станции «Марс-6» на планету



### — Так ведут себя цивилизации?

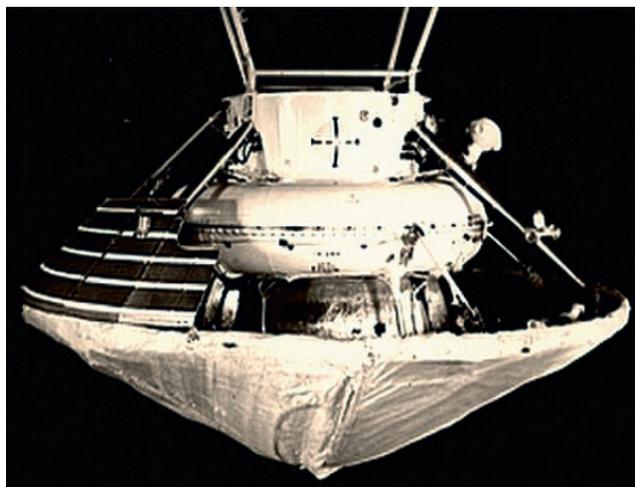
— Не знаю, нет никаких свидетельств, чтобы подтвердить или опровергнуть подобный сценарий. Замечу лишь, что 1 тыс. световых лет — это совсем небольшое расстояние в масштабах нашей Галактики, не говоря уже обо всей Вселенной. Не хочется быть пессимистом, но возможность существования цивилизаций, достигших определенного интеллектуального уровня и способных к общению с нами, вызывает много вопросов.

### — Может быть, нам надо сначала научиться слушать друг друга?

— Прежде всего, нам надо стать более разумными здесь, на Земле. Может быть, тогда человечество не просто докажет свое право называться интеллектуальными существами, но и придумает что-то принципиально новое, чтобы общаться с себе подобными в космосе. Я никоим образом такой возможности не исключаю.

### — Как вы думаете, связан ли наш морально-этический уровень с нашими интеллектуальными возможностями?

— Если и связан, то очень опосредованно, и ничего обнадеживающего я здесь сказать не могу. Думаю, мы в своем большинстве утратили многие нравственные устои, скатились к обществу потребителей. Вы часто встречаете людей, которые вечерами слушают музыку, приобщаются к поэзии, культуре, просто много читают? Я нет. И это очень сильно угнетает. Я учился в школе, где преподавали латынь. До сих пор помню строчки из стихов Вергилия, Горация. В память врезались слова Цицерона: «В старости человека губят две вещи: лень и безделье».



Посадочный аппарат станций «Марс-6» и «Марс-7»

### — А это не одно и то же?

— Нет. Лень — это свойство души, а безделье — образ жизни, хотя понятия связаны. Помните замечательные строки Н.А. Заболоцкого: «Не позволяй душе лениться! Чтоб воду в ступе не толочь, Душа обязана трудиться и день и ночь, и день и ночь»? И еще мой девиз — «Волчок стоит, пока вертится».

### — Поэтому вы вертитесь?

— Да, хотя давно заслужил право на отдых. Но покой мне даже не снится, другого образа жизни я просто не могу себе представить. ■

**Беседовала Наталья Лескова**

# ОКНО В КАРБОН:

тропические леса  
и коралловые рифы  
Подмосковья

Какой была территория нынешней Москвы, когда на Земле еще не было динозавров? Более 350 млн лет назад, в каменноугольный период здесь было теплое коралловое море, окруженное пышной тропической растительностью. Именно об этом интереснейшем времени в истории Земли пойдет речь в интервью с главным научным сотрудником Геологического института РАН **Сергеем Владимировичем Наугольных**, профессором РАН, доктором геолого-минералогических наук.







Доктор геолого-минералогических наук С.В. Наугольных

— **Сергей Владимирович, в своей книге «Палеонтология Москвы и Подмосковья» вы пишете, что Москва — единственная столица в мире, окруженная десятками геолого-палеонтологических памятников. Расскажите, пожалуйста, об этом подробнее.**

— Верно. Москва — действительно единственный в своем роде город, который полностью окружен самыми разнообразными геологическими и палеонтологическими памятниками. Палеонтологически значимые объекты есть как в самой Москве, так и в ее ближайших окрестностях. Причем объекты эти охватывают стратиграфически очень широкий интервал: от каменноугольного периода (начался 360 млн лет назад, окончился 299 млн лет назад) до четвертичного (начался около 2,5 млн лет назад). Каждый из геолого-палеонтологических объектов Москвы и Подмосковья обладает очень большой значимостью для науки. Если взять Европу и ее столицы, то там такого разнообразия геолого-палеонтологических памятников мы не встретим.

— **Как выглядел типичный пейзаж территории Москвы и Подмосковья каменноугольного периода и что это вообще за период?**

— Для начала давайте вспомним, что каменноугольный период, или карбон, длился достаточно долго — около 60 млн лет. За ним последовал пермский период. Очевидно, что за этот временной интервал палеогеографическая и палеоклиматическая ситуация постоянно менялись — ландшафт не был все время одним и тем же. В начале карбона в Подмосковье располагались тропические леса, затем

они сменились мелководным морским бассейном, очень теплым, тропическим, в котором обитало огромное количество морских беспозвоночных животных.

В начале каменноугольного периода на территории современного Подмосковья существовала богатая тропическая растительность. В ней доминировали древовидные плауновидные растения, лепидодендроны и их ближайшие родственники. Они, кстати, тоже очень многое говорят о климате, потому что для этих растений были характерны так называемые маноксильные, или маноксилесные, стволы. Основной объем такого ствола занимала не древесина, как у многих современных деревьев, а кора, и это прямое указание на теплый тропический климат и отсутствие сезонных похолоданий.

К сожалению, мы имеем не так много свидетельств о том, кто жил среди этой богатой и разнообразной растительности. Есть интересные находки членистоногих в Ростовской области, где растительность была такого же типа. Там были найдены остатки гигантских многоножек — артроплевр, достигавших в длину 2 м. Известны также остатки ископаемых стрекоз — меганевр, тоже очень крупных. В Подмосковье они пока не найдены, но в Ростовской области, где есть отложения примерно этого же возраста, они известны. В Москве и Подмосковье, в свою очередь, найдены, например, остатки антракозавров — рептилиоморф, которые сохранили в своем строении очень много признаков амфибий, или земноводных. По сути, это переходные формы от земноводных к рептилиям.

Кроме того, в карбоне жили и настоящие рептилии, а именно первые синапсиды — ветвь тетрапод, которая привела в конечном итоге и к нам с вами.

— **То есть одна ветвь рептилий из карбона привела к динозаврам, крокодилам и птицам, а другая — к млекопитающим?**

— Все верно. Те тетраподы, которые дали начало ветви, идущей к млекопитающим, — это так называемые пеликозавры, в частности эдафозавры (эффектные ящеры с парусом на спине). Все, кто интересуется палеонтологией, наверняка знают их. Эти животные обитали в каменноугольных лесах. К сожалению, пеликозавры в Подмосковье пока не найдены, хотя поблизости есть одно местонахождение, где можно ожидать находок тетрапод каменноугольного возраста, — это Серебрянский карьер Рязанской области. Такими поисками нужно заниматься целенаправленно и всерьез.

— **Хотя находок тех первых рептилий в Подмосковье пока и нет, зато здесь по сей день обнаруживают остатки колоний коралловых рифов.**

— Да. Кораллы действительно попадаются в подмосковном карбоне, причем они довольно разнообразные и многочисленны. Встречаются колониальные кораллы: табулятные и четырехлучевые, или ругозы. Встречаются и одиночные ругозы. Кстати, именно колониальные кораллы позволяют составить точное представление о климате, который существовал в каменноугольном периоде в Подмосковье.

Колониальные кораллы — это животные, которые обитают исключительно в теплых и мелководных морях. Вместе с коралловыми полипами



*Edaphosaurus* подставляет свой «парус» под теплые лучи солнца для обеспечения тела дополнительной энергией. Эдафозавры жили во второй половине каменноугольного периода и в начале пермского периода (слева). Крупная хищная хрящевая рыба *Edestus* sp. Реконструкция. Длина рыбы могла достигать 6–7 м (справа).

существуют и их симбиотические организмы — фотосинтезирующие водоросли. Соответственно, кораллы могут развиваться только в фотической зоне (верхнем слое океана, освещенность которого достаточна для протекания процесса фотосинтеза. — Примеч. ред.). Благодаря изучению кораллов мы можем сделать выводы не только о палеоклимате, но и о глубине бассейна. Очевидно, что глубина этого бассейна не превышала 50 м. Но я думаю, что доминирующими глубинами были первые метры. Время от времени этот морской бассейн осушался.

— **В этом море водились акулы?**

— Да, конечно, рыб было много, причем самых разных. Что удивительно, в Подмосковье встречаются остатки совершенно феноменальных существ, которые тоже близки к акулам, их даже когда-то считали акулами. Это хрящевые рыбы двух семейств: эдестиды и геликоприониды. Эдестиды обладали очень интересным строением зубов. Из их нижней челюсти выступала дуга, на которой располагались режущие зубы, причем по краям этих зубов находилась зазубренная кромка, которая позволяла разрезать добычу, — что-то вроде серпа. И сверху у них тоже была своего рода «противодуга». Совместно эти две челюсти работали как гигантские ножницы. У геликоприонид режущие зубы были собраны в спираль, располагавшуюся на нижней челюсти.

— **Что в итоге произошло с коралловым морем на территории нынешней Москвы и области? Оно просто высохло?**

— Моря трансgressируют, регрессируют, приходят и уходят — это естественный процесс. Существуют также долговременные колебания земной коры, которые сказываются на уровне моря, есть долговременные колебания уровня моря. Так что тот морской бассейн, который существовал в течение карбона, регрессировал и в итоге остался



лишь небольшой пролив в Приуралье, который в середине пермского периода (около 260 млн лет назад) тоже исчез.

— **На какое из современных морей было похоже это море?**

— Можно привести в качестве аналога залив Акаба в Красном море. Это мелководье, платформенные рифы, карбонатное осадконакопление, очень теплый тропический климат, колонизальные кораллы. Думаю, экологически эти бассейны очень схожи. Но, конечно, в каменноугольном море Подмосковья были таксономически другие кораллы — табуляты и четырехлучевые кораллы. В Акабском заливе современные кораллы успешно развиваются, но это в основном шестилучевые кораллы.

— **Вернемся к растительности. Цветов же не было в карбоне, они появились потом?**

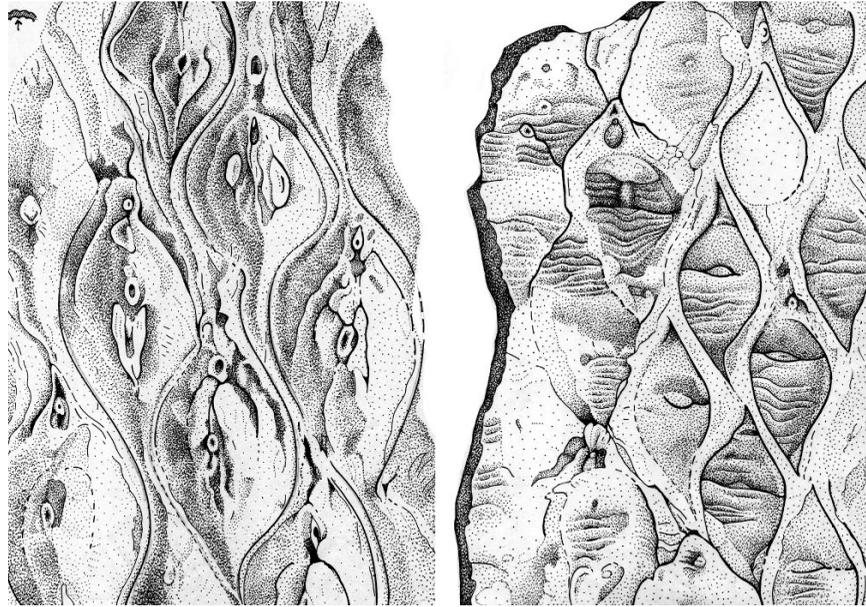
— Да, цветковых растений не было, а были в основном споровые растения. В карбоне они буквально процветали.

Это преимущественно древовидные плауновидные — лепидодендроны. Плауновидные карбона родственны современным ликоподиумам, то есть плаунам. Но в карбоне эти растения были огромными; диаметр их стволов у основания мог достигать 2 м! Такие находки нам известны. В высоту эти растения достигали не менее 30 м, воистину гигантские представители растений того времени. В современной флоре подобные растения представлены исключительно травянистыми формами. Кроме того, были в карбоне и папоротники — как травянистые, так и древовидные. Важно, что в карбоне появляется первое базовое разнообразие голосеменных растений. Некоторые из каменноугольных насекомых были адаптированы в трофическом отношении на питание семязачатками голосеменных растений, в частности птеридоспермов, или семенных папоротников. Птеридоспермов в карбоне было много, и в регионе, которому сейчас соответствует Подмосковье, эти интересные растения тоже произрастали. Появление базового разнообразия голосеменных растений — знаковое событие для каменноугольного периода. А в конце карбона появляются еще и хвойные, тоже представители довольно высокоорганизованных голосеменных. Для палеоботаники все это имеет очень большое значение.

— **И именно в каменноугольный период насекомые научились летать?**

— Да, полноценный полет был массово освоен насекомыми именно в карбоне. Крупных насекомых в тот период на Земле было предостаточно, да и мелких тоже.

— **Москву называют Белокаменной. Это как-то связано с геологией карбона?**



*Кора древовидных гетероспоровых плауновидных Lepidodendron sp. Визейский ярус, нижний карбон. Карьер у д. Георгиево, Тульская область.*

— Да, этот вопрос имеет прямое отношение к каменноугольному периоду. Москва белокаменная строилась из блоков известняка, который добывали здесь же, в Подмосковье. Особенно были знамениты Мячковские каменоломни, Мячковские карьеры. В принципе, остатки этих каменоломен и ныне существуют, но сейчас там не добывают камень для строительства. В средневековой Москве камень для строительства добывался именно в Мячково: известняковые блоки вырубали и везли в Москву, отсюда и выражение «Москва белокаменная». Те, кто увлекается краеведением, знают, что в музее-заповеднике «Коломенское» практически все фундаменты церквей сложены именно из этого подмосковного белого известняка. При внимательном рассмотрении видно, что в этом известняке сохранились ископаемые остатки самых разных животных, которые обитали на дне моря каменноугольного периода.

— **Даже сейчас их можно увидеть?**

— Запросто! Можете хоть сегодня поехать в музей-заповедник «Коломенское», взять с собой увеличительное стекло, подойти к фундаменту любой церкви в Дьякове, и вы увидите там массу ископаемых животных, например фузулинид. Это простейшие одноклеточные организмы. Их раковины достигали 5–6 мм в длину, а для простейших это гигантские размеры. Многие подмосковные известняки, в том числе и те, которые использовались при строительстве Белокаменной, состоят из раковин фузулинид. Известно, что фузулиниды обладали большой породообразующей ролью. Кроме того, в фундаментах коломенских церквей вы можете увидеть остатки кораллов, а также

иглокожих: иглы морских ежей и фрагменты стеблей морских лилий. Их довольно просто найти. Церкви Московского Кремля тоже построены из известняков и изобилуют остатками различных морских организмов.

— **Правда ли, что каменноугольные отложения — самые древние из тех, что выходят на поверхность в Московской области?**

— Да. Из тех, что обнажены в коренном залегании, — это самые древние отложения, если говорить о тех, которые мы можем наблюдать в Московской области. Но в целом в Москве и области можно найти и более древние горные породы, особенно среди тех, что были принесены ледником в четвертичном периоде в течение последних 2 млн лет. В валунных моренных отложениях местами попадаются и протерозойские граниты (протерозой закончился 541 млн лет назад), гнейсы и метаморфические сланцы. Но они находятся не в коренном залегании (в отличие от осадков карбона), а принесены ледником.

— **Наверняка за годы работы вы собрали солидную коллекцию палеонтологических находок. Расскажите о самых любимых экземплярах из коллекции.**

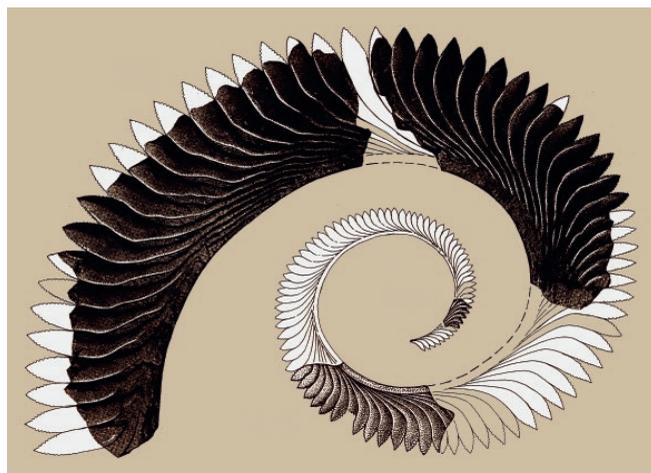
— Поскольку я занимаюсь палеоботаникой, мне, конечно, близко все, что так или иначе связано с растениями. Одна из моих самых существенных находок за последние годы — это лист птеридосперма возрастом около 340 млн лет. Птеридосперм — это так называемый семенной папоротник, а вернее — голосеменное растение с листьями, похожими на листья папоротников, которое относится к виду *Mixoneura obliqua*. Сначала я не придавал находке большого значения, отложил ее в коробочку. Но потом, когда начал отрисовывать жилкование, внимательно разглядывать этот фрагмент листа, выяснилось, что

на поверхности листовой пластинки есть рубцы от прикреплявшихся к этой вайе семян! Поскольку птеридоспермы — голосеменные растения, то и размножались они не спорами, а семенами. Но найти вайю с семенами — это очень большая редкость и удача для палеоботаника! В данном случае мне удалось найти не лист с семенами, а лист, который позволяет составить представление о том, каким именно образом семена прикреплялись к вайе. Это феноменальная и редкая находка, которой я горжусь.

— **Вы автор новых таксонов ископаемых растений. Какие-то из них связаны с карбоном?**

— Одна самых интересных находок, которые удалось сделать в карбоне Подмосковья, — древнейший офиоглоссовый папоротник из отложений среднего карбона, а именно из башкирского яруса. На основании этой находки были описаны новый вид и новый род под названием *Palaeobotrychium carbonicus Naugolnykh*. Совершенно неожиданная и удивительная находка, потому что до этого офиоглоссовые встречались лишь в кайнозое (кайнозойская эра началась 66 млн лет назад и продолжается до сих пор). Даже в мезозое, 250 млн лет назад, насколько я знаю, не было достоверных находок офиоглоссовых папоротников. А тут мы шагнули в глубокий палеозой, в карбон, и увидели такое! Это древнейший офиоглоссовый папоротник, который известен к настоящему времени. Его описание было опубликовано в 2016 г. в международном ботаническом журнале *Wulfenia*.

Еще одна интересная находка, которую мы описали вместе с коллегами из МГУ им. М.В. Ломоносова, происходит из карьера Заборье, расположенного недалеко от Серпухова. Нам удалось обнаружить стробил, или, проще говоря, шишку плауновидного совершенно нового морфологического типа. Возраст находки — ранний карбон,



*Campyloprion ivanovi* Karpinsky. Модель фрагмента зубной спирали геликоприонида по образцам из верхнекаменноугольных отложений (гжельский ярус) разреза Русавкино, Московская область (слева); интегративная реконструкция зубной спирали геликоприонида (справа)

около 325 млн лет назад. Мы с коллегами отнесли его к новому виду и роду *Moscvoostrobus mirabile Naugolnykh et Orlova*. Название, как вы видите, дано в честь нашей любимой столицы. Статья была опубликована в международном журнале *Palaeobotanist* в 2006 г. Реконструкция нашей находки красовалась на обложке юбилейного, 55-го номера журнала.

— **В Москве и области есть так называемые стратотипы — эталонные геологические разрезы, признанные во всем мире, по которым измеряется геологическое время. А много ли их у нас, если мы говорим о каменноугольном периоде?**

— Да, каменноугольных стратотипов в Москве и Подмосковье довольно много. Во-первых, московский ярус — верхний ярус среднего отдела каменноугольной системы. Москва и Подмосковье — это стратотипический регион для московского яруса. Есть также серпуховский ярус — верхний (третий) ярус нижнего карбона. Его стратотип находится у города Серпухова, в карьере Заборье. В Москов-

было удивительное место, на берегу Пахры, очень живописное, при этом оно обладало еще и большой геологической значимостью. Там, как я уже сказал, были обнажения подольского горизонта московского яруса и огромное количество ископаемых остатков самых разных беспозвоночных, например морских лилий. Попадались даже остатки рыб! И вместо того чтобы этот уникальный карьер как-то сохранить, облагородить, адаптировать для рекреационных и исследовательских целей, его просто засыпали. Я считаю, что это большая ошибка, нельзя было так поступать.

Но есть и позитивные примеры — например, гжельский разрез. Там все в порядке, за ним следят, есть специальные охранные знаки и т.д. В принципе, сохранение карьеров — это решаемая задача. Но вопрос в том, кто должен этим заниматься. Наверное, Департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москвы или правительство Московской области. Для начала нужно разобраться, кто должен взять на себя эту функцию. Геолого-палеонтологические памятники Москвы и Подмосковья, многие из которых действительно уникальны, заслуживают очень внимательного и бережного отношения к себе.

— **Какие события в каменноугольном периоде были самыми важными с геологической точки зрения?**

— Для начала давайте обратимся к этимологии названия «каменноугольный период». Что мы видим из названия? Ясно, что это период, в течение которого на Земле образовались огромные месторождения каменного угля (конечно, изначально торфа, а затем каменного угля). Правда, нужно помнить, что торф накапливался в течение карбона не везде. Дело в том, что каменноугольный период был временем отчетливой дифференциации палеофлористической и климатической зональности. Уголь накапливался в низкоширотных зонах там, где существовала тропическая растительность. А ближе к полюсам был совсем другой климат и процессы торфообразования там практически не происходили. Кроме этого нужно помнить, что в конце каменноугольного периода закончилось формирование суперконтинента Пангея, вследствие чего стал меняться климат, началась геократическая эпоха, климат стал более засушливым. Леса и болота карбона начали постепенно исчезать. Усилились процессы аридизации климата.

— **И это отчетливо видно в последующий пермский период, где на суше уже доминировали пустыни?**

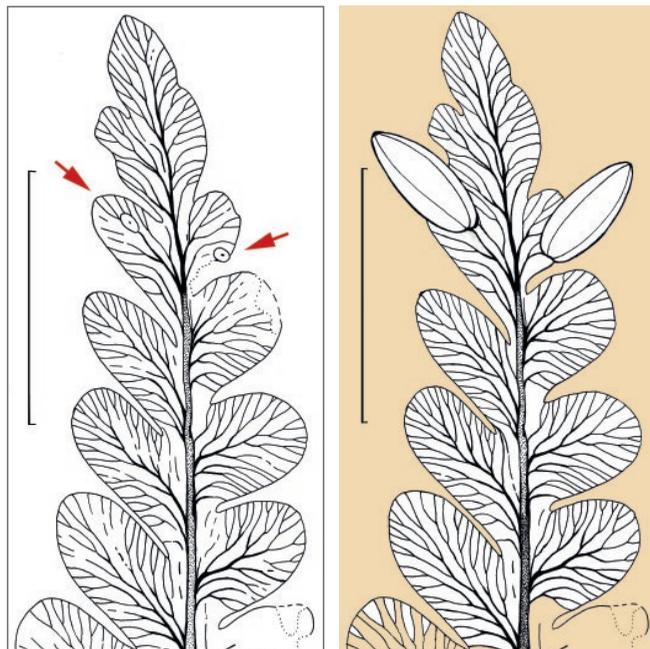
— Верно. Позднее, на границе перми и триаса, эти процессы достигли своего апогея, спровоцировав в числе прочих факторов глобальную экологическую трагедию, которую мы называем великим пермо-триасовым вымиранием, — самое массовое из всех пяти глобальных вымираний в истории Земли.

## Геолого-палеонтологические памятники Москвы и Подмосковья, многие из которых уникальны, заслуживают очень внимательного и бережного отношения к себе

ской области недалеко от станции Гжель был установлен гжельский ярус — верхний ярус верхнего отдела карбона. Есть еще касимовский ярус, установленный в нынешней Рязанской области, его стратотип находится на правом берегу Оки. Касимовский ярус — нижний (первый) ярус верхнего карбона.

— **Не секрет, что многие карьеры, столь ценные для геологии, палеонтологии и не только, превращаются в стихийные свалки. Этот процесс как-то можно остановить?**

— Такая негативная тенденция существует. Многие карьеры действительно превращаются в свалки, и далеко не всегда стихийные. Одна из тяжелых утрат для нас — это рекультивация Подольского карьера. С одной стороны, может, и хорошо, что там хотят сделать парк, но, с другой стороны, Подольский карьер был стратотипом подольского горизонта московского яруса — это геолого-палеонтологический памятник, который нужно было охранять. Кроме того, это был очень красивый в ландшафтном отношении уголок Подмосковья. Я сам любил туда ездить в детстве, а затем возил туда школьников и студентов на экскурсии. Это



*Птеридосперм* *Mixoneura obliqua* (Brongniart) Zalesky, строение листьев. Башкирский ярус, средний карбон. Серебрянский карьер, г. Михайлов, Рязанская область. Длина масштабной линейки — 1 см.

— В свете последующих событий — пермского вымирания, а затем и мел-палеогенового, когда исчезли динозавры, — карбон представляется неким периодом затишья и передышки от глобальных катастроф?

— Да, это был относительно спокойный период, в течение которого тем не менее были и свои тектонически значимые события. Не забывайте, что именно в это время формировалась герцинская складчатость, происходило воздымание Урала, Аппалачей. Я уже упоминал, что именно в каменноугольный период происходили главные процессы, связанные с окончательным формированием суперконтинента Пангея, что, естественно, отразилось на климате, на обновлении биоты. Причем обновилась биота и морская, и наземная.

— **Насколько хорошо изучен московский и подмосковный карбон?**

— Он изучен достаточно хорошо, но не нужно думать, что за 200 лет исследований каменноугольных отложений в Подмосковье нам все уже известно. Это не так. Каждый год исследований и даже каждая новая геологическая экскурсия на карбон Подмосковья приносят что-то новое. Поэтому, если кто-то интересуется каменноугольным периодом в истории нашей Земли, вы можете быть уверены, что нам есть еще над чем работать и чем обогатить науку. Подмосковный карбон заслуживает самого внимательного и пристального дальнейшего изучения. ■

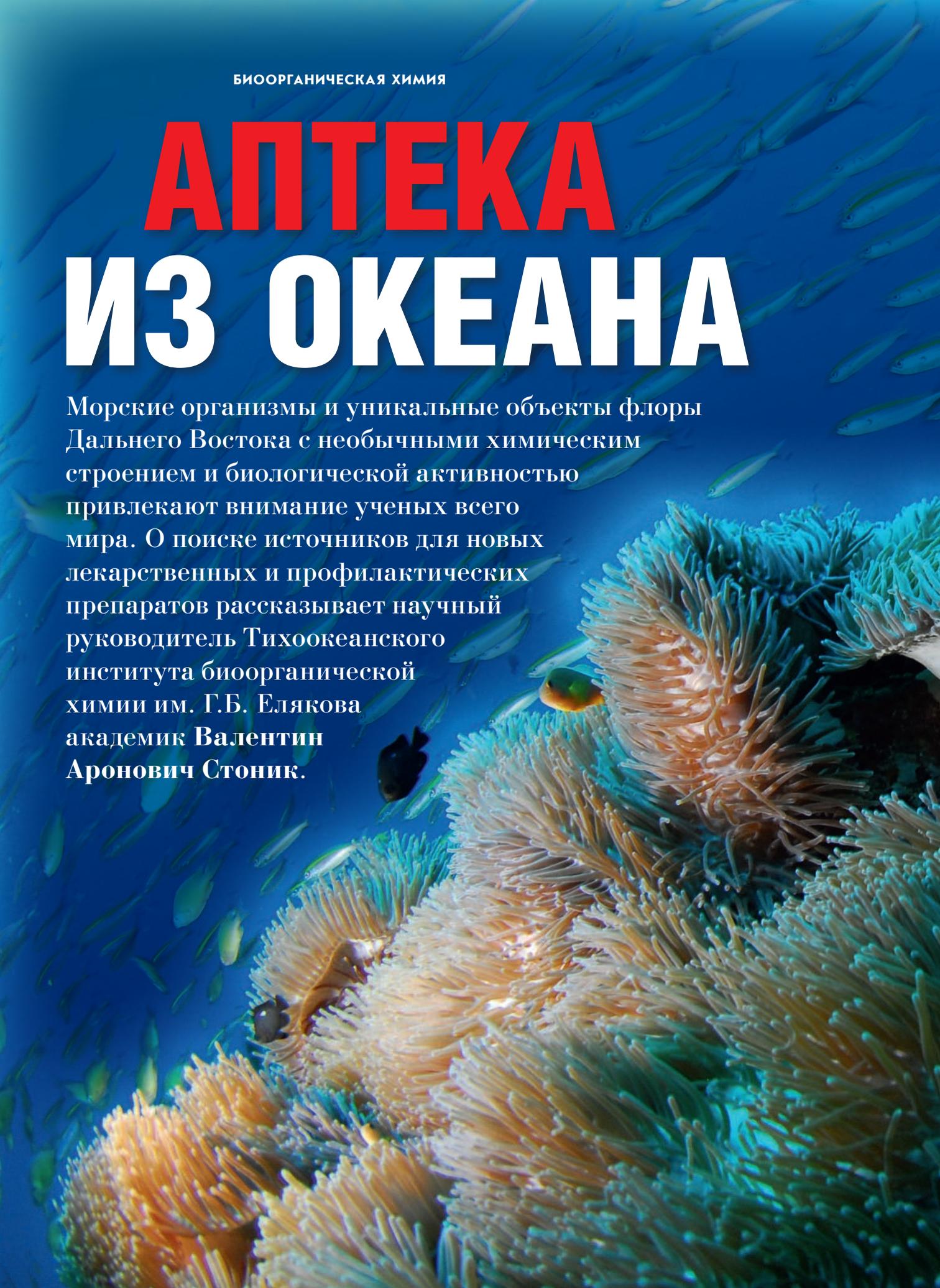
**Беседовала Янина Хужина**



БИООРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

# АПТЕКА ИЗ ОКЕАНА

Морские организмы и уникальные объекты флоры Дальнего Востока с необычными химическим строением и биологической активностью привлекают внимание ученых всего мира. О поиске источников для новых лекарственных и профилактических препаратов рассказывает научный руководитель Тихоокеанского института биоорганической химии им. Г.Б. Елякова академик **Валентин Аронович Стоник**.







Академик В.А. Стоник

**— Валентин Аронович, ваш институт исследует биологически активные вещества, обладающие противоопухолевым и иммуномодулирующим действием. Как ведется их поиск? Как ученые понимают, что перед ними достойный кандидат для будущего лекарственного препарата?**

— Действительно, поиск таких веществ мы ведем уже около 60 лет. У истоков наших исследований здесь во Владивостоке стояли сотрудники лаборатории биологически активных веществ, которую возглавлял академик Г.Б. Еляков, первый директор нашего института. Затем позднее была создана морская станция в 100 км к югу от Владивостока, недалеко от границы с Северной Кореей. И поисковые исследования продолжились с подключением этой станции, где располагаются лабораторный корпус, пирс для малых судов и все необходимое.

С начала 1970-х гг. отдельные ученые нашего института принимали участие в морских экспедициях, поскольку объектами для изучения были не только наземные растения Уссурийской тайги и других регионов Дальнего Востока, но и морские организмы. А уже с 1976 г. мы начали организацию собственных морских экспедиций.

К настоящему времени мы совершили более 50 морских экспедиций практически во все моря и океаны кроме Антарктического региона. В лабораториях морской станции и на борту научно-исследовательских судов (в том числе на построенном для нашего

института судне «Академик Опарин») ученые обрабатывают собранный материал, на основе которого ведется поиск различных природных соединений.

Главная цель экспедиций — найти новые природные соединения, установить их структуру, определить свойства, в том числе биологическую активность, понять, как в морской среде происходит биосинтез, какие перспективы открываются для поиска биологически активных веществ. В результате биотестирования мы сразу определяем, какими свойствами обладают экстракты морских организмов. И затем выделяем новые природные соединения в лабораториях нашего института, устанавливаем их химическую структуру, изучаем биологическую активность и другие полезные свойства.

**— Какая аппаратура помогает вычислять новые активные вещества?**

— Прежде всего, мы работаем с оборудованием для сбора морских макро- и микроорганизмов. Причем отбор ведется на достаточно больших глубинах. Максимальная глубина, с которой собирались морские организмы для поиска биологически активных веществ, — 4,5 км. Между тем большая часть наших объектов собирается водолазным способом, то есть с помощью легкой водолазной техники на глубине 30–40 м.

Помимо этого, специалисты ТИБОХ активно используют спектральную технику при установлении структуры найденных природных соединений. Это мощные

ЯМР-спектрометры, масс-спектрометры и другие приборы, которые позволяют установить молекулярное строение веществ.

Но все-таки главную роль в этих исследованиях играет не столько аппаратура, сколько люди, которые умеют с ней работать и решать сложные задачи — выделять и устанавливать строение природных соединений.

**— Новые биологически активные соединения можно найти только у впервые найденных организмов или анализируя качества уже известных морских организмов?**

— Реализуемы оба варианта. Кроме того, мы работаем не только с морскими, но и с наземными организмами, в том числе с высшими растениями из различных районов Дальнего Востока. И, конечно же, специалистам ТИБОХ неоднократно приходилось работать с уже хорошо известными объектами начиная с женьшеня, элеутерококка (его биологически активные вещества были открыты именно в нашем институте), заканчивая заманихой и другими растениями семейства аралиевых. Мы работали также с довольно известными природными объектами, в том числе используемыми в пищевой и фармакологической промышленности, например с дальневосточным трепангом и др. И из всех этих объектов мы старались выделить новые природные соединения.

**— Как ТИБОХ совмещает фундаментальные и прикладные исследования, которые становятся основой для создания новых лекарственных препаратов?**

— Поскольку наш институт входит в структуру Российской академии наук, нашей главной задачей остается получение новых знаний, в том числе о различных метаболических морских и наземных организмов. А прикладная задача вытекает из решения фундаментальной задачи, связанной с поиском новых веществ, открытием новых направлений биосинтеза и т.д.

При этом, когда в результате исследований мы находим вещества, обладающие интересной, с нашей точки зрения, активностью, возникает проблема, что же делать с этим объектом дальше. Мы, конечно, продолжаем поиск новых соединений, однако было бы нецелесообразно останавливать нашу работу

на начальном этапе. Поэтому ученые ТИБОХ нарабатывают те вещества, которые кажутся им любопытными, проводят их всестороннее изучение, в том числе биологической активности, и затем получают опытные партии для начала предметных доклинических и клинических испытаний. Несколько раз нам удавалось продвигаться довольно далеко, вплоть до получения биологически активных субстанций, пригодных для применения в фармакологии и медицине, а затем и до получения лекарственных форм. В этом нам помогали представители фармацевтических производств. И, наконец, несколько новых лекарств были зарегистрированы и использовались в медицине.

**— Как ведется сотрудничество с бизнесом и фармакологической промышленностью?**

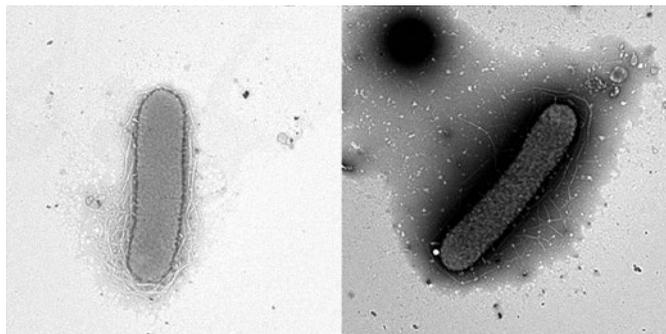
— Дело движется очень медленно и часто сопровождается всевозможными отступлениями, хотя в некоторых случаях удается все-таки решить эту проблему. С бизнесом работать непросто. И вещества, которые мы находим, нарабатывать на фармацевтических производствах тоже нелегко. Тем не менее в некоторых случаях удалось создать разрешенные и применяемые лекарства, которые вызывают интерес сегодня не только в нашей стране, но и за границей. Это так называемые инновационные лекарства.

Кроме того, наш институт довольно интенсивно применял всевозможные биологические активные вещества, наработанные в ТИБОХ или полученные с помощью нашего опытно-экспериментального производства, существующего на правах лаборатории. Мы создаем, например, биологически активные добавки к пище, напитки, ветеринарные



Научно-исследовательское судно «Академик Опарин»

**Открытый сотрудниками института** новый вид морских бактерий *Winogradskyella profunda* sp. nov., названный в честь знаменитого русского микробиолога С.Н. Виноградского (1856–1953)



препараты и пр. Поэтому наши прикладные исследования касаются не только лекарств, но и других биопрепаратов.

— **А как в данном случае ведется коммуникация с бизнесом и промышленными партнерами? Они сами узнают о ваших разработках и предлагают запустить их производство? Или ученые предлагают свои идеи бизнесу?**

— Как правило, наши сотрудники, ученые, авторы разработок самостоятельно пытаются связаться с той или иной компанией или заинтересованными лицами. К сожалению, последние очень редко идут на дальнейшие контакты, потому что такой бизнес всегда связан с рисками. Нет гарантии, что лекарственная форма будет успешна на рынке. Кроме того, производить лекарство или даже лекарственную субстанцию — дело затратное. Необходимых денег у академического института вроде нашего просто нет. Поэтому если партнеры поверили в ученого, если они идут на какие-то контакты, то в таких редких случаях удается чего-то достигнуть.

— **Когда мы встречались с вами ранее во Владивостоке, вы рассказывали о препарате гистохроме, который уже хорошо себя показал в кардиологии, в офтальмологии. Вы отметили, что он мог бы применяться при реабилитационном лечении после COVID-19. Что известно о судьбе препарата сегодня?**

— Судьба у препарата тяжелая. Во-первых, его производство временно остановлено. Мы не можем нарабатывать субстанцию из-за проблем, которые возникли на фармацевтической фабрике «Ферейн». Сменились персонал и оборудование, на котором выпускались ранее сотни тысяч курсовых доз препаратов серии «Гистохром» для офтальмологии и для кардиологии.

Во-вторых, мы не можем поставлять субстанцию, потому что наше опытно-экспериментальное производство было временно приостановлено по решению комиссии Министерства промышленности и торговли.

Это производство было создано на волне энтузиазма, но с поддержкой в виде гранта в те годы Министерства образования. В 2008 г. мы заключили государственный контракт и запустили опытно-экспериментальную установку. Но сейчас правила изменились. Комиссия Минпромторга настойчиво рекомендовала перестроить наше производство, дооборудовать так, чтобы оно полностью соответствовало правилам *GMP* (от англ. *good manufacturing practices*, «надлежащая производственная практика», международный стандарт качества. — Примеч. ред.). При этом только переоборудование участков производства активной субстанции для препаратов серии «Гистохром» стоит примерно 55 млн рублей. Деньги не чрезмерные, но очень значительные для нашего института. И своими силами собрать такую сумму мы не смогли. Хотя многие недостатки, на которые указала комиссия, мы устранили. Однако работы еще достаточно много.

Если говорить о перспективе использования этого препарата для реабилитации больных с *COVID-19*, то это для нас новое направление. Пока мы пытаемся наработать субстанцию в лабораторных условиях. А заявка на репозиционирование и дальнейшие испытания ждет своей очереди.

Пока мы планируем начать испытания совместно с владивостокским Научно-исследовательским институтом эпидемиологии и микробиологии им. Г.П. Сомова, в котором есть лаборатория вирусологии. Сотрудники НИИ недавно получили один из вариантов вируса, на котором мы испытываем наши препараты, в том числе препараты серии «Гистохром».

— **Что собой представляет этот препарат?**

— Активное вещество для него получают из плоского морского ежа, который живет в толще песчаного дна и выходит на поверхность только во время нереста — в сентябре-октябре. Данный вид морского ежа несъедобен. На морской станции мы самостоятельно разводим таких морских ежей и ежегодно

выпускаем личинки, готовые к оседанию, в ближайшей к нашей станции акватории. Сама субстанция вещества эхинохрома — это нафтохиноидный пигмент, который окрашивает и самого ежа, и его внутритропостную жидкость в красный цвет.

Эхинохром-А изучался не только в нашем институте, но и нашими коллегами из Южной Кореи и из других стран, опубликовано множество совместных научных работ. Исследования значительно расширили наши знания о биологической активности этой субстанции. Сейчас ясно, что ее можно применять не только в офтальмологии и кардиологии, но и для других медицинских целей. Например, недавно мы совместно с корейскими учеными получили патент на использование этого препарата для онкологических больных, так как эхинохром уменьшает кардиотоксичность противоопухолевых лекарств. Известные противоопухолевые препараты часто вызывают осложнения в сердечно-сосудистой системе, и пациенты нередко погибают именно от кардиотоксичности. Наш препарат снижает такую нагрузку на сердечно-сосудистую систему.

**— Правильно ли я понимаю, что речь идет о репозиционировании? То есть необходимо вновь провести все испытания?**

— Да, конечно, это классический случай репозиционирования лекарственного средства, требующий проведения дополнительных исследований. Наши корейские коллеги готовы взять на себя все расходы и провести такие испытания. Но, конечно, хотелось бы провести их в нашей стране и не терять возможность использования нашего препарата и его производства в России.

**— Вы говорите о важных препаратах, которые спасают жизни людей. Почему нет интереса со стороны государства, министерства здравоохранения и крупных фармацевтических компаний?**

— Поддержка государства есть, но ее недостаточно. Основная причина, как мне кажется, связана с нашей удаленностью. Все-таки и 9 тыс. км по железной дороге до Москвы, и 7 тыс. км в полете — это серьезные расстояния. Конечно, накладывает свой отпечаток пандемия, осложняющая поездки, контакты. Поэтому, вероятно, мы недостаточно продвигаем наши вещества в государственных структурах. Хотя мы обращались непосредственно к министру науки и высшего образования с просьбой о помощи. Он обещал, что приедет во Владивосток, посмотрит на месте, как обстоят дела

с опытно-экспериментальным производством, и попытается помочь. Но, к сожалению, до сих пор этого не произошло. Видимо, это связано с непростой обстановкой, которая сейчас сложилась в стране.

**— Какие препараты, созданные в ТИБОХ, получили массовое распространение?**

— Есть два лекарственных препарата, которые получали разрешение и выпускались. Один из них — гепатозащитный препарат «Максар». До последнего времени он был в аптеках, и только недавно его производство и применение прекратились. Он создавался на основе лекарственного растения маакии, которое растет в древесной форме только на юге Приморского края.

Другой препарат был получен из отходов переработки камчатского краба, воспроизводимого у нас на Дальнем Востоке. Это ранозаживляющий и противоопухолевый препарат «Коллагеназа КК» (то есть камчатского краба). Что касается биологически активных субстанций и препаратов, которые проходили доклинические или клинические исследования, среди них наиболее интересным можно считать иммуностимулятор с новым механизмом молекулярного действия. Есть перспективные вещества, хорошие потенциальные субстанции из некоторых высших растений, в том числе женьшеня, и морских организмов. И все эти препараты ждут своей очереди для доклинических или клинических испытаний, на проведение которых нужны большие деньги, которых, к сожалению, у института нет.

**— Можно ли сказать, что большее разнообразие активных веществ содержится именно в океане, и если да, то почему?**



Экстракты для препаратов, созданных учеными ТИБОХ ДВО РАН

— Да, верно. Во-первых, биологически активные вещества высших растений неплохо изучены. Их изучают уже более 100 лет. И среди них найдено множество ценных лекарственных субстанций, однако их поиск становится все более сложным. Уже сейчас ряд биологических объектов требуют повторного исследования.

С другой стороны, химическое разнообразие в океанах выше, чем на суше. Здесь больше представителей разных типов животных и растений, тем более различных классов. Исследования же подобных веществ были начаты в мире сравнительно недавно. Если высшие растения изучают более 100 лет, то морские организмы — примерно 40 лет. Поэтому и лекарственных препаратов из морских организмов создано меньше, чем из высших наземных растений или почвенных грибов.

## **На основе исследований ТИБОХ на Дальнем Востоке работали по крайней мере две фармацевтические фабрики, которые выпускали экстракты женьшеня, элеутерококка. Сейчас производство такого типа сохранилось только в Хабаровском крае**

Но динамика обнадеживает. Уже разработаны около десятка лекарственных субстанций, следовательно, лекарств из морских организмов (одна субстанция может быть использована в целой серии лекарств в разных лекарственных формах). Они разрешены к применению в разных странах, в том числе в Соединенных Штатах Америки, Японии, в меньшей степени у нас, если не считать эхинохрома. Но перспективы здесь, на мой взгляд, очень неплохие.

**— Как в институте представлено направление по поиску активных веществ из наземных растений? Что успешно работает за эти годы?**

— Исследования в этом направлении велись интенсивно с 1970-х гг. Возглавлял их академик Г.Б. Еляков. Специалисты института изучили сотни лекарственных растений, правда, на уровне тех лет. Сегодня многое требует повторного исследования.

Кстати сказать, на основе исследований ТИБОХ на Дальнем Востоке работали по крайней мере две фармацевтические фабрики, которые выпускали экстракты женьшеня, элеутерококка. Сейчас производство такого типа сохранилось в Хабаровском крае. А в Приморском крае, к сожалению, прекращено.

Как мне кажется, в этом направлении точка еще не поставлена. Существует еще множество интересных веществ. Например, в ТИБОХ работает лаборатория природных хиноидных и полифенольных соединений, которую возглавляет доктор химических наук С.А. Федорев. Исследования ведутся также в лаборатории хемотаксономии растений под руководством академика П.Г. Горюхова.

**— В каких направлениях сейчас развивается ваш институт? Каким вы видите его будущее?**

— Институт сохраняет традиции, заложенные нашими предшественниками. В последнее время успехов достигли сотрудники лаборатории химии ферментов.

Если говорить о новых направлениях для института, стоит выделить области, связанные с молекулярной генетикой, изучением морских микроорганизмов, в том числе их полногеномным секвенированием. На сегодня специалисты ТИБОХ описали порядка 200 новых видов морских бактерий, собранных в различных акваториях. Бактерии — один из богатых источников биологически активных веществ. Поэтому сейчас это наиболее перспективное направление.

**— Валентин Аронович, поговорим немного о вас. Почему в свое время вас привлекла химия, которой вы посвятили столько лет?**

— Сложно сказать. Мне кажется, это связано с модным во времена моей молодости лозунгом о химизации промышленности и сельского хозяйства. И, конечно, на меня большое впечатление произвели фильмы, посвященные, например, открытию антибиотиков, исследованиям Александра Флеминга и его коллег. Меня поразило, что герои этих фильмов выделяли из природных объектов совершенно новые вещества, о которых никто ничего не знал и которые изменили жизнь человечества. Например, в результате открытия антибиотиков значительно выросла продолжительность жизни людей, в том числе в нашей стране.

В начале 1960-х гг. я попал на лекции об открытии структуры ДНК, впервые звучали такие слова, как «ген». Значительно позже



Вид на Дальневосточный федеральный университет. ТИБОХ ДВО РАН активно сотрудничает с университетом для совместных исследований и решения вопроса кадровой политики в регионе.

появились такие термины, как «геном» и пр. Все это производило впечатление на молодых людей. В результате я и несколько моих одноклассников поступили на химический факультет. Сегодня они уже доктора наук и признанные ученые.

**— А когда вы сами начали работать над экспериментами, что вы чувствовали?**

— Конечно, было очень тяжело перестраиваться на новые для меня области, ведь начинал я как химик-синтетик. А то, чем я занимаюсь с коллегами сегодня, находится на стыке между химией и биологией. Тем не менее я никогда не разочаровывался в науке. И в целом наша работа очень интересная.

Сегодня я много сотрудничаю с молодыми учеными, со студентами Дальневосточного федерального университета. И я всегда рассказываю им о том, как совершались открытия, изменившие жизнь человечества, о людях, которые их совершали, ведь каждый из них был личностью.

**— А как вы привлекаете в науку молодых ребят, которые будут развивать направления ТИБОХ дальше?**

— Мы изо всех сил стараемся задействовать молодежь. Главное — помочь молодым ученым и студентам преодолеть первые трудности. Эта сфера довольно сложная, ведь здесь необходимо применять различные физико-химические, фармакологические, молекулярно-биологические и многие другие методы. Способные и трудолюбивые студенты, как правило, стараются задержаться в нашем институте и вести здесь свою научную работу.

Мы пытаемся донести и до молодых ученых, и до всех вокруг, что наше направление не только интересно с научной точки зрения, но и полезно для людей. Поэтому нам хотелось бы, чтобы исследования нашего института поддерживались большим числом грантов. Нам нужны субсидии на поддержку опытного производства, чтобы привлекать к работам больше молодых людей. Сегодня, как мне кажется, это особенно важно. ■

**Беседовала Анастасия Рогачева**



**Речной протей** всю жизнь проводит в воде и питается проплывающими мимо насекомыми. На суше протей очень неуклюж.

БИОЛОГИЯ

# ТЯЖКОЕ БРЕМЯ ГЕНОМА

Фантастическая жизнеспособность саламандр заставляет ученых менять традиционные представления об эволюции

*Дуглас Фокс*

## ОБ АВТОРЕ

**Дуглас Фокс** (Douglas Fox) — автор статей по биологии, геологии и климатологии. Живет в Калифорнии. В номере за август-сентябрь 2021 г. журнала «В мире науки» опубликована его статья «Диоксид углерода в горах Омана» (*The Carbon Rocks of Oman*) о разработке методов преобразования углекислого газа в твердые минералы.



**Р**ечной протей — небольшая, длиной с человеческую ладонь, головастая амфибия с голой коричневой кожей, покрытой черными пятнами. Передвигаются протей неохотно и редко удаляются на значительные расстояния от своих норок, расположенных под камнями и бревнами на дне рек Северной Каролины. Во время охоты протей неподвижно лежит на речном дне, выжидая, когда мимо проплывет какое-нибудь насекомое или маленькая рыбешка, а затем делает резкий бросок вперед и заглатывает добычу. Всю свою жизнь эта амфибия проводит в воде, почти никогда не выбираясь на сушу. По сути дела, протей — вечная личинка, никогда не достигающая взрослой стадии развития.

Отсюда и необычный облик этого диковинного существа: коренастое тельце с двумя парами слабых маленьких ног, недоразвитые коготки на крошечных пальцах, крупная голова с отсутствующими костями верхней челюсти и перистые, торчащие позади головы личиночные жабры.

Если рассмотреть ткани протей под микроскопом, в глаза бросится еще одна особенность этого существа: его клетки в 300 раз крупнее, чем клетки ящериц, птиц или млекопитающих. Вооружившись обычным увеличительным стеклом, можно увидеть, как по капиллярам его прозрачных жабр проносятся клетки крови.

Речной протей (*Necturus lewisi*), а также его близкие родственницы — саламандры и прочие хвостатые амфибии — уже давно стали для ученых источником мучительных загадок, к пониманию которых они приблизились лишь в последние годы. Не исключено, что многие необычные признаки протей связаны с его главной особенностью: каждая из клеток его тела содержит в 38 раз больше ДНК, чем человеческие клетки. Протей — обладатель одних из самых крупных геномов из всех четвероногих обитателей Земли. По этому показателю с ними могут конкурировать лишь двоякодышащие рыбы, также отличающиеся медлительностью движений и неспешным образом жизни.

Размеры геномов большинства млекопитающих, птиц, рептилий и рыб находятся в сравнительно узком диапазоне значений — от 0,5 до 6 млрд пар оснований, или нуклеотидных пар ДНК. Последовательности этих пар образуют гены — звенья длинной цепи, которая и составляет геном того или иного животного. Но геномы протеев и других хвостатых амфибий сильно варьируют, насчитывая от 10 до 120 млрд пар оснований. Генов у этих амфибий не больше, чем у других животных, но их геномы захлаплены сегментами так называемой мусорной ДНК. Массивный геном накладывает отпечаток на все аспекты жизни протеев: именно этот фактор обуславливает их медленное развитие и неторопливый темп жизни. Эти маленькие животные с недоразвитым тельцем, сильно упрощенным мозгом и тонкостенным, как бумажный пакет, сердцем десятилетиями влачат неспешное существование в водной среде, нередко доживая при этом до 100 лет.

Не исключено, что в качестве компенсации за это «тяжкое бремя» природа наделила протеев и саламандр по меньшей мере одним изумительным талантом — феерической способностью к регенерации. Эти амфибии могут восстанавливать не только утраченные конечности, но и до четверти массы головного мозга. Потрясающая жизнеспособность!



**Саламандры** — обладатели гигантских геномов, которые, с одной стороны, порой сильно замедляют их развитие, с другой — наделяют саламандр способностью к регенерации конечностей и даже целых отделов головного мозга

Своими необычными особенностями протей и саламандры обязаны ДНК, но не так, как обычно принято считать. ДНК часто называют матрицей жизни, которая содержит точную информацию, определяющую структуру и функции каждой клетки всех видов живых существ. Но, похоже, недавние открытия, сделанные при изучении саламандр, опровергают традиционное представление о столь «тонкой настройке» генома. Они показывают, что ДНК способствует формированию организма ее обладателя таким образом, который не имеет ничего общего с ее информационным контентом. ДНК может деформировать тело и органы своего «хозяина» так, как это делают зеркала в комнате смеха; тот или иной вид животного может мириться только с таким количеством ДНК, которое не вызывает подобных побочных эффектов. Не исключено, что люди, сами того не сознавая, приблизились к пределу своих возможностей: если наш геном станет чуть больше, под угрозой может оказаться величайшее достояние нашего вида — человеческий интеллект.

Что же касается протеев и саламандр, придется лишь удивляться, почему невероятное «разрастание» геномов не привело этих животных

к вымиранию. Сам факт их фантастической жизнеспособности указывает на то, что идея эволюции, особенно ее знаменитый тезис о «выживании наиболее приспособленных», имеет серьезный моралистический акцент и звучит как своего рода назидание молодым видам живых существ: усердно работайте над собой, совершенствуйте свое тело и мозг для повышения продуктивности — и когда-нибудь вы обязательно добьетесь успеха. Но саламандры обязаны своим эволюционным успехом как раз собственным лености и вялости. Они нашли способ обмануть систему.

### Раздутые геномы

Загадка гигантских геномов начала мучить ученых несколько десятилетий назад — вскоре после того как биологи идентифицировали молекулу ДНК как наследственную молекулу жизни. Геном, уникальный для каждого вида организмов, содержит тысячи генов, состоящих из ДНК и отдающих инструкции клеткам по выработке белков и других молекул, которые и определяют специфику каждого организма. Первоначально ученые предположили, что продвинутые виды существ со сложным устроенным телом (например, люди и другие

приматы) должны иметь большее число генов и, следовательно, более крупные геномы.

В 1951 г., однако, это предположение было опровергнуто Альфредом Мирски (Alfred Mirsky) и Хансом Рисом (Hans Ris) из Рокфеллеровского института медицинских исследований. Эти ученые измерили количество ДНК в отдельных клетках нескольких десятков видов животных. К их удивлению, клетки африканской двоякодышащей рыбы протоптера и гигантской саламандры (амфиумы) из юго-восточной части США содержали в десятки раз больше ДНК, чем клетки человека, крысы, птиц и рептилий. По мере того как генетики определяли количество ДНК в клетках все большего числа видов живых существ, становилось ясно, что двоякодышащие рыбы и саламандры находятся в этом отношении вне конкуренции.

За два последовавших десятилетия ученые получили более детальное представление о гигантских геномах. Сигеки Мидзуно (Shigeki Mizuno) и Герберт Макгрегор (Herbert MacGregor) из Лестерского университета в Англии изучили несколько видов североамериканских амфибий, относящихся к семейству безлегочных саламандр (*Plethodontidae*), которые совсем лишены легких и дышат через кожу. Все эти виды выглядели почти одинаково, но их геномы сильно варьировали и насчитывали от 18 до 55 млрд пар азотистых оснований, то есть были примерно в 5–16 раз больше человеческого генома, состоящего из приблизительно 3 млрд пар оснований.

У большинства изученных видов животных цепочки ДНК скручены в структуры (хромосомы), по форме напоминающие сосиски. У видов же с более крупными геномами хромосомы похожи на длинные, чрезмерно раздутые воздушные шарики в виде колбасы. По всей длине эти хромосомы, казалось, были унизаны некоей «избыточной» ДНК. Мидзуно и Макгрегор не имели понятия, что представляет собой этот экстрематериал. Но в 1980-х гг. ученые обнаружили, что клетки самых разных животных (от мух до человека) содержат так называемую мусорную ДНК — короткие сегменты ДНК, названные транспозонами. Транспозоны содержат по несколько генов, что позволяет этим «паразитам» создавать собственные копии, которые затем встраиваются (иногда случайным образом) в другие части генома клетки.

Изучение гигантских геномов медленно продвигалось в течение нескольких десятилетий. Ученые скрупулезно трудились над секвенированием геномов плодовых мушек (дрозофил), червей и человека, но предпочитали не трогать саламандр, изучение огромного объема ДНК которых могло бы превратиться в сущий кошмар. А затем в 2011 г. биолог-эволюционист Рейчел Мюллер (Rachel Mueller) из Университета штата Колорадо сделала смелый шаг вперед.

Используя метод высокоскоростного секвенирования, Мюллер и ее сотрудники провели анализ сотен тысяч случайных сегментов ДНК шести видов безлегочных саламандр, а также аллеганского скрытожаберника — одной из самых крупных в мире саламандр, обитающей в Северной Америке. Полученные результаты подтвердили подозрения ученых: геномы саламандр оказались буквально забитыми транспозонами. Многие одинаковые транспозоны присутствовали в геномах как безлегочных саламандр, так и скрытожаберника, а это наводит на мысль о том, что эти «паразиты» начали впервые бесконтрольно размножаться еще у некоего общего предка всех ныне существующих саламандр более 200 млн лет назад.

С тех пор вопрос о причинах этого феномена не переставал беспокоить Мюллер. «Мы сразу же отвергли предположение, что неожиданно "спянул" какой-то одиночный транспозон, — говорит исследовательница. — Явно произошел глобальный сдвиг в поведении этих последовательностей транспозонов в геноме», — что обусловило одновременное размножение десятков этих сегментов.

Пусть Мюллер и не выяснила причины этого явления, она раскрыла другую загадку. Хотя транспозоны и в самом деле размножаются в геноме хозяина, со временем они обычно удаляются из клеток в результате случайных мутаций. Такая «чистка» постоянно происходит у каждого вида. Но, проведя два исследования, Мюллер установила, что саламандры освобождаются от своих транспозонных вставок в несколько раз медленнее, чем рыбки данио-рерио или люди. Такая неспешность приводит к смещению баланса в сторону накопления транспозонов в клетках, а не поддержания их некоего постоянного количества, в результате чего геномы саламандр со временем становятся все более «раздутыми».

Эта «избыточная» ДНК (экстра-ДНК) существенно изменила строение тела, головного мозга и сердца саламандр. У видов с самыми крупными геномами подобные анатомические отклонения заметны с первого взгляда.

### Эмбриональный мозг

Гигантские геномы нередко превращают саламандр в настоящих детенышей-переростков. Из 766 известных видов этих амфибий более 39 видов утратили способность к полному метаморфозу, то есть к превращению из личинок, ведущих водный образ жизни, во взрослых особей, обитающих на суше. (И еще 39 видов саламандр подвергаются метаморфозу нерегулярно.) Как правило, таким видам саламандр присущи более крупные геномы, чем геномы у их сородичей, претерпевающих метаморфоз. Подобно северокаролинскому речному протею, эти амфибии всю жизнь проводят в воде, дышат наружными жабрами и передвигаются с помощью крошечных слабых лапок.

## Калейдоскоп геномов

Большой, или мраморный, протоптер — обладатель самого крупного генома из всех животных планеты (цветные кольца внизу). От этой двоякодышащей рыбы не сильно отстаёт близкий родственник саламандр — речной протей. Геном человека (фиолетовое кольцо) имеет средние размеры; он примерно в 43 раза меньше генома протоптера и в 22 раза больше генома плодовой мушки. Самый узкий диапазон у геномов птиц; геномы амфибий варьируют очень сильно (см. диаграмму).

Геномы насекомых и моллюсков сильно различаются размерами, но в ещё более широком диапазоне варьируют геномы позвоночных (сильнее всего они различаются у костных рыб и амфибий, меньше всего — у рептилий, птиц и млекопитающих). Размеры геномов измеряются числом пар оснований (нуклеотидов), последовательности которых образуют гены. Полный набор генов организма и составляет его геном.

Диапазон размеров генома в различных группах животных



10 мпо

Размеры геномов отдельных животных (изображения колец масштабированы)

Большой протоптер (*Protopterus aethiopicus*): 130 тыс. мпо

Речной протей (*Necturus lewisi*): 118 тыс. мпо

Кобылка бескрылая (*Podisma pedestris*): 16 тыс. мпо

Обыкновенная квакша (*Hyla arborea*): 4760 мпо

Горбатый кит (*Megaptera novaeangliae*): 3628 мпо

Человек (*Homo sapiens*): 3055 мпо

Подвязочная змея (*Thamnophis sirtalis*): 2405 мпо

Странствующий дрозд (*Turdus migratorius*): 1360 мпо

Улитка катушка (*Biomphalaria glabrata*): 930 мпо

Бурый скалозуб (*Takifugu rubripes*): 390 мпо

Плодовая мушка (*Drosophila melanogaster*): 140 мпо

Увеличенная область

10 тыс. мпо

У собак и кошек размеры геномов очень близки к человеческому

Кроме того, у многих из этих животных на ногах отсутствуют пальцы, потому что их конечности никогда не завершают развития. У речного протей задние лапы имеют лишь по четыре пальца (у большинства саламандр их по пять). У хвостатых амфибий, относящихся к семейству амфиумовых, каждая лапа снабжена тремя, двумя или всего одним пальцем. А у представителей семейства сиреновых, обитающих на юго-востоке США, задних конечностей нет вовсе.

Но даже многие наземные виды саламандр, обладающие «взрослым» телом, нередко наделены личиночными признаками (например, не сросшимися костями черепа или обилием хрящевых — не окостеневших — элементов в скелете конечностей). Серия открытий, сделанных в 1988–1997 гг., показала также, что у многих из этих видов амфибий головной мозг своим строением по сути дела напоминает мозг личинки.

Все началось с образования научного тандема в составе Дэвида Уэйка (David Wake), выдающегося знатока саламандр из Калифорнийского университета в Беркли, и Герхарда Рота (Gerhard Roth), бывшего в то время аспирантом Бременского университета. Совместными усилиями эти ученые решили сравнить строение некоторых мозговых структур у нескольких десятков видов лягушек и наземных безлегочных саламандр.

Изучая под микроскопом нервную ткань саламандр, Уэйк и Рот вскоре поняли, что большинство их мозговых структур отличаются более простым строением, чем аналогичные структуры лягушек — близких сородичей саламандр, относящихся к группе (отряду) бесхвостых амфибий. По словам Уэйка, нейроны (нервные клетки) саламандр выглядели «зачаточными»: они были более крупными, более округлыми и менее дифференцированными (специализированными), чем аналогичные клетки лягушек.

Особенно сильно эти различия были выражены в зрительной системе. Зрительные нервы саламандр (нервы, по которым электрические сигналы передаются из глаз в головной мозг) содержали не более 75 тыс. нервных волокон; у лягушек количество волокон в зрительных нервах достигало 470 тыс. У саламандр гораздо меньшее число зрительных нервных волокон были покрыты миелиновыми оболочками, которые позволяют нервным сигналам быстрее достигать мозга. И, наконец, саламандры и лягушки сильно различались строением так называемого тектума (крыши среднего мозга) — мозгового отдела, ответственного за переработку зрительных сигналов. У саламандр нейроны в этой структуре были рассредоточены хаотично (признак, характерный для мозга эмбрионов или личинок), тогда как у лягушек нервные



**Речной протей** компенсирует слабое развитие сердца и легких дыханием с помощью жабр. Хотя клетки этой амфибии забиты «мусорной ДНК», она существует на Земле миллионы лет.

клетки в тектуме образовывали аккуратные слои. Уэйк и Рот показали также, что саламандрам с более крупными геномами обычно присуще более простое строение зрительной системы.

Анализируя полученные данные, Рот был поражен одной любопытной закономерностью: в головном мозге саламандр отсутствовали именно те признаки, что возникают на поздних стадиях развития мозга и животных в целом. Казалось, что мозгу этих существ не хватало времени, чтобы завершить свое созревание. Этот факт приобретает особый смысл в свете недавнего открытия другого ученого, выявившего тесную связь между крупными размерами геномов саламандр и медленными темпами их развития.

Бывший ученик Уэйка Стэнли Сешенс (Stanley Sessions) изучал фантастическую способность саламандр к регенерации (восстановлению) утраченных конечностей. Сешенс, ныне почетный профессор Колледжа Хартвика в штате Нью-Йорк, ампутировал правые задние лапы у представителей 27 видов безлегочных саламандр и определял скорость отрастания у них новых конечностей. Геном этих амфибий варьировал от 13 до 74 млрд пар оснований, то есть был в 4–24 раза больше человеческого. Сешенс обнаружил, что у животных с крупными геномами конечности восстанавливались медленнее. Их незрелым клеткам требовалось больше времени для дифференцировки в специализированные ткани — мышечную или костную.

Работы Уэйка, Рота и Сешенса позволили объяснить, почему у саламандр с одними из самых больших геномов из всех своих сородичей отсутствовали пальцы, задние конечности и даже способность к полному метаморфозу (превращению во взрослых особей). Их огромные геномы стали причиной замедления и прекращения многих процессов развития. Вначале ученые полагали, что это угнетение развития было связано с тем очевидным фактом, что копирование крупных геномов требует больше времени, а потому клетки делятся медленнее. Но в 2018 г. неожиданные открытия в области геномики заставили ученых взглянуть на этот феномен по-новому.

Первым полностью расшифрованным геномом хвостатых амфибий был геном аксолотля — «вечной» (неотенической) личинки мексиканской амбистомы. У этого существа длиной около 30 см имеются короткие ножки, перистые жабры по бокам шеи и прочие личиночные признаки, а его геном состоит «всего» из 32 млрд пар оснований (для сравнения: геном речного протоя насчитывает около 118 млрд этих структур). Изучение аксолотля показало, что транспозоны в его клетках не только разбросаны среди генов; они в изобилии присутствуют также внутри генов, в областях, называемых интронами.

Эта маленькая деталь имеет огромное значение. Когда ген включен, весь он целиком, включая интроны, должен быть скопирован в цепочку РНК. Затем интроны должны быть вырезаны, прежде чем цепочка РНК будет использоваться в качестве матрицы для синтеза белков, определяющих развитие клетки. Интроны аксолотля в 13 раз длиннее человеческих, потому что они забиты транспозонами. Поэтому для образования цепочек РНК требуется гораздо больше времени. Соответственно, инструкциям о том, каким образом должны специализироваться клетки, также нужно более длительное время для реализации своих эффектов — настолько длительное, по словам Сешенса, что аксолотли «так никогда и не взрослеют».

Медленное развитие — лишь один из аспектов деформирующего влияния гигантских геномов на организм. Массивные геномы вызывают еще один серьезный эффект. Ученые случайно заметили этот феномен еще более 150 лет назад, но его важность они осознали лишь в наши дни.

### Сердца, похожие на бумажные пакеты

В начале XIX в. британский анатом и военный хирург Джордж Гулливер (George Gulliver), путешествуя по миру, время от времени предавался любимому занятию. В каждом месте расположения его воинской части он брал кровь у местных видов животных, рассматривал ее образцы под микроскопом и определял содержание в ней эритроцитов (красных кровяных телец). В результате Гулливер изучил кровь мексиканских оленей, американских аллигаторов, индийских питонов, акулы катрана, электрического угря, броненосцев и сотен других животных. Самые крупные клетки ученый обнаружил у трехпалой амфиумы — существа с такими крошечными конечностями, что оно сильнее напоминает змею или угря, чем амфибию. Зато объем эритроцитов у этого животного был в 300 раз больше, чем у человека. Размерами эритроцитов амфиуме немного уступали саламандры и двоякодышащие рыбы.

Сегодня мы знаем, что размер клетки и размер генома взаимообусловлены: чем больше в клетке ДНК, тем она крупнее. Размеры клеток тесно связаны со строением животных. Некоторые саламандры, обладающие крупными клетками, отличаются и внушительными размерами. Так, длина китайской исполинской саламандры достигает 1,8 м, а некоторых видов амфиум — 1,1 м. Длина тела речного протоя составляет около 28 см, что все-таки вдвое больше, чем длина большинства других видов саламандр.

Кроме того, тела животных, образованные большими клетками, нередко отличаются и более простым строением. Представьте, что вам нужно собрать две игрушечные машинки — одну из маленьких деталей конструктора *Lego*, а вторую — из более крупных деталей набора *Duplo*.

Если машинки должны быть одинакового размера, то игрушка, собранная из более масштабных строительных блоков, будет иметь более простой и грубый дизайн. Примерно так в природе создаются и тела саламандр.

Джеймс Хэнкен (James Hanken), ныне работающий в Гарвардском университете, в 1980-х гг. обнаружил классическое подтверждение этому феномену. В то время Хэнкен изучал «кости» (а в действительности — никогда полностью не окостеневающие хрящевые элементы) запястий самых маленьких саламандр планеты. Эти амфибии, относящиеся к роду саламандр-лилипутов (*Thorius*), населяют укромные уголки горных мексиканских лесов. Некоторые виды этих крошечных саламандр настолько малы, что свободно помещаются на ногте пальца руки взрослого человека. Несколько десятков близкородственных видов саламандр-лилипутов в течение многих миллионов лет эволюционировали независимо друг от друга, но запястья всех их видов состоят из одних и тех же восьми «костей». Хэнкен, однако, заметил, что у некоторых видов амфибий-лилипутов отдельные запястные кости срослись. Что еще удивительнее, взаимное расположение костей запястья могло варьировать у животных, относящихся к одному виду. В результате у одних животных одного и того же вида в запястье насчитывалось семь костей, а у других — всего четыре. А у отдельных особей различались даже число и расположение костей в правом и левом запястьях!

Такая вариабельность, по словам самого Хэнкена, была «чем-то исключительным». Ученый предположил, что, поскольку саламандр-лилипутам присущи крохотное тельце и огромные клетки, когда у зародышей этих животных формируются запястья, на образование полноценных костей просто-напросто не хватает клеток.

Предположение Хэнкена о том, что крупноклеточным организмам свойственно упрощенное строение тела, буквально заворовало Рейчел Мюллер и ее аспиранта Майкла Итгена (Michael Itgen). Решив проверить, соответствует ли оно действительности, в 2019 г. эти ученые приступили к реализации амбициозного проекта с целью изучить возможное влияние различий в размерах клеток на структуру сердца. В качестве экспериментальных животных служили девять видов безлегочных саламандр, чей размер генома варьировал от 29 до 67 млрд пар оснований.

Как явствует из названия, у безлегочных саламандр легкие отсутствуют и дышат они через кожу. Их сердце имеет только один желудочек (а не два, как у птиц и млекопитающих). Изучая сердечные желудочки безлегочных саламандр разных видов под микроскопом, Итген был поражен глубокими различиями в их строении. Саламандры с самыми маленькими геномами обладали

желудочками с толстой мышечной стенкой, окружавшей сравнительно небольшую камеру, где собиралась кровь. Чем больше были геномы животных, тем более вместительным становилось внутрижелудочковое пространство и тем более тонкой — окружавшая его мышечная стенка. У видов с самым большим геномом желудочек напоминал полный мешок из тонкой мышечной пленки толщиной всего в одну клетку.

Для Итгена вид такого дряблого тонкостенного мешка стал настоящим потрясением. «Я даже представить себе не мог, как эта штука вообще работает», — вспоминает ученый, который в конце 2021 г. опубликовал совместно с Мюллер результаты своих исследований в журнале *Evolution*.

Истинная природа связи между размером генома и строением сердечных желудочков для Итгена остается пока загадкой. Возможно, желудочкам видов с большими геномами требуется более вместительное внутреннее пространство, чтобы вмещать более крупные клетки крови. Или же, по словам ученого, стенка сердца содержит меньше мышечных волокон потому, что во время развития организма эти клетки не успевают достаточно быстро делиться.

В любом случае, такая «низкокачественная сердечная конструкция» обходится животным недешево. Адам Чикко (Adam Chicco), изучающий физиологию сердца в Университете штата Колорадо, проводит параллели между тонкостенными желудочками этих существ и сердечными желудочками людей с тяжелой сердечной недостаточностью: снижение количества сердечных мышечных клеток, истончение сердечной стенки и ослабление способности к перекачиванию крови.

Будь саламандры людьми, они постоянно находились бы на пороге смерти. «За большие геномы живые существа расплачиваются дорогой ценой», — сказал мне Дэвид Уэйк в 2020 г. И тем не менее саламандры существуют на планете уже более 200 млн лет. «А значит, от таких геномов должна быть какая-то польза», — рассуждает ученый. Поиски этой пользы привели исследователей к поистине еретическим заключениям, едва ли не опровергающим классические основы теории эволюции.

### Глубокие искажения

В 2020 г. мы разговаривали с Уэйком дважды; в апреле 2021 г. ученый скончался. Но к тому времени они со Стэнли Сешенсом уже пришли к пониманию феномена, над которым ломали головы долгие годы: какую выгоду саламандр-двойкодышцам рыбам приносят их громадные геномы? Картина прояснилась в результате проведенного учеными смелого эксперимента.

Анестезировав нескольких зеленоватых тритонов (амфибий из семейства саламандр), Сешенс

и его студент-бакалавр Юрий Мамаев осторожно надрезали и отгибали назад тонкие кости черепа, а затем у каждого животного удаляли почти четверть головного мозга — отдел, ответственный за обоняние. Отрезанные конечности саламандры восстанавливают довольно легко, а как обстоит дело с мозгом? Сешенс решил изучить пределы регенерационных способностей этих амфибий. И, по словам ученого, он не очень удивился, «когда через шесть недель зеленоватые тритоны восстановили и утраченную часть мозга».

Проведенный эксперимент показал, что саламандры способны восстанавливать части тела, которые в природе они обычно не теряют. А этот феномен в корне противоречит фундаментальному эволюционному принципу, гласящему о том, что те или иные способности возникают у животных в ответ на воздействие стрессовых факторов окружающей среды. Сешенс предположил, что, возможно, своей эволюцией регенерация была обязана стрессовым факторам среды лишь отчасти, а гигантский геном усилил эту тенденцию в качестве полезного побочного эффекта.

Сегодня Сешенс считает, что медленное развитие организмов, обусловленное находящимися внутри интронов транспозонами, может привести к «перегрузке» взрослых саламандр незрелыми клетками, которые все еще способны дифференцироваться в новые ткани. «По сути дела, саламандры — ходячие мешки со стволовыми клетками», — говорит ученый. Эта теория, сформулированная Сешенсом совместно с Уэйком, была опубликована в июне 2021 г. вскоре после кончины Уэйка.

Джеремая Смит (Jeremiah Smith), изучающий геном аксолотля в Кентуккийском университете, считает, что идея «вполне правдоподобная». Но ученый предупреждает, что дело может обстоять гораздо сложнее: жизнь располагает множеством способов замедлить развитие организмов, если это сулит им большие выгоды. Впрочем, учитывая огромное изобилие транспозонов в геноме саламандр, вполне логично предположить, что ключевую роль здесь играют именно эти структуры. «Эволюция работает с тем материалом, который имеется в ее распоряжении», — отмечает Смит.

Если теория Уэйка и Сешенса верна, она может иметь самые серьезные последствия. Ученые десятилетиями изучали регенерационные способности саламандр в надежде найти способы восстановления человеческих тканей. Если же для регенерации требуется наличие множества генов с длинными интронами, эта задача сильно осложняется.

На более глубоком уровне теория Уэйка и Сешенса показывает, в какой огромной степени «генетическим паразитам» удалось перепрограммировать саму биологию саламандр. По завершении

развития люди и многие другие долгоживущие виды держат оставшиеся в организме стволовые клетки под строгим контролем, что снижает риск безудержного деления клеток, способного привести к раку. У саламандр стволовые клетки гораздо многочисленнее и подвергаются гораздо меньшим ограничениям.

Теория Уэйка и Сешенса не дает исчерпывающего объяснения тому факту, каким образом саламандры, обладающие столь громадными геномами, умудряются оставаться в живых. Разумеется, способность время от времени восстанавливать утраченные части тела дает саламандрам большие выгоды, но ведь им приходится изо дня в день буквально бороться за существование из-за причудливо деформированных сердца, мозга и тела. Этот парадокс породил дискуссию об удивительных возможностях животных во время разговора, состоявшегося между Мюллер, Итгеном и Хэнкеном в середине 2021 г.

Во время телефонного разговора эти трое ученых обсуждали влияние тонкостенного сердца на выживание саламандр. «Я, пожалуй, буду придерживаться крайней точки зрения, — заявил Хэнкен. — Вполне возможно, что "пустое" сердце вообще не оказывает никакого влияния на качество жизни этих амфибий». Как ни странно, Мюллер и Итген отнесли к этому предположению вполне благосклонно. Саламандры растут и двигаются медленно. Среди всех позвоночных у них самые низкие показатели скорости метаболизма и потребностей в кислороде. У безлегочных саламандр, которых изучают Итген и Мюллер, нет даже легких. Вполне возможно, говорит Итген, что саламандры отлично уживаются с тонкостенными желудочками, потому что «требования к функциональным способностям сердца у этих амфибий крайне низкие».

Действительно, когда Сешенс проводил свои опыты по регенерации мозга, у дюжины зеленоватых тритонов он одновременно ампутировал и почти половину единственного сердечного желудочка. В результате животные теряли много крови и их сердца переставали сокращаться, но все тритоны оставались в живых и через некоторое время образовывали новые желудочки. А это значит, что потребность в сердце у них, вероятно, далеко не такая сильная, как, например, у млекопитающих.

Не очень сильно, похоже, осложняет саламандрам жизнь и их причудливый скелет. Хэнкен считает, что саламандры-лилипуты (род *Thorius*) отлично уживаются со своими «небрежно сконструированными» запястьями, потому что силы, действующие на суставы этих миниатюрных животных, ничтожно малы. Поскольку эти амфибии-крошки никогда не преследуют добычу, им совсем не нужны мощные и точно отлаженные

конечности гепарда. Во время охоты саламандры-лилипуты незаметно сидят на земле и ждут, когда мимо проползет насекомое.

Герхард Рот добавляет к этому, что если охота саламандр сводится к выжиданию добычи, то они вполне могут довольствоваться и сильно упрощенной зрительной системой. Такая зрительная система, например, свойственна грибоязычным саламандрам (род *Bolitoglossa*), обитающим в Центральной и Южной Америке. Эти существа — обладатели самых больших геномов из всех наземных животных, насчитывающих до 83 млрд пар оснований, что в 24 раза больше человеческого генома. Кроме того, по наблюдениям Рота и Уэйка, этим амфибиям присущ и самый примитивный головной мозг из всех саламандр. Упрощая зрительную систему, грибоязычные саламандры утратили от 50 до 90% зрительных нейронов и в результате неспособны отличить ползущее насекомое даже от катящегося рядом блестящего металлического шарика. Зато язык у этих саламандр — один из самых быстрых среди всех животных планеты: чтобы схватить насекомое, они выбрасывают его изо рта за несколько миллисекунд.

Животным, имеющим столь подвижный язык, подслеповатые глаза и способность часами неподвижно сидеть на одном месте, вполне сгодятся примитивный мозг, «полое» сердце и «некондиционные» кости запястья. «Все эти детали не имеют особого значения, — говорит Мюллер. — И в этом заложен глубокий смысл».

### Жестокая ирония

С тех пор как стало известно, что у саламандр и двоякодышащих рыб количество ДНК в клетках гораздо больше, чем у человека, ученые принялись спорить о том, каким целям может служить эта экстремально-ДНК. Вначале было сделано предположение, что ДНК, помимо ее информационных функций, выступает каркасом, определяющим размеры клеточного ядра. Со временем эта гипотеза была отвергнута.

На самом деле транспозоны представляют собой часть «мусорной ДНК», утверждает генетик Тин Ван (Ting Wang), изучающий транспозоны в Медицинской школе Университета Вашингтона в Сент-Луисе. Но этот «мусор», разбросанный по всему геному, становится субстратом для эволюции. Например, транспозоны, расположенные рядом с геном, могут усилить его активность. В 2021 г. Ван обнаружил транспозон, активирующий некий критический ген в мышинном зародыше; удаление этого транспозона приводит к гибели эмбриона. Кроме того, транспозоны играют также структурирующую роль, разделяя геном на различные функциональные сегменты. «Отделить от нас транспозоны уже нельзя, — говорит Ван. — Они стали нашей неотъемлемой частью».

Но транспозоны способны и на предательство. Когда в 2019 г. команда Вана провела анализ почти 8 тыс. опухолей людей, ученые обнаружили, что в половине случаев транспозоны активировали ключевые онкогены, стимулировавшие взрывной опухолевый рост.

Все это указывает на то, что хотя порой транспозоны и включаются хозяином в состав своих клеток, но какой-либо определенной внутренней цели у них нет. «Далеко не все, что находится в клетке, способствует адаптации», — говорит биолог Райан Грегори (T. Ryan Gregory), изучающий размеры геномов различных организмов в Гуэлфском университете в провинции Онтарио. ДНК существует ради самой себя. Она эволюционирует не только для того, чтобы обеспечить выживание своего хозяина, но и для того, чтобы максимизировать собственное выживание, — а с хозяином будь что будет!

Пока хозяин борется с конкурентами за сохранение своей экологической ниши, не менее драматичная борьба разворачивается и внутри его клеток. Транспозоны конкурируют за заселение геномного ландшафта и стараются избежать уничтожения средствами клеточной защиты. «Мы начинаем воспринимать геном как своего рода экологическое сообщество, а мобильные генетические элементы — как виды живых существ», — говорит Мюллер.

Склонность транспозонов к размножению означает, что с течением времени все геномы имеют тенденцию к увеличению. Подобно разного рода хламу, со временем заполняющему весь гараж, ДНК будет накапливаться в клетке до тех пор, пока не заполнит все доступное пространство. Именно давление естественного отбора, которое наказывает хозяина, когда его геном становится слишком масштабным, и удерживает размеры геномов большинства видов существ в определенных пределах. Размеры генома неслучайны, говорит Грегори. ДНК-нагрузка, которую способен выдержать вид, зависит от темпов его развития, скорости метаболизма и образа жизни.

Птицы с их быстрым метаболизмом и энергозатратным полетом попросту не смогли бы «ужиться» с большой массой ДНК в клетках. Их геномы меньше, чем у большинства млекопитающих, и колеблются от 0,89 до 2,11 млрд пар оснований (это меньше человеческого генома, насчитывающего примерно 3 млрд пар оснований). Среди млекопитающих обладатели 19 из 20 самых маленьких геномов — летучие мыши, сталкивающиеся в своей жизни с такими же проблемами, что и птицы.

Люди в этом отношении находятся где-то в середине животного царства, что, вероятно, обусловлено влиянием нескольких конкурирующих факторов. Развиваемся мы медленно; для достижения зрелости людям требуется почти 20 лет, а это значит, что мы должны обладать внушительной

способностью постоянно носить в теле массу экстра-ДНК. С другой стороны, размеры нашего генома может ограничивать другой критический фактор — мощь человеческого мозга, от которой зависит выживание человеческого рода. Нейробиолог Сюзана Херкулано-Хузел (Suzana Herculano-Houzel) из Университета Вандербильта считает, что люди и другие приматы обязаны своим высоким интеллектом сравнительно небольшому размеру нервных клеток, благодаря чему в мозговой коре может поместиться колоссальное их количество. Если эта теория верна, то крупный геном мог бы заставить людей пожертвовать частью мозговых клеток, а значит, и частью интеллекта.

Лягушки и жабы, близкие родственницы саламандр, нередко обладают относительно большими геномами, насчитывающими до 13,1 млрд пар оснований ДНК. Но украшенная роющая лягушка, чей геном был расшифрован в 2021 г., имеет в геноме лишь 1,06 млрд пар оснований, то есть примерно столько же, сколько колибри. Эта лягушка живет в австралийских пустынях и откладывает икру в лужах, образующихся после редких дождей. Ноги у головастиков этой амфибии должны сформироваться всего за несколько дней — пока не высохла лужа. Накапливать в клетках геномный «мусор» эти существа просто не могут себе позволить. Небольшие геномы нередко встречаются и среди растений — например, у быстро расселяющихся по пустырям сорняков (чертополоха, одуванчика и т. д.), которые вытесняют отсюда медленно растущих конкурентов с более крупными геномами.

Скорее всего, «раздутый» геном сформировался у саламандр постепенно. По мнению Грегори и Мюллер, 200 млн лет назад предок всех саламандр, вероятно, вел неспешный образ жизни, сопровождавшийся низким расходом энергии и медленным развитием. А потому постепенное накопление в его геноме транспозонов не причинило ему особого вреда. По мере того как геномы саламандр расширялись, они заставляли своих обладателей осваивать экологические ниши, где наиболее подходящим оказался медлительный и энергоэкономный образ жизни.

В статье, опубликованной в 2020 г., Грегори высказывает предположение, что этот процесс в конце концов достиг некоего переломного момента: из простых обитателей геномного ландшафта транспозоны превратились в полноценных экосистемных инженеров. Когда транспозон встраивает свою новую копию в молекулу ДНК, всегда существует риск, что он нарушит работу гена и нанесет вред хозяину. А это плохо для самого транспозона, потому что его выживание зависит от выживания хозяина. Так, вновь встроенный транспозон не будет передан следующему поколению саламандр, если по его вине животное-хозяин станет стерильным. Но по мере размножения транспозонов само

их присутствие обеспечивало больше мест в геноме, куда могли бы встраиваться новые транспозоны, не причиняя вреда генам. «Формируется своего рода обратная связь, — говорит Грегори. — Чем больше в клетке становится транспозонов, тем больше появляется безопасных участков для их встраивания».

Вот так и получилось, что в конечном итоге в геноме северокаролинского речного протей оказалось 118 млрд пар оснований ДНК, а у его ближайшего сородича, карликового протей (*Necturus punctatus*), также обитающего в реках юго-востока США, — 117 млрд пар оснований.

Глядя на речного протей, невольно испытываешь чувство легкой жалости. Медленное развитие лишает его способности к метаморфозу, а в зрелом возрасте — по злой иронии судьбы! — даже способности к восстановлению конечностей. Не имея возможности совершать далекие путешествия по суше, речной протей ведет изолированное существование в двух небольших речных системах Северной Каролины. Развитие сельского хозяйства и промышленности привело к ухудшению качества речной воды. В июне 2021 г. правительство США включило речного протей, популяция которого сокращается, в список видов, находящихся под угрозой исчезновения. Хотя саламандры существуют на Земле уже более 200 млн лет, в голову невольно приходит мысль, что именно гигантский геном подталкивает речного протей и некоторых его других сородичей-саламандр к вымиранию.

Стэнли Сешенс, однако, в этом совсем не уверен. Существа с «раздутыми» геномами не раз демонстрировали всему миру, что, когда дело доходит до выживания «наиболее приспособленных», сила и проворство далеко не всегда играют определяющую роль. «Геномные паразиты» замедлили развитие протей, увеличили объем его клеток и деформировали анатомию. Все это толкнуло животных на необычный путь эволюционного развития, где приспособленность определяется совсем не сильным сердцем и сложно устроенным головным мозгом. И тем не менее каким-то неведомым образом эти существа умудряются оставаться в живых, даже когда свирепые пожары, наводнения и падающие астероиды полностью истребляют других, казалось бы, гораздо лучше приспособленных животных. «Саламандры — настоящие специалисты по выживанию», — подытоживает Сешенс. ■

**Перевод: А.В. Щеглов**

#### **ИЗ НАШИХ АРХИВОВ**

■ Эриксон Д. Разрезание генома // ВМН, № 6, 1992.

The image features several eagle talons and a bone fragment arranged around the word "ПОЧТИ" (Almost) in large white Cyrillic letters. The talons are light-colored with some red markings, and the bone fragment is a small, cylindrical piece. The background is black.

# ПОЧТИ

**Когти орланов**, найденные вместе с останками неандертальцев на раскопках близ города Крапина в Хорватии. Имеющиеся на когтях отметины заставляют предполагать, что в глубокой древности они были соединены друг другом в виде ожерелья или браслета.



ЭВОЛЮЦИЯ

# ТАКИЕ, КАК, ЛЮДИ

Изучение ископаемых останков из Хорватии показывает, что «дремучие» неандертальцы гораздо сильнее походили на современных людей, чем до сих пор считали ученые

*Даворка Радович и Дэвид Фрейер*

**ОБ АВТОРАХ**

**Даворка Радович** (Davorka Radovčić) — куратор коллекции останков крапинских неандертальцев в Хорватском музее естественной истории в Загребе. Изучает неандертальцев, ранних современных людей и человека из Диналеды (*Homo naledi*).

**Дэвид Фрейер** (David W. Frayer) — почетный профессор биологической антропологии в Канзасском университете. Занимался изучением скелетной анатомии и поведения неандертальцев и других древних людей, живших на планете на протяжении более 1 млн лет.



**В** марте прошлого года, когда Техас и Миссисипи вопреки официальным медицинским рекомендациям отменили обязательное ношение масок во время коронавирусной пандемии, президент Джо Байден обвинил губернаторов этих штатов в «неандертальском мышлении». Байден был совершенно прав, осуждая преждевременную отмену пандемических ограничений, но дал маху, используя в качестве основы для такого порицания ментальность наших эволюционных кузенов. К сожалению, уничижительный оттенок слову «неандерталец» имеет обыкновение придавать не один только Байден.

В популярной культуре уже давно принято считать неандертальцев «низшими существами», отмечая их якобы примитивное анатомическое строение, «дремучесть» и «скудоумие». Крупнейшая американская компания *Merriam — Webster*, специализирующаяся на издании справочников и словарей, предлагает использовать слово «неандерталец» в качестве синонима таких нелестных эпитетов, как «тупица», «болван», «остолоп» и т.п.. И даже некоторые наши коллеги-палеоантропологи считают неандертальцев — людей, правивших Евразией в промежутке между 350–30 тыс. лет назад, — существами, лишенными многих когнитивных и поведенческих способностей, характерных для современных людей — представителей *Homo sapiens*.

И тем не менее все больше исследований указывают на то, что неандертальцы сильно походили на современных людей. Как свидетельствуют ископаемые находки на стоянках неандертальцев по всей Евразии, эти древние люди владели инновационными технологиями, сложными стратегиями добычи пищи и даже зачатками культурной символики.

Но это мнение разделяют не все исследователи. Его критики утверждают, что неандертальцы перенимали продвинутое поведение и приобретали затейливые вещицы у ранних



**Скалы близ Крапины** в Северной Хорватии, где 130 тыс. лет назад жили неандертальцы. Раскопки в этом месте проводились в начале XX в.

современных людей, с которыми они время от времени вступали в контакт, а не изобретали или создавали их самостоятельно.

Наши собственные исследования ископаемого материала, собранного за последние 15 лет во время раскопок неандертальских стоянок в местечке Крапина на северо-западе Хорватии, свидетельствуют о том, что эти критики ошибаются.

Luka Mijeda (preceding pages); Croatian Natural History Museum (this page); all artifacts are housed at and shown courtesy of Croatian Natural History Museum



**Череп неандертальца** из Крапины (слева); на лбу различим ряд параллельных резаных отметин, нанесенных, вероятно, с некими ритуальными целями (справа)

В изученном нами регионе неандертальцы демонстрировали множество форм поведения, традиционно считающихся уникальными для современных людей, причем поведенческие модели они выработали самостоятельно за десятки тысяч лет до того, как в эту область Европы пришли современные люди. О неандертальцах, этих таинственных членах человеческой семьи, нам еще предстоит узнать много нового, но даже уже сегодня совершенно ясно, что они обладали высокими когнитивными способностями и сложными формами поведения, выработанными ими задолго до встречи с древними предками современного человека.

### Сходство и различия

«Плохая репутация» неандертальцев сложилась еще в середине XIX в., когда британский геолог Уильям Кинг (William King) описал череп впервые найденного в Германии представителя этих людей следующими словами: «мысли и желания, некогда ютившиеся в этом костном футляре, ничем не отличались от звериных». Особую популярность такое мнение о неандертальцах приобрело в начале XX в., когда французский палеонтолог Марселен Буль (Marcellin Boule) реконструировал скелет неандертальца, чьи останки были найдены во Франции в местечке Ла-Шапель-о-Сен, в виде сгорбленного обезьяноподобного существа; данное существо ученый рассматривал в качестве примата с крайне примитивными анатомическим строением и психическими характеристиками. С тех давних пор и ведутся нескончаемые споры

палеоантропологов о том, каковы анатомические и поведенческие сходство и отличия неандертальцев и современных людей.

Долгое время ученым казалось, что поведение неандертальцев отличалось от поведения ранних представителей человека разумного целым рядом существенных признаков. Многие исследователи утверждали, что неандертальцы в течение десятков тысячелетий пользовались одним и тем же набором орудий труда, тогда как современные люди довольно быстро начали изобретать все более совершенные инструменты, для создания которых требовались как более широкий спектр сырьевых материалов, так и более сложные мыслительные операции. Считалось также, что ранние современные люди практиковали гораздо более разнообразную диету, включавшую продукты животного и растительного происхождения, в то время как рацион неандертальцев якобы состоял главным образом из мяса крупных животных. И, наконец, в отличие от неандертальцев ранние современные люди части времени посвящали развитию искусств и ритуальной практики.

В последние годы, однако, палеоантропологи обнаружили множество свидетельств того, что неандертальцам были присущи такие формы поведения, о существовании которых еще два десятилетия назад нельзя было и помыслить. Брюс Харди (Bruce Hardy) и его коллеги нашли во Франции, в местечке Абри-дю-Мара, кусочки древних скрученных волокон (нитей), свидетельствующие о том, что неандертальцы владели основами



**Аргиллитовый камень**, найденный в Крапине, скорее всего, был подобран и сохранен неандертальцем из-за его эстетической привлекательности

пряделного ремесла. Мари Соресси (Marie Soressi) с сотрудниками обнаружили во французской пещере Пеш-де-л'Азе специализированные костяные орудия, предназначенные для обработки кожи. А группа исследователей под руководством Жуана Зильяна (João Zilhão) убедительно доказала, что неандертальцы питались мидиями, крабами, мясом акул и тюленей и прочими морскими продуктами, останки которых были найдены на нескольких стоянках этих древних людей на побережье Португалии. В других европейских странах ученые обнаружили признаки того, что неандертальцы включали в свой рацион различные растительные продукты и даже грибы.

Со временем выяснилось, что неандертальцы не только владели довольно сложными производственными технологиями и стратегиями питания. Как показывают некоторые открытия, они обладали и различными формами символического поведения (такими, например, как украшение собственных тел и создание произведений искусства). Так, Марко Перезани (Marco Peresani) и его сотрудники обнаружили в пещере Фумане (Италия) останки птиц с надрезами на крыльях — признак того, что неандертальцы собирали птичьи перья. Группа ученых под руководством Клайва Финлейсона (Clive Finlayson) обнаружила на полу пещеры Горэм в Гибралтаре выгравированное абстрактное

изображение, напоминающее современный хештег (решетку). А Дирк Ледер (Dirk Leder) с коллегами нашли в местечке Айнхорнхеле (Германия) кость пальца гигантского доисторического оленя с вырезанным на ней замысловатым геометрическим рисунком.

Уже известно множество подобных примеров творческой деятельности неандертальцев. Но комментарии ученых по этому поводу нередко отличаются значительной противоречивостью. Большинство примеров символической деятельности неандертальцев относятся к концу господства этих людей в Европе, когда сюда начали проникать первые современные люди. Критики высказывали предположения, что неандертальцы попросту копировали поведение ранних современных людей или получали от них продукты символической деятельности в результате торговли или даже воровства. Согласно другой точке зрения, в пещерах, которые в разное время были заселены представителями обоих видов людей, в результате природных катастроф (наводнений, землетрясений и т.д.) останки неандертальцев перемешивались с останками современных людей и продуктами их труда. А потому, чтобы подтвердить способности неандертальцев к сложным формам деятельности, исследователям нужно было найти соответствующие свидетельства, относящиеся к гораздо более раннему времени, чем появление в Европе современных людей. Такие свидетельства и были получены нами в результате изучения ископаемого материала, собранного близ хорватского города Крапина.

### Символическое поведение

С 1899 по 1905 г. раскопками стоянок неандертальцев в крапинских скалах руководил хорватский геолог и палеонтолог Драгутин Горянович-Крамбергер (Dragutin Gorjanović-Kramberger). За это время здесь было собрано около 900 костей неандертальцев, почти 200 зубов и тысячи костей животных и каменных инструментов. К раскопкам Горянович относился невероятно скрупулезно. В отличие от общепринятой в то время практики раскопки он проводил послойно, то есть каждый раз удалял по одному горизонтальному слою отложений, костей и артефактов и сохранял при этом большую часть найденного материала. В 1906 г. Горянович-Крамбергер опубликовал обстоятельную монографию с описанием обнаруженных во время раскопок костей и орудий. Район Крапины и по сей день остается одним из богатейших неандертальскими стоянками мест Европы; начиная с 1899 г. свет увидели тысячи публикаций, посвященных древним обитателям этого края.

Недавно проведенное нами исследование, однако, в корне изменило традиционные представления о неандертальцах, населявших этот уголок Европы около 130 тыс. лет назад. В 2013 г. одна из авторов настоящей статьи (Даворка Радович) провела полную инвентаризацию собранного здесь ископаемого материала и по-новому взглянула на некоторые необычные окаменелости орланов-белохвостов (восемь концевых фаланг пальцев и одну кость стопы), значение которых ученые явно недооценили ранее. Каждая из этих костей несет множество признаков того, что в древности подвергалась целенаправленной модификации людьми. Все кости были найдены в самом верхнем слое осадочных пород, то есть там же, где покоились кости пещерного медведя, орудия неандертальцев, частично сохранившийся череп ребенка и по меньшей мере один сложенный из камней очаг. Поскольку ни останков скелетов современных людей, ни их инструментов в Крапине не найдено, нет никаких сомнений в том, что все обнаруженные кости орланов-белохвостов подвергались обработке неандертальцами.

Когти орлов и других пернатых хищников — это толстые роговые футляры, покрывающие концевые фаланги пальцев. На верхней поверхности одного из когтей, найденных в Крапине, имеются явственные признаки надразов с микроскопическими кусочками красной и желтой охры в углублениях. Признаки надразов различимы и на трех других когтях и фалангах пальцев крапинских орланов. Края многих надразов стертые, что, по нашему мнению, может быть результатом того, что в свое время эти когти были соединены друг с другом в виде некоего украшения (ожерелья, браслета или погремушки) с помощью какого-то гибкого тяжа (например, волокна сухожилия). Такое

предположение подтверждается и другими имеющимися на птичьих когтях отметинами (насечками, зазубринами и т.д.).

Как показывает анатомический анализ найденных в Крапине восьми птичьих когтей и кости стопы, они принадлежали по меньшей мере трем разным особям орлана-белохвоста. В эпоху палеолита орлы были самыми крупными пернатыми хищниками Европы (таковыми они остаются и в наши дни). Встречаются эти птицы редко, а потому поймать их довольно трудно. Вот почему представляется маловероятным, что крапинская «коллекция» орлиных когтей — случайно уцелевшие останки пернатых.

Более правдоподобно звучит предположение, что эти кости, превратившиеся в окаменелости, были добыты крапинскими неандертальцами в результате охоты с какими-то определенными целями. Ученые находили одиночные когти орлов, служившие, вероятно, подвесками, на многих стоянках неандертальцев, но ни в одном другом месте не было обнаружено сразу восемь когтей орланов-белохвостов в одном и том же археологическом слое.

Орлиные когти — не единственный признак символической деятельности крапинских неандертальцев. Здесь был также найден образец уникальной горной породы с эффектными включениями-блестками, замеченный Радович лишь во время повторной инвентаризации коллекции. Состоящий из аргиллита — глинистой горной породы, образовавшейся в среднем триасе примерно 220 млн лет назад, — этот образец не мог сформироваться в скалах Крапины, сплошь состоящих из известняка. Скорее всего, неандертальцы подобрали его в близлежащем обнажении пород к северу от своего постоянного места жительства. Длинной 92 мм и шириной 66 мм при максимальной толщине 17 мм, образец легко помещается в человеческой ладони. Поскольку поверхность камня лишена признаков модификации или износа, с полной уверенностью можно утверждать, что в качестве орудия он не использовался.

Крапинский образец аргиллита примечателен своими многочисленными дендритными (ветвящимися) структурами, хорошо различимыми как в поперечном, так и в продольном сечении. Особенно ярко эти трехмерные структуры блестят при увлажнении образца; к тому же усиливается контраст между угольно-черными «веточками» и коричневой основой камня. По всей его нижней поверхности тянется длинная изогнутая черная полоса, которая в своей средней части дает многочисленные разветвления. Не исключено, что данная структура — окаменелый отпечаток стебля какого-то растения.

Без сомнения, необычный искрящийся камень непременно подобрал бы и любой современный

любитель-геолог. А испытал ли чувство изумления крапинский неандерталец, поднявший с земли блестящий кусок горной породы с загадочным рисунком на поверхности? В любом случае находка показалась ему достаточно интересной, чтобы бережно донести ее до дома. Сбор и хранение подобных предметов явно указывают на то, что неандертальцы были неравнодушны к эстетически привлекательным объектам и приписывали им необычные свойства.

Свидетельства символического поведения неандертальцев несколько иного рода демонстрирует найденный на месте раскопок частично сохранившийся череп человека, известный под названием «образец "Крапина-3"». Судя по размерам и анатомическому строению, череп принадлежал неандертальской женщине, а интересен он тем, что на поверхности его лба явственно различимы 35 вертикальных параллельных бороздок. Поскольку эти отметины лишены каких-либо признаков заживления, мы считаем, что они были нанесены после смерти женщины. Резаные отметины, возникшие, вероятно, в результате удаления плоти с костей, связанного с каннибализмом, обнаружены и на других костях крапинских неандертальцев. Но надрезы на образце «Крапина-3» находятся друг от друга на равных расстояниях и сильно отличаются от беспорядочных, нередко пересекающихся друг с другом резаных линий, имеющих на других костях, найденных в местах раскопок. Сходным образом выглядели бы и отметины на лбу этого черепа, если бы их оставили когти или зубы животных.

Иногда царапины на костях оставляют острые части штангенциркуля, когда антропологи измеряют этим инструментом ископаемые кости. Но ни один из проводимых учеными стандартных обмеров не затрагивает эту часть лба. Кроме того, резаные отметины на лбу образца «Крапина-3» обладают весьма почтенным возрастом, так как заполнены древними пещерными отложениями, среди которых они покоились долгими тысячелетиями. Все перечисленные факты убедительно указывают на то, что надрезы на лбу «Крапины-3» были сделаны неандертальцами.

Резаные линейные отметины ученые находили и на костях, собранных во время раскопок нескольких других неандертальских стоянок, но все они находились только на костях конечностей животных. Отметины на черепе «Крапина-3» резко отличаются по своему характеру от всех прочих модификаций костей, найденных в этой местности, и уникальны среди всех окаменелостей, имеющих отношение к неандертальцам. Вероятно, они возникли в результате какой-то ритуальной деятельности (например, церемониальной модификации останков любимого человека, численного подсчета или декоративной росписи). Но каким бы ни было

истинное символическое значение надрезов, орлиных когтей или блестящего образца горной породы, неандертальцы имели с ними дело за 130–90 тыс. лет до того, как территории современной Хорватии достигли представители *Homo sapiens*.

### Правши и левши

Еще одна форма символического поведения, которую ученые нередко считают определяющей характеристикой современных людей и ключевым фактором нашего эволюционного успеха, — это язык. Был ли язык у неандертальцев? Сплетничали ли они о своих соседях, делились ли друг с другом надеждами и страхами, рассказывали ли они сказки своим детям? Без машины времени, которая смогла бы перенести нас в далекую неандертальскую эпоху, точно ответить на эти вопросы нельзя. Но при изучении археологических находок и окаменелостей в голову приходят кое-какие догадки. Ряд археологов рассматривают орнаменты на теле и прочие физические проявления символизма в качестве своего рода примитивных аналогов языка.

Одной из целей нашего исследования было определить, какой рукой — правой или левой — неандертальцы предпочитали пользоваться в повседневной жизни. У современных людей преобладает праворукость; в любой ныне существующей популяции людей правшей в несколько раз больше, чем левшей. Преимущественная праворукость — это результат асимметрии полушарий головного мозга, позволяющей каждому из них специализироваться на выполнении тех или иных задач. Межполушарная асимметрия тесно связана с языковыми (речевыми) способностями людей. Асимметрия мозга в той или иной степени свойственна всем приматам, но только у людей более активным (доминирующим) чаще выступает левое полушарие мозга и, соответственно, чаще встречаются правши (каждое полушарие ведает работой противоположной ему половины тела).

Для того чтобы определить, какой рукой предпочитали пользоваться крапинские неандертальцы в повседневной жизни, мы использовали оптическую и сканирующую электронную микроскопию, с помощью которых изучали царапины на зубной эмали их резцов и клыков. Эти тонкие бороздки образуются на передней стороне зубов в результате случайного повреждения эмали острым каменным орудием. Они возникают, когда обе руки у человека заняты и он вынужден использовать рот в качестве «третьей руки», зажимая в зубах какой-нибудь обрабатываемый предмет (например, шкуру животного). Когда по зажатому в передних зубах (резцах) материалу проводит инструментом правша (например, во время чистки кожи животного), каждый раз, случайно задев зуб, острый край орудия оставляет на эмали царапину с правым

наклоном. Левши оставляют на зубной эмали царапины, наклоненные влево. Изучая наклон царапин на ископаемом зубе, можно судить, кому он принадлежал — правше или левше.

Наш анализ зубов крапинских неандертальцев выявил девять правшей и двух левшей. Если увеличить размер статистической выборки, включив в нее неандертальцев из других европейских поселений, соотношение правшей и левшей составит 9:1, то есть будет таким же, как и у ныне живущих людей. Любопытно, что столь ярко выраженное доминирование праворукости характерно не только для неандертальцев, но и для их более древних европейских предшественников и даже для еще более ранних представителей нашего рода (*Homo*), обитавших в Африке. Очевидно, межполушарная асимметрия мозга, следовательно и существование языка и речи, — древние особенности людей.

Неандертальцы походили на современных людей не только поведением. Как показывают углубленные исследования, проведенные в Крапине и других местах, современным людям присущи многие морфологические характеристики, которые прежде считались уникальными признаками неандертальцев, а некоторые характеристики современных людей свойственны неандертальцам. Один из таких признаков — форма так называемых нижнечелюстных отверстий, то есть двух отверстий ветвей нижней челюсти. Через эти отверстия проходят нижнечелюстные нервы (ветви тройничного нерва), иннервирующие зубы, десны и подбородок. У современных людей верхняя часть нижнечелюстного отверстия обычно имеет V-образную форму. У большинства неандертальцев оно сверху прикрыто костной пластинкой и имеет горизонтально-овальную форму. Но в Крапине нижнечелюстные отверстия такой формы обнаружены лишь в четырех из девяти найденных нижних челюстей, в остальных пяти случаях они имели «современную» V-образную форму.

Большое сходство с признаками ранних современных людей обнаруживают и многие другие черепные и скелетные характеристики крапинских неандертальцев. Без сомнения, неандертальцы обладали своеобразной анатомией, но многие из признаков их морфологических черт позднее были обнаружены и у пришедших им на смену современных людей. И вряд ли эти «неандерталоподобные» признаки эволюционировали у современных людей независимым образом. Скорее всего, морфология неандертальцев отличалась высокой вариабельностью; вполне возможно, что позднее они начали скрещиваться с древними предками современных европейцев. В результате в популяции современных людей начали распространяться «уникальные» признаки неандертальцев. Учитывая очевидное когнитивное сходство между

неандертальцами и ранними современными людьми, не стоит, быть может, удивляться тому, что эти две группы древних людей воспринимали друг друга как себе подобных и при столкновениях обменивались генами.

Несмотря на то что раскопки в Крапине завершились более века назад, найденные здесь камни и кости продолжают снабжать ученых новой ценной информацией о неандертальцах и их месте в человеческой эволюции. Несомненно, крапинская коллекция окаменелостей хранит еще множество тайн. Мы пытаемся раскрыть некоторые из них. Так, коллеги из Англии и Италии помогают нам получать высококачественные синхротронные изображения молочных зубов малышей крапинских неандертальцев для оценки темпов их роста по скорости формирования зубной эмали. Современные люди резко отличаются от всех прочих ныне существующих приматов по продолжительности периода детского роста, что обеспечивает достаточное время для развития крупного и мощного головного мозга. Ученые и по сей день не перестают спорить о сходстве и различиях детского развития неандертальцев и современных людей. Как показывают результаты нашего исследования, у малышей-неандертальцев зубная эмаль формировалась немного быстрее, чем у современных младенцев, что указывает и на более высокие средние темпы их роста в целом. И тем не менее темпы роста и развития детей обоих видов людей вполне сравнимы.

Ископаемые находки, обнаруженные учеными в самых разных местах Европы, все явственнее свидетельствуют о необходимости пересмотра сложившихся представлений о неандертальцах — этих традиционно недооцениваемых членах человеческой семьи. Настоятельно требуют этого и результаты проведенного нами исследования крапинских неандертальцев. Мы уверены, что будущие открытия, связанные с жизнью этих древних людей, еще сильнее сократят список анатомических и поведенческих признаков, которые якобы разделяют непреодолимой пропастью неандертальцев и представителей нашего собственного рода. Безусловно, неандертальцы были не такими, как мы. Но у нас с ними гораздо больше общего, чем даже «снилось нашим мудрецам». ■

**Перевод: А.В. Щеглов**

**Эта статья посвящена памяти Якова Радовича (Jakov Radovčić), который в течение 32 лет был куратором коллекции останков крапинских неандертальцев.**

#### **ИЗ НАШИХ АРХИВОВ**

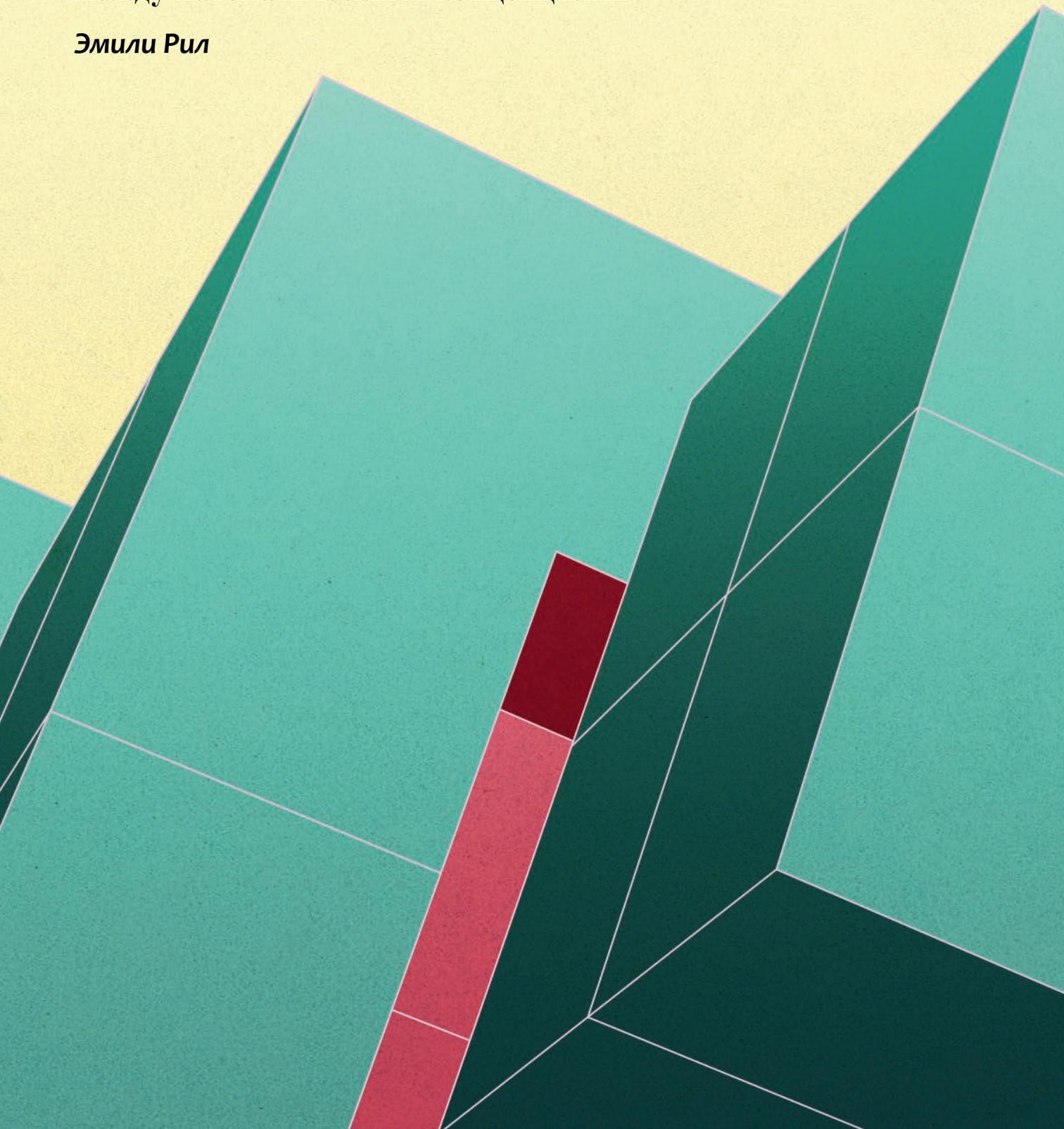
■ Вонг К. Разум неандертальца // ВМН, № 4, 2015.

МАТЕМАТИКА

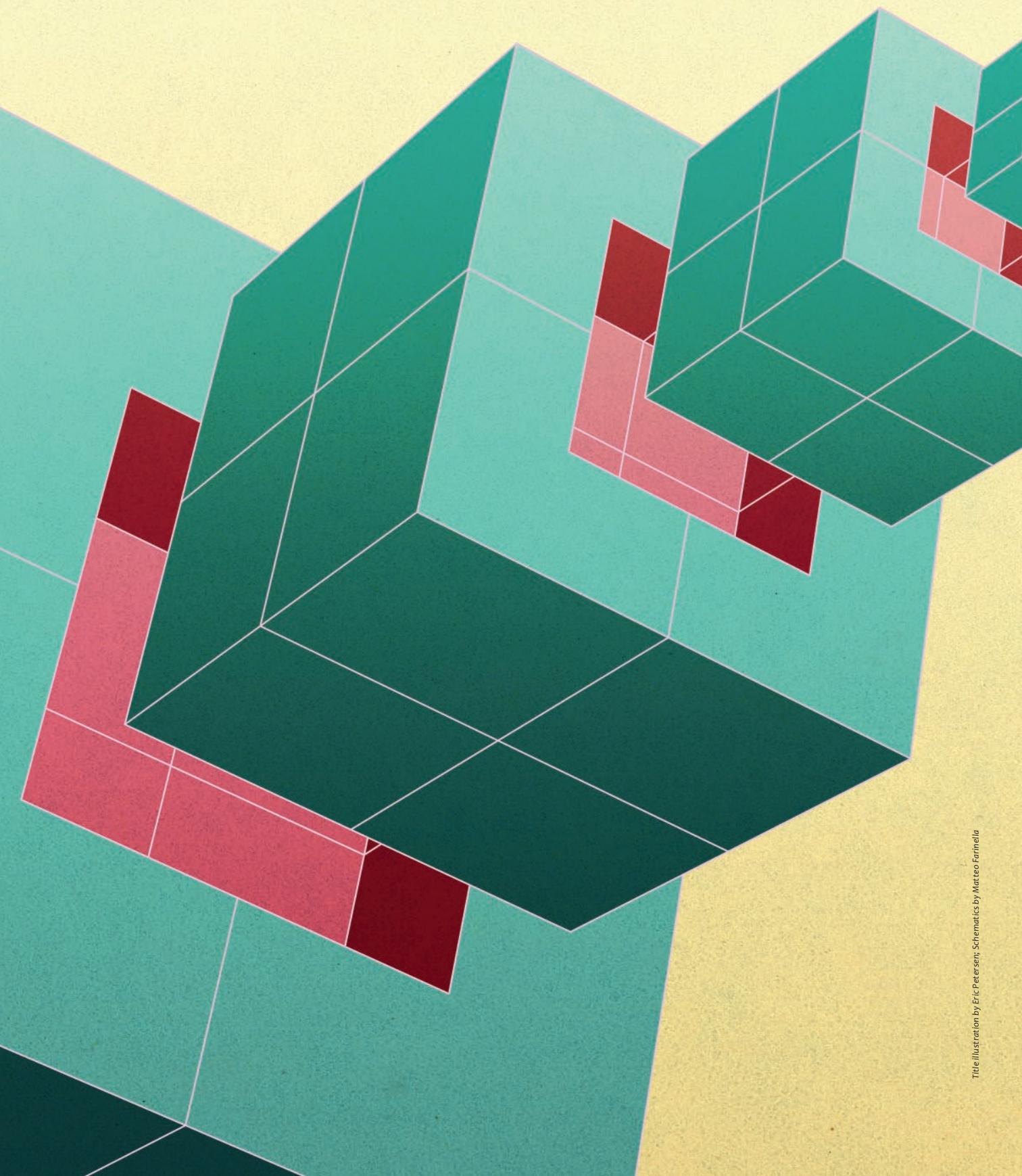
# Бесконечная М

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

Эмили Рил

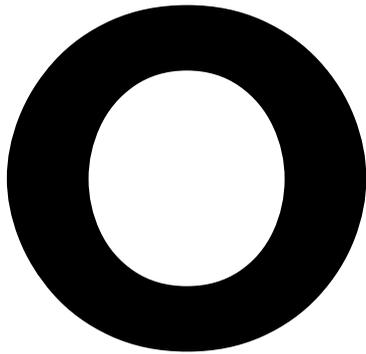


# математика



**ОБ АВТОРЕ**

**Эмили Рил** (Emily Riehl) — математик из Университета Джонса Хопкинса, где она занимается теорией категорий и основами бесконечных категорий. Ее книга «Элементы теории  $\infty$ -категорий» (*Elements of  $\infty$ -Category Theory*), написанная в соавторстве с Домиником Верити (Dominic Verity), будет опубликована в 2022 г.



Одним погожим осенним днем в Новой Англии я, тогда студентка первого курса колледжа, шла мимо входа в метро, как вдруг мое внимание привлекла математическая задача. Какой-то человек рисовал прямо на стене задачи-головоломки. Согласно одной из них, при помощи линейки и циркуля нужно было построить куб, объем которого был бы вдвое больше, чем у заданного куба.

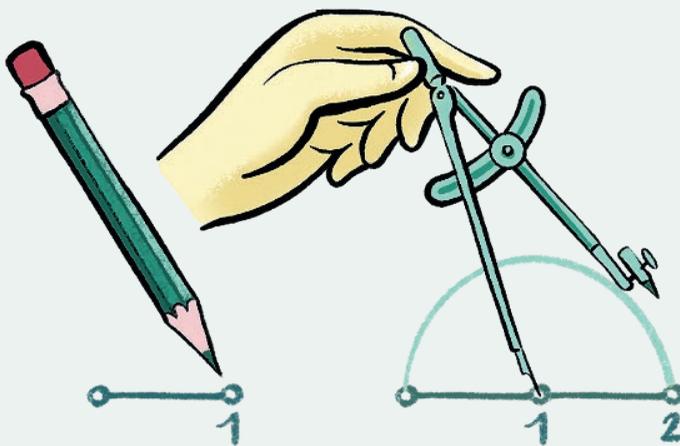
Эта картина заставила меня остановиться. Я видела эту задачу раньше. Фактически ей более двух тысячелетий: по словам Плутарха, подобная формулировка восходит к Платону. При помощи линейки (считается, кстати, что на ней нет привычных делений) можно соединить

две точки и удлинить полученный отрезок в любом направлении. Посредством циркуля можно нарисовать круг любого радиуса с заданным центром. Ключевая особенность подобного типа головоломок состоит в том, что любые точки или линии, присутствующие на окончательном

чертеже, либо находились там изначально согласно условию задачи, либо были получены последовательно из предыдущего шага заданным построением.

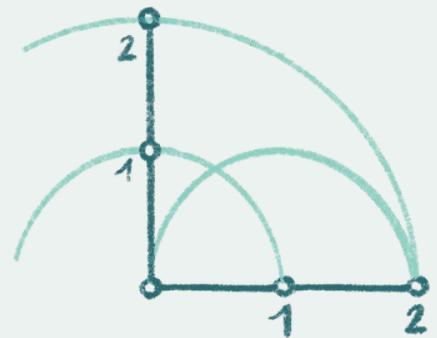
Чтобы удвоить объем куба, начнем с одного из его ребер, длину которого можно принять равной 1, так как это единственная

**ЗАДАЧА НА ПОСТРОЕНИЕ**



**Шаг 1.** С помощью циркуля и линейки отложите на прямой фиксированное расстояние (примем его за 1).

**Шаг 2.** Используя тот же радиус, отложите расстояние, равное 2.



**Шаг 3.** При помощи циркуля и линейки постройте перпендикуляр к данной прямой, проходящий через условное начало координат. Разбейте этот перпендикуляр на единичные отрезки, как указано ранее.

заданная единица измерения. Чтобы построить куб большего размера, нужно найти способ, используя в качестве инструментов только линейку и циркуль, нарисовать ребро новой требуемой длины, которая соответственно должна составлять  $\sqrt[3]{2}$  (кубический корень из двух).

Это сложная задача, и более 2 тыс. лет никому не удавалось ее решить. Наконец в 1837 г. Пьер Лоран Ванцель объяснил, почему никому так и не удалось добиться успеха, доказав, что это невозможно. В его доказательстве использовался передовой математический аппарат того времени, основы которого были заложены его французским современником Эваристом Галуа, который погиб в 20 лет на дуэли, вероятно, связанной с несчастной любовной историей. В мои 20 на моем счету было куда меньше впечатляющих математических достижений, но я по крайней мере поняла доказательство Ванцеля.

Идея заключается в следующем: рассматривая произвольную точку на плоскости как

начало координат, а длину заданного отрезка принимая равной 1, сравнительно несложно использовать линейку и циркуль для построения всех точек на числовой прямой, координаты которых представляют собой рациональные числа (игнорируя, подобно всем настоящим математикам, невозможность построить бесконечное количество точек за конечный промежуток времени).

Ванцель показал, что если использовать только эти инструменты, то каждая вновь построенная точка должна быть решением квадратного полиномиального уравнения  $ax^2 + bx + c = 0$ , коэффициенты которого  $a$ ,  $b$  и  $c$  находятся среди ранее построенных точек. Напротив, точка  $\sqrt[3]{2}$  представляет собой корень кубического многочлена  $x^3 - 2 = 0$ , и теория Галуа убедительно доказывает, что вы никогда не сможете получить решение неприводимого кубического многочлена, решая квадратные уравнения (по сути, потому что нет степени 2, которая бы делилась на 3 без остатка).

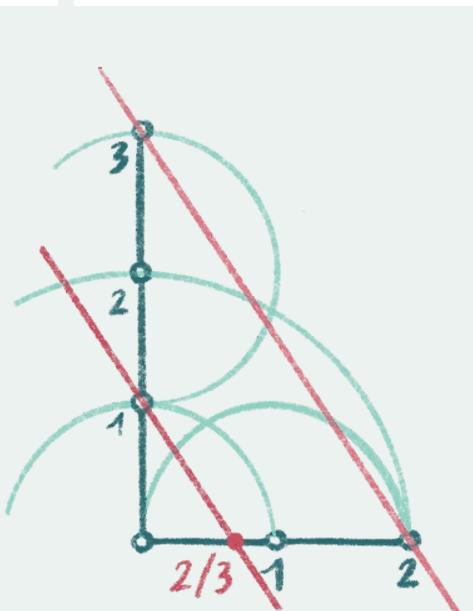
Вооруженная этим знанием, я не смогла удержаться от общения с тем человеком на улице. Как и ожидалось, моя попытка объяснить, откуда я знаю, что эта задача не имеет решения, ни к чему не привела. Вместо этого он стал утверждать, что образование сделало меня ограниченной и неспособной «мыслить нестандартно». В конце концов моей девушке удалось увести меня и мы продолжили путь.

Только один вопрос вертелся в моей голове. Каким образом мне, желторотой студентке-третьекурснице, удалось всего за несколько недель научиться достаточно свободно оперировать такими абстрактными понятиями, как поля Галуа? Этот материал пришелся на окончание курса, наполненного группами симметрии, кольцами многочленов и связанными с ними теоретическими сокровищами, которые

взорвали бы умы математических гигантов, таких как Исаак Ньютон, Готфрид Лейбниц, Леонард Эйлер и Карл Фридрих Гаусс. Как удастся математикам столь быстро обучать следующие поколения студентов, рассказывая им о теориях, которые еще вчера удивляли экспертов и были доступны единицам?

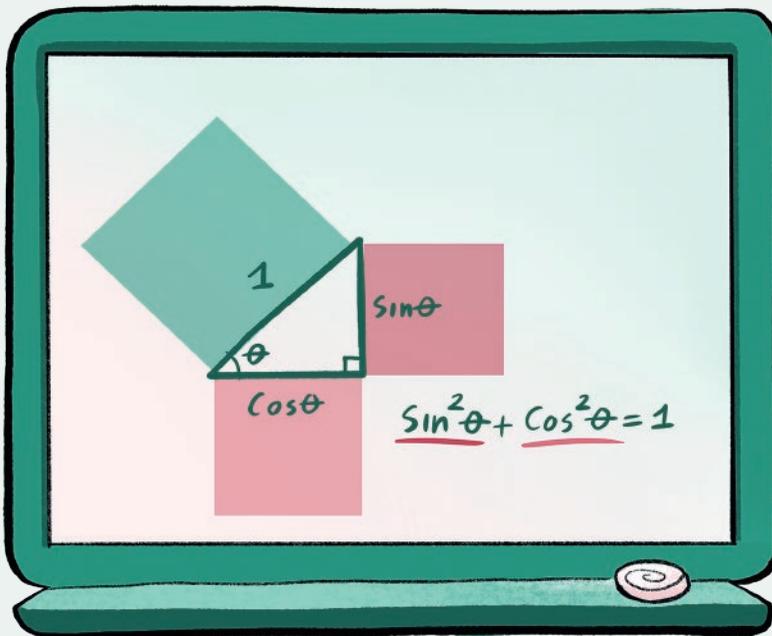
Частично ответ связан с недавними достижениями в математике, которые открывают взгляд на нее «с высоты птичьего полета», через постоянно растущие уровни абстракции. Теория категорий — это раздел математики, который объясняет, как различные математические объекты могут считаться «одинаковыми». Его фундаментальная теорема говорит нам, что любой математический объект, каким бы сложным он ни был, полностью определяется его отношениями к подобным объектам. Теория категорий нашла применение и в процессе обучения молодых математиков новейшим идеям и теориям. Вместо того чтобы углубляться в изучение отдельных законов, применимых только в конкретных областях, можно попытаться понять общие абстрактные правила, действующие во всей математической теории.

По мере развития математики расширяется представление о том, при каких условиях два объекта могут считаться «одинаковыми». В течение нескольких последних десятилетий я и многие другие исследователи работали над расширением теории категорий, проливающим свет на новое понятие «уникальности». Объектом исследований стали новые категории, называемые категориями бесконечности ( $\infty$ -категории), которые расширяют теорию категорий на бесконечные измерения. Язык  $\infty$ -категорий дает математикам мощные инструменты для изучения областей, в которых отношения между объектами слишком тонкие, чтобы их можно было определить



**Шаг 4.** С помощью линейки проведите прямую через точку 2 на горизонтальной оси и точку 3 на вертикальной оси. Постройте параллельную прямую, проходящую через точку 1 вертикальной оси и точку 2/3 горизонтальной оси.

## ТЕОРЕМА ПИФАГОРА



в терминах традиционных категорий. Перспектива «бесконечно-го уменьшения масштаба» предлагает новый способ осмысления старых концепций и путь к открытию новых.

## Категории

Как и многих моих коллег, меня эта теория привлекла отчасти из-за плохой памяти. Со школьной скамьи мы привыкли к избытию формул, необходимых для запоминания, — на ум, например, приходят тригонометрические тождества. Лично меня утешало то, что наиболее часто используемые формулы могут быть получены заново из тождества  $\sin^2\theta + \cos^2\theta = 1$ , которое имеет элегантное геометрическое объяснение: это приложение теоремы Пифагора к прямоугольному треугольнику с гипотенузой, равной 1, и острым углом  $\theta$  градусов.

Подобное утопическое видение математики, при котором все просто «имеет смысл» и ничего не нужно запоминать, в определенной степени сходит на нет в университете. На этом этапе студенты знакомятся

с «зоопарком» математических объектов, возникших в течение последних нескольких столетий. Группы, кольца и поля относятся к области математики, известной как алгебра. (Это слово взято из книги IX в. персидского математика и астронома Аль-Хорезми, название которой переводится как «Книга о восполнении и противопоставлении».) В течение следующего тысячелетия алгебра эволюционировала от изучения природы решений алгебраических уравнений к изучению абстрактных систем. Например, поскольку никакое действительное число  $x$  не удовлетворяет уравнению  $x^2 + 1 = 0$ , математикам пришлось расширить это множество, добавив мнимое число  $i$ , удовлетворяющее соотношению  $i^2 + 1 = 0$ . Так родились комплексные числа.

Алгебра — лишь один из предметов в программе бакалавриата по специальности «математика». Другие краеугольные камни — это топология (абстрактное исследование пространств) и математический анализ, который начинается с вещественного

исчисления и переходит к более экзотическим областям вероятностных пространств и случайных величин, а также комплексных многообразий и голоморфных функций. Как студенту усвоить все это?

Парадоксальная идея математики заключается в упрощении посредством абстракции. Как пишет Юджиния Чэнь (Eugenia Chen) из Чикагского института искусств в своей книге «Искусство логики в нелогичном мире» (*The Art of Logic in an Illogical World*), «важное свойство абстракции — то, что многие различные ситуации становятся одинаковыми, когда вы опускаете некоторые детали». Современная алгебра была создана в начале XX в., когда математики решили объединить исследования различных структур, возникавших при анализе решений алгебраических уравнений или конфигураций фигур на плоскости. Чтобы связать исследования этих структур, математики ввели основные абстрактные понятия и аксиомы, описывающие их общие свойства. Группы, кольца и поля были введены в математическую вселенную вместе с идеей о том, что математический объект может быть описан в терминах свойств, которыми он обладает, и исследован абстрактно, независимо от конкретных примеров или конструкций.

Джон Хортон Конвей (John Horton Conway), как известно, размышлял над любопытной онтологией любых математических объектов: «Нет сомнений в том, что они действительно существуют, но взять и ткнуть в них пальцем можно лишь мысленно. Это удивительно, и я до сих пор этого не понимаю, несмотря на то что всю свою жизнь был математиком. Как что-то может быть где-то, не будучи на самом деле?»

Но этот мир математических объектов, которые могут существовать, «фактически не суще-

ствуя», создал проблему: он слишком велик для понимания любого человека. Даже в алгебре существует достаточное количество понятий и теорий, обязательных для изучения и требующих немало времени для осмысления. Примерно на рубеже XX в. математики начали исследовать так называемую универсальную алгебру — раздел математики, изучающий общие свойства алгебраических систем, элементами которого могли бы быть совершенно различные объекты (например, числа) и операции над ними (например, сложение и умножение), удовлетворяющие списку соответствующих аксиом, таких как ассоциативность, коммутативность и дистрибутивность. Можно наложить дополнительные ограничения и сделать выбор: частично или полностью определена та или иная операция? Обратима ли она? Сужая таким образом выбранную нами систему, мы приходим к стандартным алгебраическим структурам: группам, кольцам и полям. Но можно и не ограничивать себя этим выбором, который неизбежно приводит нас к исчезающе малой части бесконечного многообразия возможностей.

Распространение новых абстрактных математических объектов вносит свою сложность.

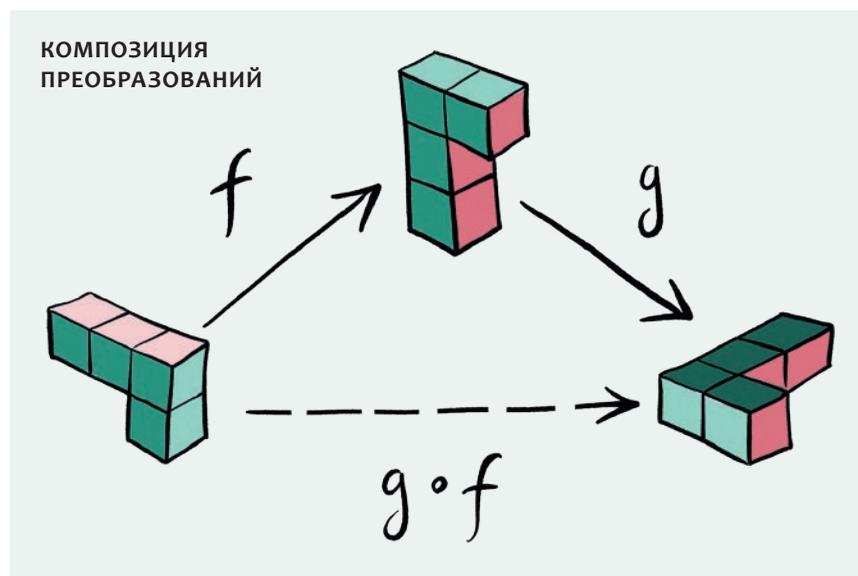
## Распространение новых абстрактных математических объектов вносит свою сложность. Один из способов все упростить — выйти на новый уровень абстракции, где мы сможем доказывать теоремы, касающиеся большого количества математических объектов одновременно, не уточняя, о каких именно объектах идет речь

Один из способов все упростить — выйти на новый уровень абстракции, где (что удивительно) мы сможем доказывать теоремы, касающиеся большого количества математических объектов одновременно, не уточняя, о каких именно объектах идет речь.

Теория категорий, созданная в 1940-х гг. Сэмюэлом Эйленбергом (Samuel Eilenberg) и Сондерсом Маклейном (Saunders Mac Lane), и есть этот новый уровень абстракции. Изначально эта теория была введена лишь для того, чтобы дать строгое определение разговорного термина «естественная эквивалентность». Однако фактически теория категорий предложила новый способ универсального мышления,

применимый и в универсальной алгебре, и в других областях математики. С помощью языка Эйленберга и Маклейна мы теперь способны осознать, что каждое множество математических объектов может быть отнесено к своей собственной категории, которая есть не что иное, как совокупность объектов и допустимых преобразований, схематически изображаемых в виде стрелок между объектами. Например, в линейной алгебре изучаются абстрактные векторные пространства, такие как трехмерное евклидово пространство. Соответствующие преобразования в этом случае суть линейные преобразования, для каждого из которых необходимо определить исходное и результирующее векторные пространства, то есть указать типы векторов, возникающие в качестве «входных» и «выходных».

Подобно функциям, преобразования (или морфизмы) в данной категории обладают определенными свойствами. Они могут быть «составными», то есть допустимо применять один морфизм к результатам другого. Для любой пары преобразований  $f: A \rightarrow B$  (читается как « $f$  — преобразование из  $A$  в  $B$ ») и  $g: B \rightarrow C$  категория определяет уникальное составное преобразование обозначаемое как  $g \circ f: A \rightarrow C$  (читается как «композиция  $g$  и  $f$  — преобразование из  $A$  в  $C$ »). Закон композиции морфизмов

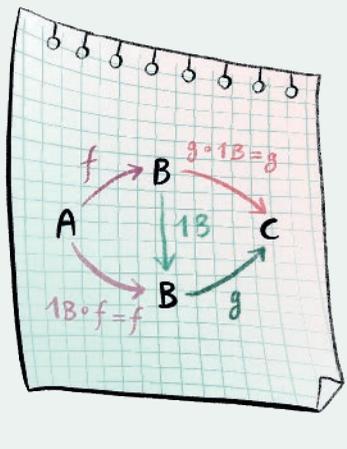
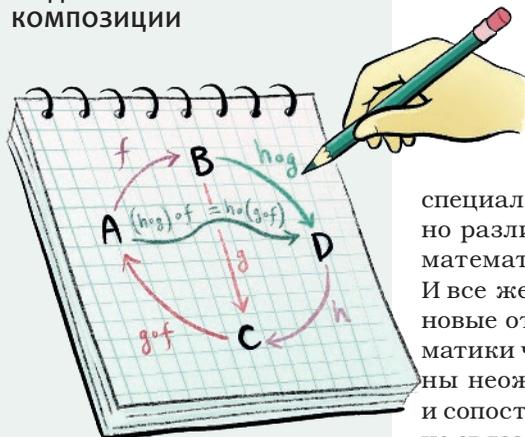


ассоциативен, что означает:  $h \circ (g \circ f) = (h \circ g) \circ f$ . Наконец, определен тождественный морфизм: каждый объект  $B$  имеет «преобразование идентичности», обычно обозначаемое  $1_B$  и обладающее свойством  $g \circ 1_B = g$  и  $1_B \circ f = f$  для любых преобразований  $g$  и  $f$ , исходный и результирующий объект которых, соответственно, равен  $B$ .

Каким образом категории способны помочь незадачливому студенту, столкнувшемуся с непомерно большим количеством математических объектов и не имеющему достаточно времени, чтобы изучить их все? Любой класс структур, определяемых в универсальной алгебре, может сильно отличаться от других, но категории, включающие в себя эти объекты, очень похожи с точки зрения свойств и единого «категориального» языка.

Обладающие достаточным опытом математики знают, чего ожидать при встрече с новыми типами алгебраических структур. Эта идея отражена в современных учебниках, где теориям групп, колец и векторных пространств отведены соответствующие последовательные главы, главным образом потому, что эти теории параллельны. Легко представить себе и другие, более свободные аналогии между

### АССОЦИАТИВНОСТЬ И ЕДИНСТВЕННОСТЬ КОМПОЗИЦИИ



теорией категорий и математическими структурами, с которыми студенты сталкиваются

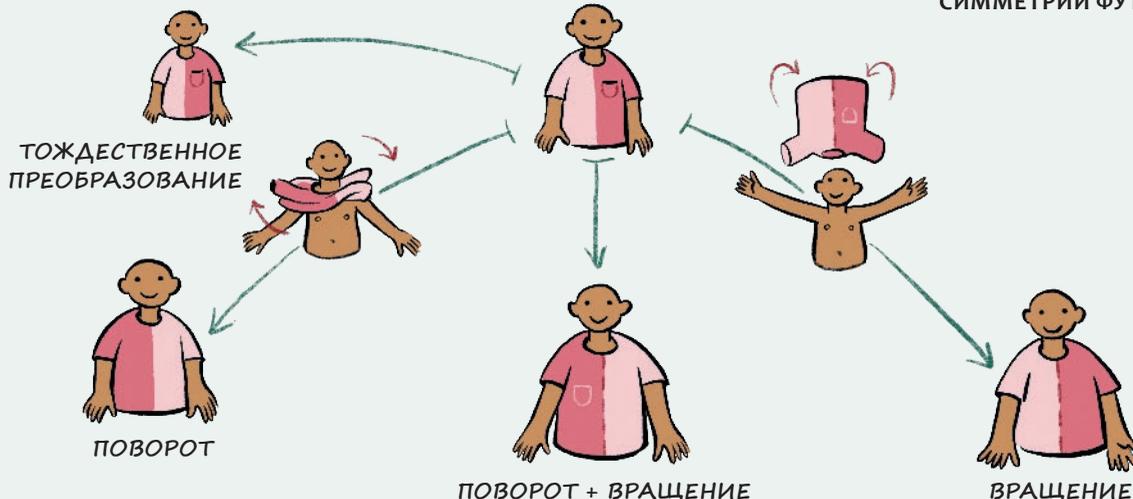
на курсах топологии или анализа. Благодаря этим сходствам новый материал усваивается быстрее. Подобные шаблоны позволяют тратить больше времени на изучение

специальных тем, принципиально различающихся в отдельных математических дисциплинах. И все же не стоит забывать, что новые открытия в области математики часто бывают вдохновлены неожиданными аналогиями и сопоставлениями между ранее не связанными областями.

### Симметрии

Последовательные уровни абстракции от конкретных математических структур до аксиоматических систем и далее до категориальных объектов порождают новую проблему. Что означает фраза «Этот объект такой же, как и тот»? В качестве примера рассмотрим группу, представляющую собой абстрактную совокупность преобразований — симметрий, элементы которой Эми Уилкинсон (Amie Wilkinson) из Чикагского университета любит описывать как «движения», переворачивающие или вращающие объект перед установкой его в нечто вроде «исходной позиции».

### СИММЕТРИИ ФУТБОЛКИ



Можно, например, изучить группу симметрий футболки. Одно преобразование можно рассматривать как тождественное: человек просто носит футболку как обычно. Другая симметрия соответствует преобразованию, при котором владелец вынимает руки из рукавов и, все еще удерживая футболку на шее, поворачивает ее на 180°, меняя тем самым рукава местами. Футболка теперь надета задом наперед. Следующая симметрия соответствует движению, при котором футболку полностью снимают, выворачивают наизнанку и снова надевают таким образом, чтобы руки попали в те же рукава. Итоговая симметрия объединяет последние два преобразования (что нетипично для групп: движения могут выполняться в любом порядке без изменения конечного результата). Каждое из этих четырех преобразований считается «симметричным», потому что они приводят к тому, что футболку носят, по существу, так же, как и в начале.

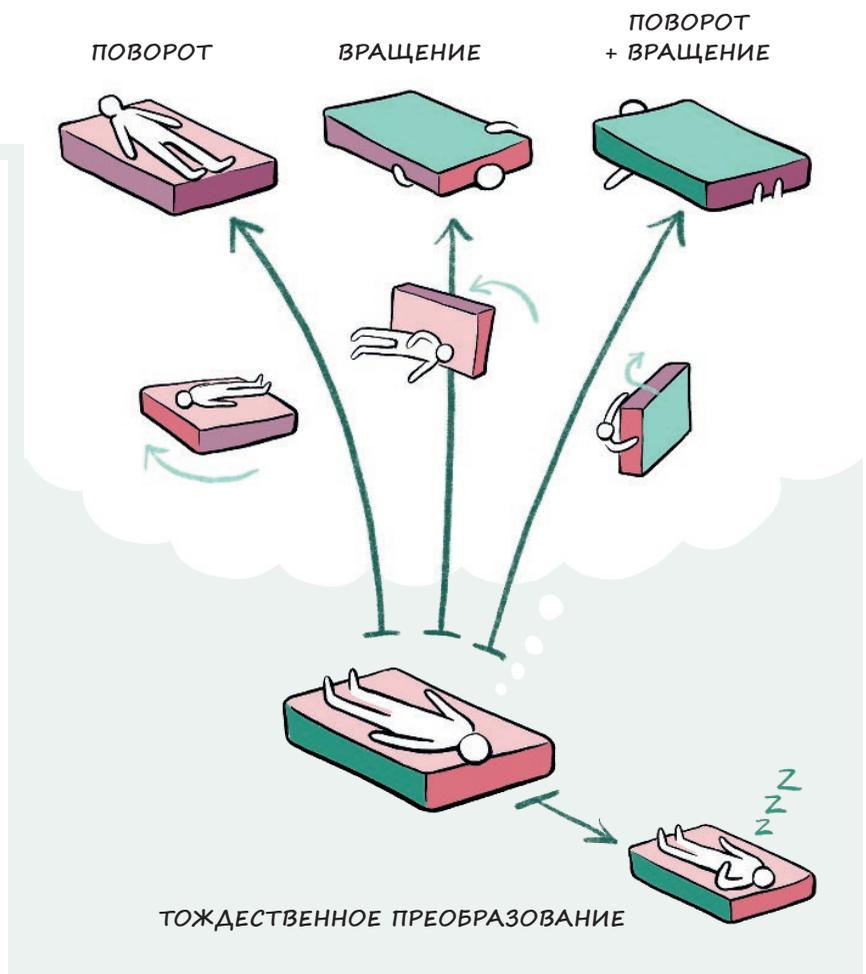
Другая группа симметрий — это группа переворачивания матраса. В дополнение к тождественному преобразованию (при котором матрас остается в исходном положении) можно рассмотреть возможные вращения матраса вокруг различных осей или их комбинации. (Матрасы редко бывают квадратными, но если бы это было так, то различных симметричных преобразований было бы больше, чем описано здесь.) Несмотря на то что футболка не имеет ничего общего с матрасом, в некотором смысле эти две группы очень схожи. Прежде всего, они имеют одинаковое количество возможных преобразований (в данном случае четыре). Но, что особенно важно, легко можно построить пары преобразований из группы надевания футболки и группы переворачивания матраса так, чтобы композиции соответствующих преобразований также соответствовали бы друг

другу. Другими словами, можно сопоставить преобразования из этих двух групп (тождественность с тождественностью, поворот с поворотом, вращение с вращением и т.д.). Кроме того, если рассмотреть композицию двух последовательных преобразований в одной группе, она будет соответствовать композиции последовательных преобразований другой группы. Математики говорят, что эти группы связаны «изоморфизмом» (от греч. *isos* — «равный, подобный» и *morphe* — «форма»).

Понятие изоморфизма можно определить для любой категории, что позволит нам распространить его на различные математические контексты. Изоморфизм между двумя объектами

$A$  и  $B$  в категории определяется парой преобразований,  $f: A \rightarrow B$  и  $g: B \rightarrow A$ , с условием, что композиции  $g \circ f$  и  $f \circ g$  равны соответствующим тождественным преобразованиям  $1_A$  и  $1_B$ . В категориях топологических пространств понятие изоморфизма представлено парой непрерывных взаимобратных функций. Например, существует непрерывное преобразование (деформация), которое позволит вам придать бублику форму кофейной чашки: дырка от бублика при этом превратится в дырку от ручки, и наоборот. (Чтобы деформация была действительно непрерывной, не следует разрывать тесто, из которого вы делаете бублик, и тем более не стоит выпекать его до начала эксперимента.)

### СИММЕТРИИ МАТРАСА



Так родился анекдот о том, что тополог не может отличить чашку от бублика: как абстрактные пространства эти объекты совершенно одинаковы. Но на деле выясняется, что топологи еще менее разборчивы и наблюдательны. Они привыкли называть объекты «одинаковыми» и в том случае, если они «гомотопически эквивалентны». Это тоже своего рода изоморфизм, но в более экзотической категории пространств. Гомотопическая эквивалентность — еще один тип непрерывной деформации. Например, представьте, что вы начинаете сокращать длину ваших брюк до тех пор, пока они не превратятся в стринги. И «брюки», и «стринги» — это пространства разной размерности, но с одинаковой фундаментальной топологической структурой: два отверстия для ног сохраняются несмотря ни на что.

Другая гомотопическая эквивалентность сжимает трехмерное евклидово пространство в одну точку посредством преобразования, которое иногда называют «Большим взрывом наоборот». При этом каждая точка непрерывно движется к «центру взрыва» со скоростью, пропорциональной расстоянию до этого начала координат.

Интуитивное представление о том, что изоморфные объекты оказываются полностью взаимозаменяемыми в рамках данной конструкции или теории, чрезвычайно привлекательно. В качестве примера можно рассмотреть операцию, известную как несвязное объединение двух множеств  $A$  и  $B$ . Подобно обычному объединению, несвязное (дизъюнктивное) объединение  $A \cup B$  содержит в себе копию каждого элемента  $A$  и копию каждого элемента  $B$ . Однако если у  $A$  и  $B$  есть общий элемент, то несвязное объединение  $A \cup B$  включает сразу две копии этого элемента, одна из которых «помечена» как принадлежащая множеству  $A$ , а другая — множеству  $B$ . Используя аксиомы теории множеств, можно по-разному строить дизъюнктивное объединение. В результате будут получаться хотя и различные, но изоморфные друг другу множества. Вместо того чтобы тратить время на споры о том, какая конструкция — наиболее каноническая, удобнее просто закрыть глаза на эту двусмысленность и «с точностью до изоморфизма» ссылаться на универсальные свойства операции дизъюнктивного объединения

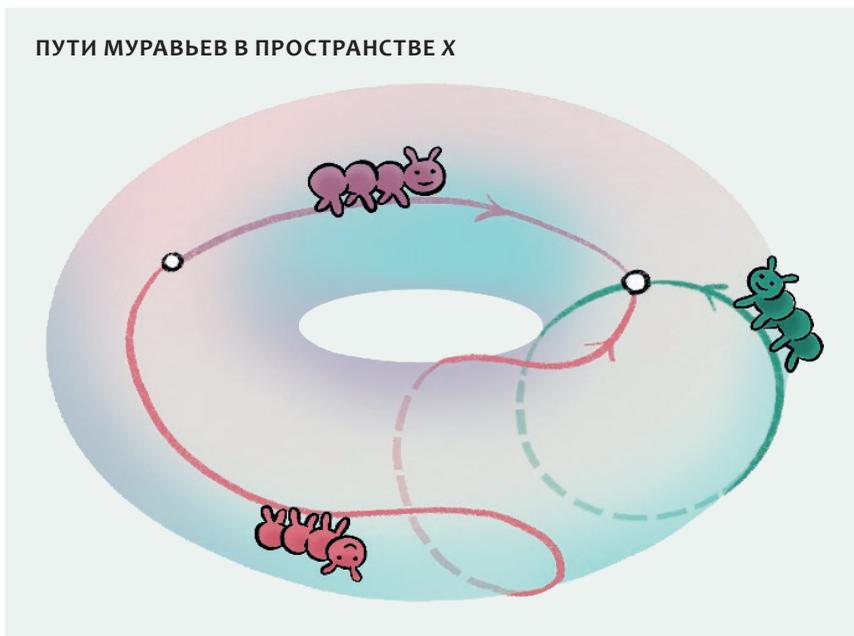
для каждого конкретного множества. Точно так же и вышеописанные группы надевания футболки и переворачивания матраса, по сути, представляют собой одну и ту же группу, которую математики называют «четверная группа Клейна».

### Бесконечные категории

История о происхождении фундаментальной теоремы теории категорий пользуется большой популярностью. В 1954 г. на Северном вокзале Парижа, сперва в привокзальном кафе, а после в вагоне поезда перед самым его отправлением, молодой математик по имени Нобуо Йонеда (Nobuo Yoneda) изложил Сондерсу Маклейну свою «лемму». Ее следствием становится тот факт, что любой объект в любой категории полностью определяется его отношением к другим объектам в данной категории, то есть множеством преобразований, имеющих данный объект в качестве исходного или результирующего. Таким образом, мы можем охарактеризовать топологическое пространство  $X$ , исследуя его с помощью непрерывных отображений  $f: T \rightarrow X$ , прообразом которых выступает другое пространство  $T$ . Под  $T$  можно подразумевать, например, пространство, состоящее из одной точки, и тогда элементы  $X$  будут соответствовать некоторым непрерывным функциям  $x: * \rightarrow X$  с областью определения, состоящей из этой самой точки. Можно ответить и на вопрос, связано ли пространство  $X$  или нет, рассмотрев для этого отображения  $p: I \rightarrow X$ , область определения которых — интервал  $I = [0, 1]$ . Каждое такое отображение определяет параметризованный «путь» или «траекторию движения» в пространстве  $X$  от точки  $p(0)$  до точки  $p(1)$ .

Точки и подобные «пути» можно использовать для переформулирования топологических задач в алгебраические: каждое топологическое пространство  $X$  имеет связанную категорию  $\pi_1 X$ ,

ПУТИ МУРАВЬЕВ В ПРОСТРАНСТВЕ X

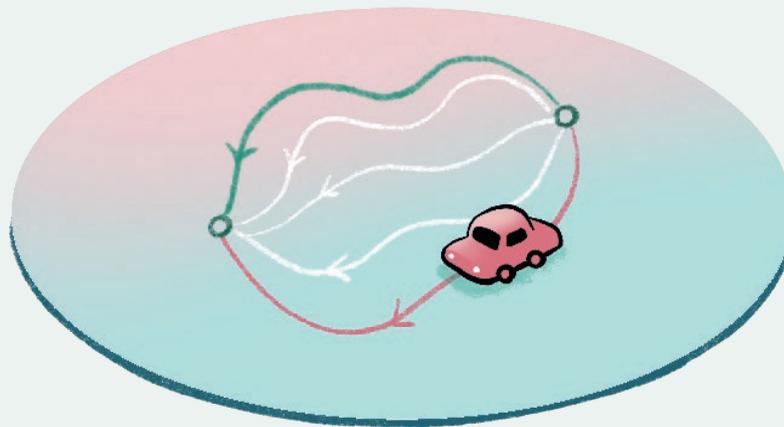


называемую «фундаментальным группоидом»  $X$ . Элементы этой категории — точки пространства, а преобразования — это и есть пути. Если в данном пространстве один путь может быть преобразован в другой, в то время как его начальная и конечная точки совпадают, эти два пути определяют одно и то же преобразование. Такие деформации — гомотопии — необходимы для описания композиции нескольких путей и определения ассоциативной операции, как того требует категория.

Ключевое преимущество фундаментальной конструкции группоидов — то, что она «функториальна». Это означает, что непрерывная функция  $f: X \rightarrow Y$ , действующая из одного топологического пространства в другое, порождает соответствующее преобразование  $\pi_1 f: \pi_1 X \rightarrow \pi_1 Y$ , действующее между фундаментальными группоидами. Для этого отображения определены композиции и тождественное преобразование, то есть  $\pi_1(g \circ f) = \pi_1 g \circ \pi_1 f$  и  $\pi_1(1_X) = 1_{\pi_1 X}$  соответственно. Эти два свойства, которые в совокупности называются «функториальностью», предполагают, что фундаментальная группа «наследует» некоторую важную информацию об исходных топологических пространствах. В частности, если два пространства не гомотопически эквивалентны, их фундаментальные группоиды также неэквивалентны.

Однако фундаментальный группоид — не полный инвариант. С его помощью можно, например, легко отличить окружность (или кольцо) от круга (или диска). В фундаментальном группоиде окружности различные варианты путей, соединяющих две точки, можно охарактеризовать целыми числами — они показывают, сколько полных оборотов вокруг центра совершит траектория (при этом знак «+» или «-» указывает направление по часовой стрелке или против нее).

### ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЙ ГРУППОИД КРУГА



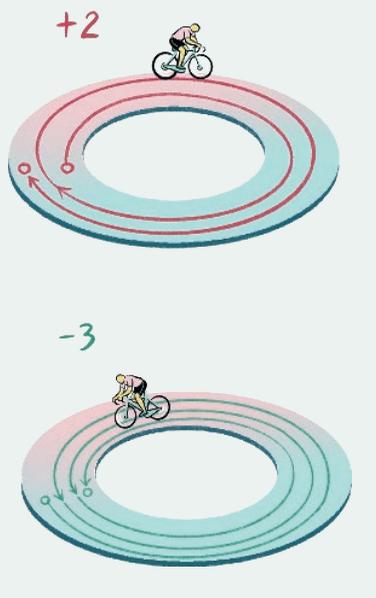
В фундаментальном группоиде круга, наоборот, существует только один путь между любыми двумя точками, с точностью до гомотопии. И, например, фундаментальный группоид трехмерной сферы описывается аналогично: между любыми двумя точками также существует только один путь, с точностью до гомотопии.

С понятием фундаментального группоида связана и серьезная проблема. Дело в том, что

отдельные точки и соединяющие их пути не обнаруживают многомерную структуру пространства, поскольку точка и кривая траектории сами имеют размерность 0 или 1 соответственно. Решение состоит в том, чтобы ввести дополнительные непрерывные функции, называемые «гомотопиями» (если они определены на плоском круге) или «высшими гомотопиями» (в случае трехмерного или — в общем случае —  $n$ -мерного шара).

Естественно задаться вопросом, какую алгебраическую структуру образуют точки, пути, гомотопии и высшие гомотопии пространства  $X$ . Эта структура —  $\pi_\infty X$ , называемая фундаментальным  $\infty$ -группоидом  $X$ , определяет пример  $\infty$ -категории, — бесконечномерного аналога категорий, впервые введенных Эйленбергом и Маклейном. Как и обычная категория,  $\infty$ -категория содержит объекты и преобразования. Но она содержит также и «высшие преобразования» (изображаемые на рисунках двумерными, трехмерными и т.д. стрелками). Например, в  $\pi_\infty X$  объекты и преобразования — это по-прежнему точки и пути, однако последние уже не считаются одинаковыми с точностью до гомотопии, преобразования более высоких измерений определяют более «высокие»

### ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЙ ГРУППОИД ОКРУЖНОСТИ



гомотопии. Как и в обычной категории, в любом фиксированном измерении определена композиция двух преобразований: если существуют два отображения  $f: X \rightarrow Y$  и  $g: Y \rightarrow Z$ , должно существовать также и отображение  $g \circ f: X \rightarrow Z$ . Но тут возникает одна загвоздка: для согласования теории с естественными примерами (например, при попытке описать фундаментальный  $\infty$ -группоид пространства) закон композиции должен быть ослаблен. Для любой пары отображений по-прежнему должна быть определена их композиция, но она больше не единственная.

Это нарушение единственности затрудняет определение  $\infty$ -категорий в рамках классических математических законов теории множеств. Определение композиции двух отображений в теории  $\infty$ -категорий отличается от аналогичного определения в универсальной алгебре. Несмотря на то что  $\infty$ -категории играют все более значимую роль в современных теоретических и прикладных исследованиях от квантовой теории поля до алгебраической геометрии

и топологии, они все еще считаются «слишком сложными», проходят по разряду «только для специалистов» и далеко не всегда включаются в учебные программы даже на старших курсах. Тем не менее я, как и многие мои коллеги, рассматриваю  $\infty$ -категории как революционно новое направление, позволяющее мечтать о выдающихся математических открытиях, невозможных в рамках прежних теорий.

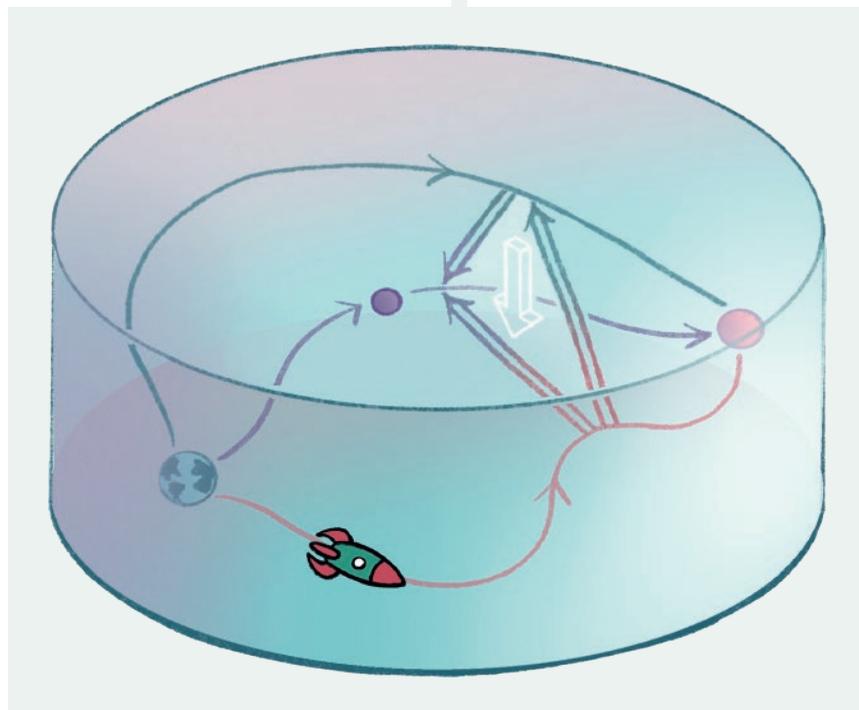
### Горизонты будущего

История учит нас тому, что даже самая экзотическая математическая теория прошлого сегодня может считаться достаточно простой даже для студентов первых лет обучения. Как исследователю теории  $\infty$ -категорий, мне интересно думать о ее упрощении. Ключевая аксиома обычной теории категорий — существование единственного преобразования  $g \circ f: X \rightarrow Z$ , определенной для каждой пары отображений  $f: X \rightarrow Y$  и  $g: Y \rightarrow Z$ . Напротив, в  $\infty$ -категории существует множество отображений из  $X$  в  $Z$ , которые в фундаментальном  $\infty$ -группоиде можно

понимать как своего рода «пространство путей». Правильным аналогом единственности композиции отображений в рамках обычной теории категорий будет утверждение, что в  $\infty$ -категории «пространство композиций сжимаемо», то есть каждая из его точек стремится к некоторой исходной (подобно теории «Большого взрыва наоборот»).

Обратите внимание, что «сжимаемость» не означает существование единственной композиции: действительно, как можно убедиться на примере фундаментального  $\infty$ -группоида, может существовать большое количество разных составных путей. Однако «сжимаемость» гарантирует, что любые два составных пути гомотопны, любые две гомотопии, связывающие эти составные пути, связаны более высокой гомотопией и т.д.

Условие сжимаемости как альтернатива единственности становится центральным в новой системе, предложенной математиком Владимиром Воеводским и его коллегами. Исследователи из многих стран мира совместно разрабатывают новые компьютерные программы — «помощников в доказательствах», которые могут построчно проверять



**Как удастся так быстро обучать следующие поколения студентов, рассказывая им о теориях, которые еще вчера удивляли экспертов и были доступны единицам?**

## Если математика — наука аналогий и изучение закономерностей, то теория категорий — это изучение закономерностей математического мышления

формальное математическое доказательство. Эти «помощники» обладают механизмом, имитирующим обычную математическую практику последовательного вывода следующего утверждения из предыдущего. Подобная цепочка понимается с точки зрения изоморфизма или гомотопической эквивалентности. В таком случае механизм позволяет пользователю последовательно распространять доказательство от одной точки до другой по соединяющему их пути, строго соблюдая понятия тождественности.

В своем эссе 1974 г. математик Майкл Фрэнсис Атья (Michael Francis Atiyah) писал: «На самом деле, цель любой теории — в значительной степени систематическая организация прошлого опыта таким образом, чтобы следующие поколения, наши ученики, ученики учеников и т.д. смогли усвоить наиболее существенные аспекты теории настолько легко и безболезненно, насколько это возможно. И это единственный способ, с помощью которого вы можете продолжать развивать и наращивать любую научную деятельность, не заходя в конечном итоге в тупик». Теория категорий, вероятно, играет эту роль в современной математике: если математика — наука аналогий и изучение закономерностей, то теория категорий — это изучение закономерностей математического мышления, изучение «математики математики», как формулирует Юджиния Чэнь.

Причина, по которой студенты начальных курсов оказываются способными усвоить такое

большое количество различных тем, кроется в том, что наше понимание математических концепций было упрощено за счет введения все новых абстракций. Этот процесс можно рассматривать как отступление от конкретной задачи и попытку посмотреть на нее более широко. При таком подходе многие мелкие детали исчезают — например, численные приближения или вообще что-либо, имеющее отношение к конкретным вычислениям. Однако весьма примечательно наблюдать, как различные теоремы из алгебры, теории множеств, топологии, алгебраической геометрии вдруг оказываются весьма схожими и одинаковым образом описываются на языке теории категорий.

Что же ждет нас в будущем? В некоторых областях математики постепенно формируется общее мнение, что «естественная среда обитания» математических объектов XXI в. — это  $\infty$ -категории, по аналогии с ролью классической теории категорий в XX в. Надеемся, что со временем наше сознание смирится с головокружительным многообразием преобразований в  $\infty$ -категориях и оно спокойно займет свое место в коллективном математическом бессознательном, позволяя отнестись к этим категориям как к новому и чрезвычайно полезному универсальному инструменту. И останется только задаться вопросом: если XX в. принес нам такой ошеломительный прогресс, где окажется математика в конце XXI в.?

Перевод: Д.С. Хованский

### Краткий справочник современной математической терминологии

**Категория** — определенный набор объектов и преобразований между ними с правилом композиции.

**Композиция** — применение одного преобразования к результатам другого.

**Тождественное преобразование** — преобразование объекта, которое никак его не изменяет.

**Симметрия** — обратимое преобразование объекта самого в себя.

**Изоморфизм** — структурное понятие «сходства», которое может существовать между парой объектов в категории.

**Фундаментальный группоид** — категория, объекты которой — точки в пространстве, а преобразования — пути между ними, с точностью до гомотопии.

**Гомотопия** — «путь между путями», непрерывная деформация от одного пути к другому.

**Категория бесконечности** — бесконечномерный аналог категории, который добавляет многомерные преобразования и ослабляет правило композиции.

**Фундаментальный бесконечный группоид** — бесконечная категория точек, путей, гомотопий и высших гомотопий в пространстве.

#### ИЗ НАШИХ АРХИВОВ

■ Монтгомери Р. Задача трех тел // ВМН, № 10, 2019.

ФАРМАКОЛОГИЯ

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

Дженнифер Митчелл

# ПСИХОДЕЛ КАК ЛЕКАРСТВ

Кристаллы MDMA  
под поляризационным  
микроскопом



# ИЖИ

# А

**В**есной 2017 г. меня неожиданно пригласили — как мне показалось, по недоразумению — на одно мероприятие, что-то вроде научной конференции. Приглашение попало ко мне через третьи руки, и детали были смутные, но интригующие. Я взяла такси до отеля в центре города. Там мне пришлось петлять по бесконечным коридорам, пока на одной из дверей я не увидела табличку *MAPS Phase 3 meeting*. Мне стало окончательно ясно, что здесь что-то не так.

Третья фаза — это последний этап тестирования новых лекарственных препаратов, предшествующий их одобрению. Она проводится при участии большой группы добровольцев, чтобы окончательно убедиться в безопасности и эффективности лекарства-кандидата. Этой фазе сопутствует бесчисленное число дискуссий и совещаний, само тестирование длится несколько месяцев, заключаются конфиденциальные соглашения и контракты; не бывает так, чтобы приглашение сваливалось как снег на голову. Со всем этим я решила немедленно ретироваться.

Но не успела я осуществить свой замысел, как услышала чей-то настойчивый голос из конференц-зала. Незнакомая женщина попросила меня представиться, а затем, к моему удивлению, подошла к стойке регистрации и сказала: «Выдайте этой даме бейджик. Мы все оформим позже». К концу дня я узнала, как зовут эту решительную всемогущую женщину: Берра Язар-Клозински (*Berra Yazar-Klosinski*), главный научный сотрудник Междисциплинарной ассоциации по изучению психоделиков (*MAPS*). По-видимому, ее внимание ко мне было обусловлено тем, что по базовому образованию я поведенческий психолог и эксперт по проведению клинических испытаний. Так я оказалась среди участников программы по проведению третьей фазы испытаний (на эффективность и безопасность) вещества, известного под сленговым названием «экстази» и применяемого при посттравматическом стрессовом расстройстве (ПТСР). Это расстройство характеризуется навязчивыми воспоминаниями о перенесенной психологической травме, и, по актуальным данным Национального центра по изучению ПТСР, им страдают более 15 млн жителей США.

## ОБ АВТОРЕ

**Дженнифер Митчелл** (Jennifer Mitchell) — профессор факультета неврологии и психиатрии Калифорнийского университета в Сан-Франциско, сотрудник Центра по изучению психоделиков при Калифорнийском университете в Беркли, заместитель начальника отдела по подбору персонала Медицинского центра для ветеранов в Сан-Франциско.



*MDMA* (3,4-диметиленидиоксиметамфетамин) — амфетаминоподобное вещество, синтезированное европейским фармацевтическим гигантом *Merck* в 1912 г. в рамках исследовательской программы по изучению факторов свертывания крови. Забытое на долгие годы, оно было вновь синтезировано химиком Александром Шульгиным в 1970-е гг.; рецепт его получения приведен в книге ученого. Вскоре после этого Шульгин передал часть препарата своему другу, психологу Лео Зеффу (Leo Zeff) из Окленда, штат Калифорния, который вместе с коллегами занялся исследованием возможности применения *MDMA* в психотерапии в частной практике. Обнаружилось, что пациенты Зеффа быстрее избавляются от травмирующих воспоминаний о нанесенных им обидах и других психологических травмах. Примерно через час после приема препарата их покидает чувство тревоги и страха и они трезво оценивают все, что с ними произошло.

Однако на взлете своей популярности в этом качестве *MDMA* вышел за рамки психиатрии и в 1980-х гг. стал одним из широко применяемых в рекреационных целях веществ. В 1985 г. Управление по борьбе с наркотиками (*DEA*) квалифицировало *MDMA* как вещество категории *Schedule I* (список А в русскоязычной литературе); тем, кто его распространял, грозило до 15 лет тюрьмы. Национальные институты здравоохранения в течение 20 лет финансировали исследования, которые привели к заключению, что *MDMA* — нейротоксичное, часто смертельно опасное вещество.

Из опытов на животных известно, что *MDMA* вызывает массовое высвобождение нейромедиатора серотонина, сигнального вещества, которое играет важную роль в регуляции настроения. Попав в синапс (зазор между окончаниями соседних нейронов), серотонин связывается с рецепторами близлежащих нейронов, вызывая изменение эмоционального состояния человека. *MDMA* не только инициирует выброс серотонина, он также предотвращает его обратный захват нейроном,

из которого попал в синапс. Это увеличивает время действия серотонина. Выброс последнего, в свою очередь, индуцирует высвобождение гормонов окситоцина и вазопрессина из отдела головного мозга, называемого гипоталамусом. Оба эти гормона, как полагают, способствуют усилению чувства свободы и межличностной симпатии.

Все ранние исследования указывали на то, что *MDMA* может вызывать долгосрочную реструктуризацию серотонинсодержащих нервных волокон, а также наводили на мысль, что такие изменения происходят только при высоких дозах и имеют обратимый характер. Затем на научной арене появился невролог Джордж Рикарти (George Ricaurte) из Медицинской школы Университета Джонса Хопкинса, сделавший себе имя тем, что повсюду рассказывал о нейротоксичности *MDMA* и даже о его летальности. Рикарти утверждал, что «всего одна доза *MDMA* может привести к необратимому поражению головного мозга». Результаты его работ, из которых следовало, что *MDMA* буквально опустошает мозг, были опубликованы в журнале *Science* и взяты на вооружение Национальным институтом по изучению проблем наркомании.

Позже эти данные были опровергнуты, поскольку выяснилось, что за нейротоксичность отвечает не *MDMA*, а амфетамин. Но потребовались годы, чтобы вытеснить из сознания людей постеры с фразами наподобие: «Таким стал ваш мозг под влиянием экстази» или: «Хотите превратить свой мозг в швейцарский сыр?» — в сопровождении соответствующего рисунка. Последний был выпущен ни много ни мало — *DEA*.

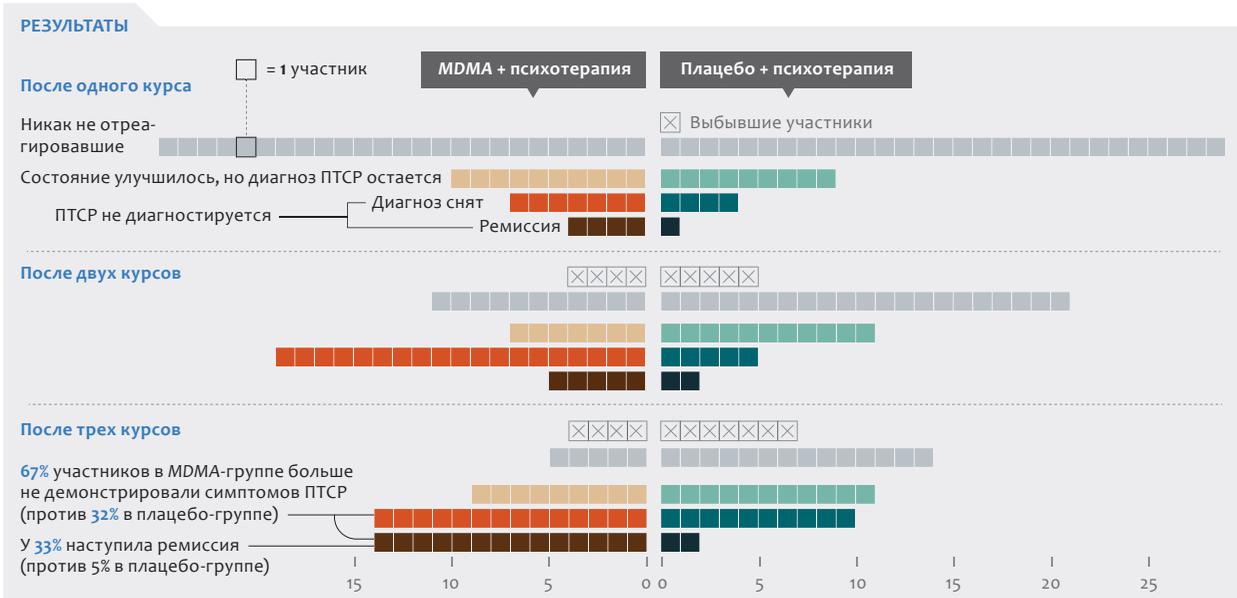
Недавние опыты на грызунах указывают на то, что *MDMA* помогает вытеснить из памяти воспоминания о перенесенном страхе и препятствует их возвращению впоследствии. Под его воздействием даже у известного своим стремлением к одиночеству осьминога появляется желание «заклучить в объятия» одного из своих собратьев. Пожалуй, самое

## Трудный путь к сердцу FDA

Возрождение интереса к психоделикам как средствам борьбы с психическими расстройствами немедленно выдвинуло на первый план MDMA как возможную панацею для лечения больных с посттравматическим стрессовым расстройством (ПТСР). Одно из препятствий на пути проведения соответствующих исследований — проблема «легальной легализации» психоделиков, которые регуляторы классифицировали как рекреационное средство немедицинского назначения. Чтобы узаконить их использование, Международная ассоциация по изучению психоделиков (MAPS) запустила рассчитанную на 20 лет программу,

финансируемую частично с помощью краудфандинга. Был разработан протокол исследований, которые должны проводиться в 15 лабораториях трех стран при участии 70 психотерапевтов. В мае прошлого года были обнародованы первые результаты завершающей фазы клинических испытаний. Они продемонстрировали высокую эффективность MDMA для лечения пациентов с ПТСР и могут служить моделью для исследования других психоделиков. Здесь представлен протокол испытаний, разработанный MAPS с целью возможного представления его в FDA для получения одобрения на использование MDMA в медицине.

**ВРЕМЕННЫЕ РАМКИ.** Протокол третьей фазы подразумевает последовательное введение трех доз MDMA в сочетании с курсами психотерапии в течение 18 недель.



Source: "MDMA-Assisted Therapy for Severe PTSD: A Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Phase 3 Study," by Jennifer M. Mitchell et al., in Nature Medicine, Vol. 27, June 2021, Graphic by SW Infographics

удивительное, что обнаружилось в опытах на животных, состоит в том, что MDMA вместе с окситоцином «воссоздает» у пациентов критический период, сходный с тем, который проходят дети во время социального и эмоционального развития на самых ранних этапах жизни. По-видимому, в результате создается некое нестабильное состояние, которое можно использовать для отработки и ослабления негативных переживаний.

Аналогично этому наблюдения за поведением людей показали, что MDMA способствует восстановлению нормального эмоционального состояния в такой, например, ситуации, когда вы находились в доверительных отношениях с человеком и вдруг узнаете, что человек этот не заслуживал вашего доверия. Если окажется, что MDMA действительно помогает освободиться от неприятных воспоминаний, то стоит подумать, как сделать следующий шаг к использованию его в качестве терапевтического средства помощи ветеранам войн, жертвам физического и сексуального насилия, а также тем, кто выжил после природных катаклизмов. Все эти люди страдают от посттравматического расстройства.

## Путь любого нового лекарственного вещества к рынку очень долог, а для психоделиков он казался просто бесконечным

### Долгий путь к одобрению

По дороге домой я размышляла о тех колоссальных трудностях, с которыми мне неизбежно придется столкнуться, если я приму участие в клинических испытаниях третьей фазы. Я уже объясняла Язар-Клозински, что хотя не раз участвовала в испытаниях второй фазы, но никакого опыта работы в третьей фазе у меня нет и, по моему мнению, одной только решимости недостаточно для преодоления всех препятствий, которые несомненно возникнут.

Статус *Schedule I* — страшный сон для разработчиков лекарственных препаратов. Согласно установкам Закона о контролируемых веществах США, эти продукты по определению не подлежат использованию в медицине, к ним неприменимо понятие безопасности, и все это означает, что, как правило, изучение их потенциала как лекарственных средств не финансируется на федеральном уровне.

Как следствие, разработка соответствующей исследовательской программы — очень трудоемкий процесс. Для хранения подобных веществ в лаборатории необходимо получить разрешение *DEA*. Более того, согласно постановлению от 1986 г., близкие аналоги веществ категории *Schedule I* тоже считаются находящимися вне закона, так что нет никакой возможности хотя бы оценить терапевтическое действие MDMA в лабораторных условиях.

Чтобы работать с подобными веществами, нужно прежде всего получить лицензию *DEA* с перечислением всех веществ, с которыми вы будете иметь дело, с указанием количества каждого из них, необходимого для эксперимента, перечнем мест хранения этих веществ и тех сотрудников, которые будут иметь к ним доступ; необходимо также изложить, какие меры предполагается принять для того, чтобы никто из посторонних не смог их получить, — и многое, многое другое. За каждое изменение, вносимое в вещество, нужно платить. Этот изнурительный процесс остудит пыл кого угодно, но не энтузиастов-исследователей. Помимо всего прочего, нет четких правил изменения статуса таких препаратов, и даже если имеется достаточно данных о том, что, скажем, MDMA обладает терапевтическим эффектом и вероятность злоупотребления чрезвычайно мала, непонятно, что нужно для перевода его в категорию *Schedule II, III* или *IV*.

И даже если вы получите добро от *DEA*, не менее трудоемкий процесс ожидает вас, когда придет время обратиться в Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов (*FDA*). Прежде всего нужно подать заявку в соответствующее подразделение Центра по разработке и исследованию лекарственных средств при *FDA*. В заявке должно быть указано абсолютно все, что известно о продукте на текущий момент: результаты опытов на животных по проверке фармакологического действия и токсичности, любые сведения о проведенных испытаниях на людях, план проверки препарата на степень чистоты, подробный план проведения клинических испытаний и даже сведения о тех, кто будет их проводить. *FDA* должно дать ответ в течение 30 дней, и если по каким-либо причинам организация не уверена, что средство-кандидат заслуживает одобрения, проект направляется на дополнительное рассмотрение. Оно может длиться неопределенно долго, что для разработчиков означает «оставь надежду, всяк сюда входящий».

Нашей команде удалось воспользоваться преимуществом, которое дает Особый протокол оценки (*SPA*) — новый подход, который

позволяет FDA ускорить процедуру прохождения заявки и сделать ее более прозрачной. SPA допускает возможность договоренности спонсора (в данном случае MAPS) с FDA относительно процедуры исследования, в частности оговариваются число участников, план анализа и способ оценки результатов. Поскольку прямое общение с FDA — редкая и очень ценная возможность, для нас было большой удачей то, что мы могли воспользоваться SPA в 2017 г. и — что еще более важно — получить в этом году статус «прорывной терапии». Подобный статус расширяет возможности получения поддержки и ускоряет процесс одобрения.

Дальше нужно было найти лабораторию, которая могла бы синтезировать MDMA в нужных количествах, что тоже представляло собой серьезную проблему. На стадии клинических испытаний это должна быть GMP-сертифицированная лаборатория (GMP — от англ. *good manufacturing practices*, «надлежащая производственная практика»). Это означает, что синтез проводится в стерильных условиях и соответствует предписанным FDA стандартам качества. Несмотря на то что вся эта процедура кажется довольно простой и понятной, найти GMP-сертифицированную лабораторию, способную синтезировать продукт высокой степени очистки, мы смогли далеко не сразу. MDMA — крайне адгезивное вещество, «прилипающее» ко всему подряд, и, чтобы этого не происходило, его молекулы необходимо было инкапсулировать.

### Краудфандинг для клинических испытаний

Путь любого нового лекарственного вещества к рынку очень долг, а для психоделиков он казался просто бесконечным. Результаты первого испытания MDMA как средства помощи страдающим ПТСР получили одобрение FDA в 2001 г, а набор добровольцев для третьей фазы закончился только в ноябре 2018 г. Даже Особый протокол оценки и статус «прорывного терапевтического средства» — ничто без финансирования исследований. Чтобы довести новый препарат до стадии выхода на рынок, нужно где-то получить примерно \$985 млн. Поскольку федеральные агентства обычно не финансируют клинические испытания препаратов класса Schedule I, мы получали деньги в основном от частных спонсоров и даже прибегли к краудфандингу. (На заметку: если бы десять лет назад мне сказали, что кто-то, где-то, когда-то проводил клинические испытания в третьей фазе на средства, собранные путем краудфандинга, я бы рассмеялась ему в лицо.)

К счастью, ситуация в ближайшее время может измениться к лучшему. Всего несколько лет назад, когда психоделики вновь начали тестировать на людях, фармацевтические компании не горели желанием принимать в них участие. Но в последний год энтузиазм достиг высшей точки, и теперь психоделических стартап-компаний не счесть. Все это позволяет надеяться, что первую заявку на одобрение MDMA мы подадим в FDA в ближайшие два года.

Несмотря на то что полдюжины клинических испытаний MDMA во второй фазе продемонстрировали его эффективность и безопасность для больных ПТСР, исход последующих, более масштабных испытаний никто не может предсказать. В случае с MDMA нам повезло. Мы уже провели 15 испытаний в трех странах с участием более 70 психотерапевтов. Нашими пациентами были люди, получившие психологическую травму в детстве, больные, страдающие депрессией, ветераны с ПТСР, безуспешно лечившиеся ранее. Во всех случаях результаты были многообещающими.

Участники третьей фазы испытаний, получавшие MDMA, демонстрировали более значительное ослабление симптомов ПТСР, чем те, кто получал плацебо плюс психотерапию. Ко времени окончания испытаний более 67% пациентов, принимавших MDMA, не проявляли никаких симптомов ПТСР, а у 21% отмечались клинически значимые изменения, то есть уменьшались тревога, депрессия, беспокойство и эмоциональная заторможенность.

В отличие от пациентов с суициальными наклонностями, у которых при приеме любого нового препарата состояние часто только ухудшалось, у получавших MDMA с таким же статусом выраженность симптоматики не изменялась. Не отмечалось также случаев использования средства не по назначению (что заставило по-другому посмотреть на доводы противников применения психоделиков в медицине, распространившиеся в 1990-х гг.).

Но, несмотря на все эти обнадеживающие результаты, было бы безответственно ожидать столь же впечатляющих успехов в менее клинически контролируемых ситуациях и для более гетерогенных популяций. Результативность психоделической терапии зависит от того, насколько строго контролируются различные переменные, например уровень профессионализма терапевтов, условия, в которых проводятся испытания, время, в течение которого участники принимают препарат. Следует отметить, что наша работа не имеет никакого отношения к использованию MDMA в рекреационных целях, когда прием препарата и его качество слабо контролируются.

Сейчас мы собираем все имеющиеся данные о результатах третьей фазы испытаний. Один из самых важных вопросов заключается в том, насколько долговременно действие MDMA и других психоделиков. Нам ясно, что все они отличаются от других психотропных веществ, например от препаратов класса ингибиторов обратного захвата серотонина (SSRI), которые нужно принимать ежедневно в течение многих лет, а иногда и пожизненно. Пока мы не знаем, не придется ли нашим пациентам возвращаться к MDMA-терапии каждые два года. Первые клинические испытания позволяют предположить, что терапевтический эффект психоделиков довольно продолжителен, но, возможно, это относится только к той группе испытуемых, с которой мы имели дело. Есть вероятность, что для других категорий понадобятся более продолжительный курс лечения или повторная терапия после какого-то перерыва.

## После MDMA-терапии пациенты могут непринужденно говорить с врачом о перенесенной психологической травме, не впадая в эмоциональное возбуждение

MDMA — экспериментальный препарат, его действие зависит от условий, в которых его применяют. В этом одно из его отличий от других медикаментов. Так, действие антикоагулянта будет одинаковым независимо от того, где проводится измерение — в комнате моих родителей или на кухне соседей; точно так же оно не будет зависеть от настроения пациента.

Психоделики — совсем другое дело. На их действенность влияют как психологический настрой больного, так и окружающая обстановка. Поэтому очень важно до начала терапии поставить пациента в известность о потенциальном эффекте от их приема. Условия, в которых проводится лечение, необходимо тщательно продумать так, чтобы больной ощущал поддержку персонала. Еще более важна специализированная подготовка лечащих врачей. Они должны чутко реагировать на малейшие изменения в психическом состоянии больного, учитывать особенности перенесенной им травмы и исходя из этого подбирать схему лечения. Как показывают результаты

опытов на животных, индуцированный MDMA критический период может длиться в течение нескольких недель и нужно максимально продуктивно использовать это время для лечения, обучения и развития.

Участовавшие в нашем исследовании пациенты происходили из самых разных слоев населения и относились к разным культурам, но диагноз у всех был одинаков — «посттравматическое стрессовое расстройство» — и все они получили травму десять лет назад. Многие до этого безуспешно лечились, испробовав другие методы терапии ПТСР. Более чем у 90% из них была депрессия, связанная с той давней травмой, их посещали суицидальные мысли.

Обычно участники проходили три подготовительных курса под наблюдением персонала, а затем им назначали три экспериментальных курса, каждый из которых длился сутки. Эти предварительные манипуляции помогали нам оценить, как будет проходить лечение и что будут ощущать люди, не знающие, что они получают — плацебо или MDMA. Поскольку мы использовали двойной слепой метод с плацебо-контролем, мы надеялись выяснить, какие ощущения испытывают получающие плацебо и не знающие об этом и что они чувствуют по окончании курса, когда все становится известно.

Дальше начались сами испытания. Пациенты полулежали на кушетках в слегка затемненной комнате, каждому были выданы препарат и стакан с водой. Затем проводились три вводные сессии, в ходе которых психотерапевт беседовал с пациентами, обсуждая детали травмы, которые всплыли после экспериментальных курсов.

Относительно неврологических механизмов действия MDMA остается много неясного, но, как правило, по окончании лечения участники испытаний могли свободно обсуждать с врачом свои проблемы, не впадая в эмоциональное возбуждение — один из основных симптомов ПТСР. Часто они делились своими переживаниями с чувством огромной жалости к самим себе, что, по мнению некоторых психотерапевтов, крайне важно для освобождения от гнетущих переживаний. Иногда ко времени окончания испытаний пациенты заметно изменялись даже внешне: переставали сутулиться, начинали смотреть в глаза и даже улыбаться.

### Что дальше?

Один из наиболее важных вопросов, на который нет ответа, состоит в следующем: необходим ли субъективный «психоделический» опыт для достижения терапевтического эффекта

или должен быть усилен случайный побочный эффект, чтобы процесс лечения проходил быстрее и был более результативным? И в самом деле: появилось множество фармацевтических компаний, которые занимаются синтезом «непсиходелических» психоделиков (они не оказывают психоактивного или галлюциногенного действия). Но даже при том что огромные массивы данных наводят на мысль о корреляции между глубиной мистического опыта и терапевтическим эффектом (а субъективные высказывания говорят о благотворном действии психоделического «прозрения» на состояние пациента с многолетним негативным опытом), представляется целесообразным сосредоточиться на изучении реальных психоделиков.

Имеются данные о действенности MDMA не только при ПТСР, но и при депрессии, алкогольной и наркозависимости, тревожности, аномальном пищевом поведении. Снять барьеры на пути клинических испытаний MDMA на предмет его использования для борьбы с этими и другими состояниями помог бы пересмотр статуса этого вещества. Даже после получения соответствующего одобрения медицинскому применению MDMA от DEA и FDA придется сделать очень многое для того, чтобы препарат дошел до рынка. Необходимо разработать систему обучения и аккредитации специалистов, которые будут работать с психоделиками, и создать сеть клиник, где их можно будет применять. Производители должны продумать способы оценки рисков, и эти способы тоже должны пройти через FDA. Только в таком случае можно быть уверенным, что клиническое использование MDMA не связано ни с какими неучтенными рисками или побочными эффектами. Необходимо создать такую структуру оценки стоимости лечения, которая отвечала бы требованиям Страховой медицинской организации (НМО) и страховых компаний.

В первый раз я услышала о терапевтическом эффекте психоделиков при симптомах тревоги и разного рода зависимости, когда училась в колледже, а уже в университете поняла, что изучение свойств этих веществ могло бы привести к избавлению от множества психических недугов. Поскольку у нас никогда не было доступа к психоделикам и мы не могли исследовать их в лабораторных условиях, мы сфокусировались на изучении их компонентов, отвечающих за те или иные формы их активности (что-то вроде обратной инженерии).

У большинства психоделиков не одна мишень, на которую направлено их действие, а целый спектр, и можно изучать ответ мишеней

по отдельности, используя более доступные лекарственные средства. Так, если какой-то психоделик вызывает высвобождение серотонина и окситоцина, мы можем попытаться повлиять на поведение с помощью какого-нибудь ингибитора обратного захвата серотонина и окситоцина. Если психоделик работает как антагонист рецептора NMDA, можно использовать какой-либо другой антагонист этого рецептора, например кетамин. Многие из нас так и поступали, исследуя нейронные механизмы и влияние на поведение потенциальных психотерапевтических средств и основываясь на том, что нам известно об их биохимии. Области фармакологии, связанные с неврологией и поведением, прошли долгий путь к пониманию механизмов их действия на состояние тревожности, страха, аномалии пищевого поведения, импульсивность, но нельзя сказать, что мы достигли успеха. Может быть, настало время сменить галс?

Более чем полвека назад, по прошествии длительного периода растущего беспокойства общественности по поводу широкого распространения психоделиков в качестве рекреационного средства, маятник отношения к ним качнулся в противоположную сторону. Остро встал вопрос регуляции и декриминализации этой сферы. Сегодня маятник вернулся в исходную точку, и теперь мы пытаемся использовать психоделики в медицинских целях. Помимо MDMA, на этот предмет исследуются другие психоделики, в частности псилоцибин, ЛСД, аяуаска и ибобаин.

В русле этого нового поворота мы должны принять меры к тому, чтобы возникший энтузиазм не повлиял на принятие решений. Необходимо всесторонне исследовать эти сильнодействующие вещества, чтобы выявить все их достоинства и недостатки. Без этого маятник может опять прийти в движение. «Никаких крайностей» и «никаких больших доз» — слышу я все это время. Путь к одобрению MDMA как первого психоделика медицинского назначения может быть долгим и трудным, но если тот энтузиазм, который я испытала на конференции пять лет назад, может служить признаком того, что цель близка, тогда, мне кажется, можно сказать, что мы идем в правильном направлении.

**Перевод: Н.Н. Шафрановская**

#### **ИЗ НАШИХ АРХИВОВ**

■ Гриффитс Р., Гроб Ч. Галлюциногены как лекарства // ВМН, № 2, 2011.

ИММУНОЛОГИЯ

Вакцины от *COVID-19* хуже защищают людей, у которых иммунная система подавлена из-за болезни или приема лекарств

Таня Льюис



# ВАКЦИНИРОВ НО УЯЗВИМЫЕ



# АННЫЕ,

Джордж Франклин III из Камберленда, штат Мэриленд, перенес трансплантацию почки 46 лет назад. Он один из многих американцев, остающихся очень уязвимыми для COVID-19, несмотря на вакцинацию.

## ОБ АВТОРЕ

Таня Льюис (Tanya Lewis) — редактор разделов здравоохранения и медицины в журнале *Scientific American*.



Среди американцев, которым трансплантировали новую почку, Джордж Франклин III (George Franklin III) — один из самых долгоживущих. Сейчас ему 67 лет. 46 лет назад ему провели спасительную операцию, благодаря которой он смог вести здоровую и активную жизнь: плавать, играть в боулинг, ходить в гости к друзьям и даже участвовать в спортивных соревнованиях — Международных играх для людей после трансплантации. Но когда началась пандемия *COVID-19*, все это стало ему недоступно.

Как и большинство перенесших трансплантацию, Франклин, живущий в западной части Мэриленда, вынужден принимать препараты, подавляющие его иммунную систему, чтобы не произошло отторжения донорского органа. В марте прошлого года Франклин привился от *COVID-19* вакциной *Johnson & Johnson*, но у него не обнаружилось антител. «Те, у кого нет антител, — говорит он, — все равно что не делали прививку». (В прошлом ноябре он привился вакциной *Moderna* и у него наконец появились антитела.)

Франклин — один из многих уязвимых людей. В их числе был также бывший государственный секретарь Колин Пауэлл, скончавшийся в октябре 2021 г. из-за осложнений *COVID-19*. Он был вакцинирован, но у него имелась миеломная болезнь — рак крови, поражающий лейкоциты, клетки, которые защищают от инфекций. При этой болезни часто назначают препараты, еще сильнее подавляющие иммунную систему.

Пандемия заставила всех приспособливаться к ограничениям. Но для людей с иммунодефицитом даже обычная деятельность теперь сопряжена с чрезвычайным риском. Это люди, чья иммунная система ослаблена из-за рака, ВИЧ-инфекции, аутоиммунных заболеваний или приема иммунодепрессантов, например при химиотерапии, лечении стероидами или после трансплантации.

Исследования показали, что люди с иммунодефицитом чаще попадают в больницу и умирают от *COVID-19*, а вакцины защищают их значительно меньше. Однако надежда есть. Используя дополнительные дозы некоторых вакцин от *COVID-19* и правильно спланировав сроки введения

иммунодепрессантов и средств для профилактики *COVID-19*, можно улучшить защиту этих людей и вернуть им возможность хотя бы частично заниматься тем, что они делали до пандемии.

Однако надежды тают из-за появления новых вариантов вируса, таких как «омикрон», который способен пробивать защиту, создаваемую вакцинами. На момент создания этой статьи было известно, что «омикрон» умеет, хотя бы частично, обходить такую защиту, и ученые срочно выясняли, насколько хорошо он это делает.

«Что касается "омикрона", то я очень беспокоюсь за людей с иммунодефицитом, — говорит сотрудник Университета Макмастера иммунолог Дон Бодиш (Dawn Bodish), получившая грант Канадской программы поддержки научных исследований изменений иммунитета при старении (*Canada Research Chair in Aging and Immunity*). — Несколько месяцев назад я уверенно говорила, что о четвертой дозе речи не идет. А теперь мы используем вакцины разных типов и подбираем такую частоту вакцинации, которая позволит защитить этих людей наилучшим образом».

## Неполная защита

Мы до сих пор многого не знаем о том, как работают вакцины от *COVID-19* у людей с иммунодефицитом или принимающих иммуносупрессоры, поскольку из соображений безопасности эти группы не участвовали в клинических испытаниях. Но сейчас ученые занялись выяснением данного вопроса. Согласно недавнему отчету Центров по контролю и профилактике заболеваний США (CDC), у людей с иммунодефицитом, привитых



Для того чтобы его организм не отторгал донорский орган, Франклин принимает иммуносупрессоры, но они же делают его уязвимым для коронавирусной и других инфекций

мРНК-вакцинами, при заражении коронавирусом вакцинация на 77% снижает риск госпитализации, тогда как у людей со здоровым иммунитетом этот риск при вакцинации снижается на 90%. Этот показатель сильно зависел от состояния иммунитета, составляя 59% у перенесших пересадку органов или трансплантацию стволовых клеток и 81% у людей с ревматическими или воспалительными заболеваниями.

Профессор хирургии из Университета Джона Хопкинса Дорри Сеgev (Dorry Segev) с коллегами изучал, как люди, перенесшие пересадку или имеющие подавленную иммунную систему по другим причинам, реагируют на вакцины от COVID-19. В июне 2021 г. вышла их публикация в журнале *JAMA*, где было показано, что среди более 650 человек, перенесших пересадку, у 46% не было заметного иммунного ответа ни после первой, ни после второй дозы, а у 39% не было ответа после первой, но после второй он был. В проведенном отдельно исследовании обнаружилось, что среди людей после трансплантации у привитых вакциной *Johnson & Johnson* заметный иммунный ответ был реже, чем у привитых мРНК-вакциной. Такое отсутствие защиты опасно: Сеgev с коллегами выяснил, что привитые люди, перенесшие трансплантацию, заболевают в 82 раза чаще по сравнению с обычными вакцинированными людьми, а риск попасть в больницу и умереть у них выше в 485 раз.

В июне 2021 г. Сеgev с коллегами опубликовали в *Annals of Internal Medicine* исследование, в котором участвовали 30 человек, перенесшие пересадку и получившие третью дозу вакцины. После первых двух доз у шести пациентов уровень антител был низкий, но они были, а у 24 антитела не обнаружались. После третьей дозы у всех участников, имевших низкий уровень антител, он стал высоким. Однако среди участников, не имевших антител после второй дозы, после третьей он стал высоким только у шести человек.

Руководствуясь этими данными, *CDC* в августе прошлого года разрешили ревакцинацию третьей дозой для людей с иммунодефицитом еще до того, как использование бустера было одобрено для всех остальных взрослых. Сеgev говорит, что некоторым людям, особенно с аутоиммунными заболеваниями, «третья доза очень помогает, позволяя наконец получить достаточный для защиты уровень антител». Однако большинству людей, перенесших пересадку, везет меньше. «Лишь некоторые из них после третьей дозы достигают нужного уровня». Впрочем, для людей, которые были привиты, ожидая пересадки, есть хорошие новости. «Скорее всего, у них будет очень, очень хороший результат, намного лучше, чем после приема иммунодепрессантов», — говорит Сеgev.

Еще одна крайне уязвимая группа — пациенты с раком крови, как Пауэлл. Ежегодно в США почти у 35 тыс. человек диагностируется миеломная



До пандемии Франклин вел активную жизнь и участвовал в Международных играх для людей после трансплантации. Но из-за COVID-19 эта деятельность больше не безопасна.

болезнь. При этом заболевании страдают плазматические клетки в костном мозге, которые должны вырабатывать антитела в ответ на появление коронавируса, вызывающего COVID-19, и на введение вакцины. Проблема еще усугубляется тем, что препараты, используемые для лечения этой формы рака, убивают не только раковые клетки, но и здоровые.

Диане Чавес (Diana Chavez) из Лос-Анджелеса диагностировали миеломную болезнь в 2020 г. «Очень сложно жить с диагнозом "рак" во время пандемии, — рассказывает она. — Это неизведанная территория». Чавес 66 лет, на прием к врачу ей пришлось ходить в одиночку, и в больнице из-за ковидных ограничений были запрещены посещения. «Мне надо было быстро принимать решения, и никто из родственников или друзей не мог быть рядом и напомнить мне о вопросах, которые надо задать», — говорит она.

После двух доз вакцины Moderna у Чавес не сформировалось защитного иммунного ответа, который, однако, появился после третьей дозы. Для лечения миеломы она использует стероидные препараты, но решила ненадолго прекратить их прием на время вакцинации третьей дозой. (Она сообщила об этом своему врачу. Пациенты всегда должны советоваться со своими врачами перед тем, как прекратить прием препарата или что-то поменять в лечении.)

В июле прошлого года директор по медицине и науке Института исследований миеломы и рака кости в Западном Голливуде Джеймс Беренсон (James Berenson) вместе с коллегами опубликовал в журнале *Leukemia* исследование иммунного ответа на введение мРНК-вакцины пациентам с миеломной болезнью. Оказалось, что только у 45% пациентов с симптоматической миеломой выработалось нужное количество антител после двух доз вакцины Pfizer или Moderna, а еще у 22% иммунный ответ был недостаточно сильным. Беренсон обнаружил, что у тех, кто был привит вакциной Moderna, уровень антител был выше, чем у привитых Pfizer. Беренсон рассказывает: «Мы обнаружили, что пожилые люди, такие как Колин Пауэлл, которым около 70 лет, и люди со сниженным количеством лимфоцитов, с меньшим количеством антител из-за ослабленной иммунной системы вследствие миеломной болезни, те, кто лечился или не смог вылечиться от некоторых других заболеваний, — все они гораздо слабее реагировали на вакцинацию от COVID-19». Сейчас он изучает результаты введения дополнительной дозы вакцины пациентам с миеломной болезнью, и, по его словам, результаты «шокирующе многообещающие».

Однако уровень антител — лишь один из показателей качества иммунной защиты. Т-клетки и В-клетки памяти тоже играют важную роль в иммунном ответе, приобретенном после прививки или

перенесенного заболевания, но Сегев и Беренсон не оценивали их в своих исследованиях, поскольку их количество труднее определить. Т-клетки могут обеспечивать некоторую защиту, даже если у человека не обнаруживаются антитела.

### Усиление иммунитета

У людей с некоторыми разновидностями аутоиммунных заболеваний хорошо вырабатывались антитела после вакцинации, и это обнадеживает. Сегев с коллегами изучал привитых людей с ревматическими заболеваниями опорно-двигательного аппарата, такими как артриты или волчанка, и обнаружил, что у большинства из них вырабатывались антитела после двух доз мРНК-вакцины.

Специалист по клинической нейробиологии Тьялф Цимссен (Tjalf Ziemssen) из Университетской клиники им. Карла Густава Каруса в Дрездене вместе с коллегами проанализировал реакцию на вакцинацию от COVID-19 у пациентов с рассеянным склерозом — при этом заболевании иммунная система атакует липидную оболочку, защищающую нервы в головном и спинном мозге. Обычно его лечат иммуномодулирующими препаратами — модуляторами рецептора SIP и анти-CD20-моноклональными антителами. Цимссен с коллегами обнаружили, что у пациентов, принимавших моноклональные антитела, реакция В-клеток (которые производят антитела к COVID-19) была довольно слабой, но имелся хороший ответ Т-клеток (которые атакуют и убивают вирусы, например SARS-CoV-2, вызывающий COVID-19). У пациентов, принимавших модулятор рецептора SIP, реакция была слабее, но у двух третей все же развивался В- или Т-клеточный ответ, или оба сразу.

Цимссен не рекомендует менять дозировки лекарств от рассеянного склероза, чтобы улучшить результат вакцинации. Но он предлагает пациентам, получающим инфузионное лечение, подождать месяц после инфузии, прежде чем прививаться. Больным, у которых был хороший В- и Т-клеточный ответ, он рекомендует введение третьей дозы через шесть месяцев. Тем, у кого не было достаточного ответа, он советует вводить третью дозу раньше.

В то же время многие люди с другими, более редкими иммунными заболеваниями не знают, защищены ли они от COVID-19. У Дины С., попросившей не называть ее фамилию из соображений конфиденциальности, редкое заболевание — пемфигоид слизистых оболочек, при котором возникают пузыри на деснах и в других местах. Она принимает микофенолата мофетил — иммуносупрессор, который часто назначают пациентам при трансплантации, а в прошлом принимала стероидный препарат преднизолон.

Дина принимала участие в исследованиях Сегева с коллегами. Сначала она была привита двумя дозами Pfizer, но тест показал отсутствие

антител. Затем ей однократно ввели вакцину Johnson & Johnson, но антитела не появились. Дальше ее привили тремя дозами Moderna, и тогда наконец удалось добиться ответа, который у здоровых людей формируется после двух доз. Весь этот процесс длился шесть месяцев. «Благодаря в том числе и моим мучениям введение дополнительных доз вакцины одобрили для всех, а особенно — для людей с иммунодефицитом, — говорит Дина. — Буштеры помогают, и они нужны!»

С тех пор как началась пандемия, Дина фактически оставалась взаперти, общаясь лишь с тремя людьми, соблюдавшими строгие меры предосторожности, чтобы свести к минимуму вероятность заражения. Она рассказывает, что теперь, когда прививки дали результат, наконец можно немного расслабиться. «Я испытываю сильное волнение, благодаря вакцинации я, возможно, теперь смогу зайти в продуктовый магазин, впервые с тех пор как ушла в изоляцию, — говорит Дина. — В маске, в безлюдное время, в большой просторный магазин, но тем не менее. Прилавки с чаем и специями влекут меня».

Сегев из Университета Джонса Хопкинса рекомендует три способа повысить эффективность вакцинации людей с ослабленной иммунной системой. Во-первых, он советует попробовать третью дозу. Если это не поможет, некоторым пациентам можно временно уменьшить количество принимаемых иммуносупрессоров (но только если их врач сочтет, что это безопасно) и ввести еще одну дозу. Если вакцинация не работает, Сегев рекомендует вводить пациентам моноклональные антитела для формирования пассивного иммунитета к COVID-19. Моноклональные антитела сейчас разрешено использовать при подтвержденном заражении или контакте, но Сегев надеется, что Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов (FDA) США рассмотрит возможность их использования и для профилактики.

Вакцинация — не единственная мера защиты, доступная людям с иммунодефицитом. Они могут избегать толпы, стараться не попадать в одно помещение с непривитыми или теми, кто много контактирует с другими людьми. Рядом с посторонними они могут применять надежно защищающую маску, например № 95, хорошо проветривать помещения, открывая окна, или использовать очистители воздуха. Они могут просить других людей сделать тест, прежде чем вступать с ними в контакт. Хотя эти меры предосторожности более обременительны, чем простой укол в плечо, но, если их использовать в совокупности, они помогают. «Лучшее, что мы можем сделать для людей с иммунодефицитом, — говорит Сегев, — это привить всех остальных и защитить таким образом наших уязвимых друзей и соседей».

Перевод: М.С. Багоцкая

ОБРАЗОВАНИЕ

# УРОКИ ПРАВД

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

*Мелинда Уэннер Мойер*

ы



## ОБ АВТОРЕ

**Мелинда Уэннер Мойер** (Melinda Wenner Moyer) — пишущий редактор *Scientific American*, автор книги «Как воспитывать детей, чтобы они не становились подлецами: научно обоснованные стратегии наилучшего воспитания от младенчества до подросткового возраста» (*How to Raise Kids Who Aren't Assholes: Science-Based Strategies for Better Parenting — from Tots to Teens*, 2021). В сентябрьском номере *Scientific American* (ВМН, № 11, 2021) вышла ее статья о причинах повышенного риска аутоиммунных заболеваний у женщин.



# К

огда Аманда Гарднер (Amanda Gardner), преподаватель с двадцатилетним опытом работы, помогала с открытием новой начальной и средней школы с собственным уставом за пределами Сиэтла, она не предполагала, что ей придется учить школьников, которые отрицают существование Холокоста, утверждают, будто *COVID-19* — мистификация, и рассказывают своему учителю, что результаты президентских выборов 2020 г. были подтасованы.

Тем не менее некоторые дети настаивали на том, что эти конспирологические теории — правда. Ложная информация, включающая добросовестные заблуждения, и дезинформация, связанная с намеренным введением в заблуждение, по словам Гарднер, «оказывали все большее влияние на учеников в последние 10–20 лет», однако многие школы не уделяют внимание этой проблеме. «Большинство средних школ, вероятно, проводят определенное обучение, чтобы предотвратить плагиат, но не более того», — говорит Гарднер.

Как выясняется, дети — это готовая мишень для фейковых новостей. Согласно данным исследования, опубликованного в сентябре 2021 г. в *British Journal of Developmental Psychology*, 14 лет — возраст, когда дети часто начинают верить в недоказанные идеи о заговорах. Многие подростки также испытывают трудности с оценкой достоверности онлайн-информации. В ходе исследования, проведенного в 2016 г. с участием почти 8 тыс. американских школьников и студентов, ученые из Стэнфордского университета обнаружили: более 80% школьников среднего звена считали, что анонсы, обозначенные как спонсорский контент, были настоящими информационными материалами. Исследователи также выяснили, что менее 20% учеников старших классов серьезно ставят под сомнение ложные заявления в социальных медиа, подобные посту в *Facebook*, в котором

говорилось, будто фотографии странного вида цветов якобы рядом с местом аварии на ядерной электростанции в Японии доказывают, что в этом районе сохраняется опасный уровень радиации. Когда студенты колледжа посмотрели на сообщение в *Twitter*, рекламирующее результаты голосования в поддержку контроля над оружием, более двух третей участников не обратили внимания на то, что либеральные группы, выступающие против свободного ношения оружия и проводившие опрос, могли повлиять на данные.

Во время кампаний по дезинформации часто стремятся непосредственно воздействовать на молодых пользователей, направляя их к контенту, вводящему в заблуждение. В ходе расследования, проведенного в 2018 г. *Wall Street Journal*, выяснилось, что алгоритму *YouTube*, выдающему пользователям персональные рекомендации для дальнейшего просмотра, свойственны перекосы: видео, которые предлагается посмотреть, более экстремальны и надуманны, чем те, с которых человек начал просмотр. Например, когда исследователи искали видео, используя фразу «лунное затмение», их направляли к видеоролику, в котором предполагалось, что Земля плоская. *YouTube* — один из наиболее популярных среди подростков сайтов социальных медиа. После того как Зейнеп Туфекчи (Zeynep Tufekci), доцент Школы информатики и библиотечного дела Университета

Северной Каролины в Чапел-Хилле, провела некоторое время, осуществляя поиск видео на *YouTube* и отмечая, что именно алгоритм предложит ей посмотреть дальше, она выдвинула предположение о том, что *YouTube* — «один из наиболее могущественных инструментов радикализации XXI в».

Важное средство, которое могут использовать школы, чтобы справиться с этой проблемой, называется обучением медиаграмотности. Идея заключается в том, чтобы учить детей тому, как оценивать и критически осмысливать получаемые ими сообщения и как распознавать ложь, замаскированную под правду. Для детей, чьи родители, возможно, верят в конспирологические теории или другую ложь, подпитываемую дезинформацией, школа — единственное место, где их могут научить мастерству объективной оценки подобных утверждений.

Тем не менее лишь немногие американские дети проходят такое обучение. Прошлым летом Иллинойс стал первым штатом США, в котором все учащиеся средней школы обязаны пройти курс медиаграмотности. В 13 других штатах существуют законы, касающиеся медиаграмотности, но требования могут иметь общий характер, например размещение перечня онлайн-ресурсов на веб-сайте департамента образования. Все большее число студентов в той или иной форме обучаются медиаграмотности в колледже, но, как говорит исполнительный директор Центра информационной грамотности Университета Стони-Брук Хауард Шнайдер (Howard Schneider), «слишком поздно начинать такого рода обучение». Когда много лет назад он начал преподавать в колледже, он обнаружил, что «студенты приходят с огромным недостатком знаний и уже приобретают очень плохие привычки».

Даже если бы все больше студентов посещали такие уроки, существуют серьезные разногласия относительно того, чему должны учить во время этих занятий. Определенные учебные программы направлены на то, чтобы научить школьников придавать большее значение журналистским источникам, но некоторые исследователи утверждают, что подобная практика не учитывает потенциальную предвзятость публикаций и самих репортеров. Другие курсы обучения побуждают студентов определять источник информации и задаваться вопросом, каким образом контент помогает тем, кто его распространяет. В целом существует очень мало данных о том, какой способ учить детей отделять факты от вымысла лучше всего.

Большинство подходов к медиаграмотности «начинают выглядеть очень слабыми, когда вы задаете вопрос: "Можете ли вы представить доказательства?"», — говорит Сэм Уайнберг (Sam Wineburg), профессор педагогики в Стэнфордском университете, возглавляющий Стэнфордскую группу

преподавания истории. За каждым методом стоит группа исследователей в области образования, говорит Рене Хоббс (Renee Hobbs), директор Лаборатории медиаобразования Университета Род-Айленда, и «каждая группа прилагает все усилия, чтобы оскорбить другую». Такие подходы не сопоставляли на равных, и некоторые из них подкреплены очень малым количеством исследований. Подобно ситуации с самими источниками онлайн-медиа, трудно разобраться, каким из методов можно доверять.

Одно из направлений исследований в сфере медиаграмотности — информационная грамотность, непосредственно касающаяся распространения теорий заговора и способности отличать настоящие новости от фейковых. Информационная грамотность предусматривает наличие ряда навыков, помогающих людям оценить надежность и достоверность новостей и информации в целом. Но, как и в случае с медиаграмотностью, у исследователей очень разные представления о том, как нужно обучать такому виду анализа новостей.

В соответствии с некоторыми программами, такими как программа Шнайдера в Университете Стони-Брук и учебный курс некоммерческого Проекта информационной грамотности (*News Literacy Project*) в Вашингтоне, округ Колумбия, студенты учат распознавать качество информации отчасти за счет знаний механизмов ответственной журналистики. Студенты изучают, как журналисты ищут новости, как отличать разные виды информации и как оценивать данные, которые легли в основу рассказываемых историй. Цель, как писал Шнайдер в статье для *Nieman Reports*, заключается в превращении студентов «в потребителей, способных отделить переработанную, непроверенную информацию, циркулирующую в интернете, от независимой проверенной журналистской продукции».

Однако некоторые исследователи медиаграмотности сомневаются в эффективности подобных подходов. Например, Хоббс в своей статье, опубликованной в 2010 г., доказывала, что такие методы возвеличивают журналистику, игнорируют множество существующих в ней проблем и от них мало толку для развития навыков критического мышления. «Вся эта сосредоточенность на идеалах журналистики — просто пропаганда, если при этом закрывают глаза на реалии современной журналистики, когда пристрастная политика и разгул клеветы — самые надежные способы завоевать аудиторию», — утверждает Хоббс.

При других подходах студентов учат методам оценки надежности новостных и информационных источников, отчасти за счет определения их целей и побудительных причин. Студентов учат задавать вопросы: «Кто создал этот контент



и зачем? Что говорится в других источниках?» Но это относительно новые методы, которые еще не были широко изучены.

Отсутствие тщательных исследований различных подходов действительно представляет собой серьезное препятствие, говорит Пол Михаилидис (Paul Mihailidis), специалист по гражданским СМИ и журналистике из Колледжа Эмерсона. Михаилидис — ведущий специалист исследовательского проекта «Картирование эффективных методов повышения медиаграмотности» (*Mapping Impactful Media Literacy Practices*), поддерживаемого Национальной ассоциацией образования в сфере медиаграмотности. «Большая часть научных знаний основаны на очень скудных данных, полученных в исследованиях, имеющих разведочный характер. Это лишь качественный анализ», — говорит Михаилидис. И дело не только в отсутствии ресурсов. «Неясно также, каковы цели», — добавляет он.

Например, в исследовании, проведенном в 2017 г., ученые выясняли, насколько хорошо студенты, прошедшие базовый университетский курс в Стони-Брук, год спустя могли ответить на вопросы

по сравнению со студентами, не прошедшими обучение. Те, кто освоил курс, чаще правильно отвечали на вопросы о СМИ — например, что финансовая поддержка некоммерческой службы телевизионного вещания *PBS (Public Broadcasting Service)* не зависит в основном от рекламы. Но в исследовании не проверялось, насколько успешно студенты способны отличить фейки от настоящих новостей, поэтому трудно определить, служит ли программа хорошей прививкой против лжи для студентов.

Более того, немногочисленные существующие исследования проводились преимущественно с участием студентов колледжей, а не школьников средних и старших классов, которые так уязвимы перед дезинформацией. В действительности различные подходы, используемые в государственной системе образования детей, едва ли были протестированы вообще. В качестве составляющей нынешнего исследовательского проекта Михаилидис и его группа провели опрос глав всех крупных организаций, входящих в Национальный альянс медиаграмотности, который содействует образованию в сфере медиаграмотности. «Мы постоянно

обнаруживаем, что многие используемые ими способы оказания поддержки школам и учителям — ресурсы, руководства, передовые методы и т.д. — не изучены самым тщательным образом», — говорит Михаилидис.

Некоторые ученые, включая Сэма Уайнберга, пытаются восполнить этот пробел. В исследовании, результаты которого были опубликованы в 2017 г., Уайнберг со своей командой сравнили, как десять профессоров истории, десять специалистов по проверке достоверности фактов прессы и 25 студентов Стэнфордского университета оценивали веб-сайты и информацию по социальным и политическим вопросам. Ученые выяснили, что если манипулятивные сайты часто вводили в заблуждение историков и студентов, то специалисты по проверке достоверности фактов не заблуждались. Более того, их методы анализа значительно различались: историки и студенты пытались оценить достоверность сайтов и информации, читая по вертикали и перемещаясь по сайту, чтобы больше о нем узнать, а специалисты по проверке фактов читали по горизонтали, открывая новые окна в браузере для разных источников и осуществляя поиск, чтобы сделать вывод о надежности исходного веб-сайта.

В сотрудничестве с Институтом Пойнтера и Ассоциацией местных СМИ при поддержке *Google.org* (благотворительной организации, учрежденной технологическим гигантом) Уайнберг и его группа создали гражданский курс критической оценки онлайн-ресурсов, в рамках которого студенты учат оценивать информацию, читая по горизонтали. Пока достигнутый эффект выглядит многообещающе. Во время полевых исследований с участием 40 тыс. учеников старших классов из городских медицинских округов Уайнберг и его группа установили, что школьники, прошедшие курс, оказались способны лучше оценивать веб-сайты и надежность утверждений, размещенных в интернете, таких как посты в *Facebook*, по сравнению с учащимися, не посещавшими курс.

**Т**ем не менее даже если в результате обучения информационной грамотности прививают специальные навыки, некоторые исследователи задаются вопросом о более широком, долговременном эффекте. Когда школьники и студенты научатся оценке интернет-сайтов и утверждений, насколько можно быть уверенным, что они сохраняют эти навыки и будут использовать их в дальнейшем? Насколько мы можем быть уверены, что эти методы внушат школьникам и студентам скептицизм по отношению к теориям заговоров и кампаниям по дезинформации? И приведут ли такие методы к тому, что учащиеся станут социально активными членами общества? «Постоянно прибегают к заявлениям наподобие "это сделает

наши демократическую и информационную системы сильнее". Но я не знаю, всегда ли это так», — говорит Михаилидис.

Результаты некоторых изысканий действительно наводят на мысль, что методы обучения информационной грамотности могли бы иметь более широкий положительный эффект. В ходе проведенного в 2017 г. исследования с участием 397 взрослых ученые обнаружили, что люди с более высоким уровнем медиаграмотности менее склонны поддерживать конспирологические теории по сравнению с теми, у кого уровень медиаграмотности ниже. «Мы не можем с определенностью сказать, что информационная грамотность заставляет вас отвергать конспирологические теории, но тот факт, что наблюдается положительная взаимосвязь, говорит нам, что необходимо продолжить исследования», — объясняет соавтор статьи Сет Эшли (Seth Ashley), доцент кафедры журналистики и исследований СМИ из Университета штата Айдахо в Бойсе.

## **Дети — это готовая мишень для фейковых новостей. Согласно данным недавнего исследования, 14 лет — возраст, когда дети часто начинают верить в недоказанные идеи о заговорах**

Хотя результаты, полученные Эшли, вдохновляют, некоторых специалистов беспокоит, что концентрация только на оценке веб-сайтов и новостных статей — слишком узкий подход. «Информационная грамотность во многом сосредоточена на достоверности и на том, знаем ли мы, что какая-то информация верна или нет, и это действительно важный вопрос. Но это всего лишь один вопрос, — говорит Мишель Чулла Липкин (Michelle Ciulla Lipkin), исполнительный директор Национальной ассоциации образования в сфере медиаграмотности. — Как только мы выясним, правда это или ложь, какие еще оценки и анализ необходимо провести?» Определение достоверности информации — всего лишь первый этап, утверждает Липкин. Учащимся также следовало бы задуматься о том, почему новости рассказываются определенным образом, чьи истории рассказывают, а чьи нет и каким образом информация доходит до потребителя новостей.

Настоятельное требование от учащихся скептического подхода к любой информации также

может иметь неожиданные отрицательные стороны. «Мы полагаем, что некоторые подходы к информационной грамотности не только не работают, но и, возможно, имеют обратный эффект за счет роста цинизма учащихся или усугубления неверного понимания того, как работают средства массовой информации», — говорит Питер Адамс (Peter Adams), первый вице-президент по образованию Проекта информационной грамотности. По словам Адамса, учащиеся могут начать «видеть всякие злодейские мотивы во всем». Детали проблемы, вызывающей озабоченность у Адамса, в 2018 г. на медиаконференции *South by Southwest* прояснила дана бойд (danah boyd), исследовательница технологий в *Microsoft Research* и основательница и президент Исследовательского института «Информация и общество» (*Data & Society*). Бойд доказывала, что, хотя полезно просить студентов ставить под сомнение их предположения, «обнаруживающийся пробел, который заставляет людей искать новые объяснения, может быть восполнен крайне проблематичным образом». Джордан Рассел (Jordan Russell), преподаватель социальных наук в старшей школе в Брайане, штат Техас, согласен с бойд: «Учащиеся очень легко могут перейти от здорового критического мышления к нездоровому скептицизму и мысли, будто все всегда лгут».

Для того чтобы избежать подобных потенциальных проблем, Эшли выступает за применение широких подходов, помогающих школьникам и студентам формировать образ мышления, благодаря которому они чувствуют себя комфортно в ситуации неопределенности. По словам педагога-психолога Уильяма Перри (William Perry) из Гарвардского университета, школьники проходят через разные стадии познания. Сначала детям свойственно черно-белое мышление: они думают, что есть верные и неверные ответы. Затем они превращаются в релятивистов, осознавая, что знание может быть контекстуальным. Однако эта стадия может оказаться опасной. Как отмечает Рассел, это как раз тот этап, когда люди могут начать верить, что правды не существует. Эшли добавляет: если учащиеся думают, будто все — ложь, они также считают, что нет смысла заниматься трудными вопросами.

Цель образования в сфере информационной грамотности — перевести школьников и студентов на следующий уровень, как говорит Эшли, «туда, где вы способны начать понимать и ценить тот факт, что мир сложен и это нормально. Вы владеете основными методами получения знаний, которые способны принять, но по-прежнему цените неопределенность и продолжающиеся споры о том, как устроен мир». Задача заключается в том, чтобы направить студентов к знанию и вовлеченности, а не вызвать у них апатию.

**ШШШ**колам предстоит еще долгий путь, прежде чем им удастся достичь этой цели. Одна из серьезных проблем заключается в том, как расширить подобные программы, чтобы они включали каждого, особенно тех детей в школьных округах с низким доходом, которые, вероятно, гораздо реже проходят хоть какое-нибудь обучение информационной грамотности. К тому же у учителей и так очень много материала, который они должны передать на уроках. Смогут ли они еще больше увеличить объем, особенно если добавляемый материал сложен и имеет множество нюансов? «Мы остро нуждаемся в профессиональном развитии, подготовке и поддержке педагогов, потому что они не специалисты в этой области, — говорит Адамс. — А современное информационное поле — самое большое, сложное и перегруженное в человеческой истории».

В 2019 г. сенатор от штата Миннесота Эми Клобушар (Amy Klobuchar) внесла на рассмотрение в Сенате США проект Закона о цифровом гражданстве и медиаграмотности, который в случае его принятия предусматривает выделение \$20 млн на создание программы грантов Министерства образования для помощи штатам в разработке и финансировании инициатив по обучению медиаграмотности в государственных средних школах. Крайне важно больше инвестировать в такого рода образование, для того чтобы американская молодежь научилась, не теряя головы, ориентироваться в этом новом и постоянно развивающемся медиaprостранстве. Необходимо также еще больше исследований, чтобы понять, как этого добиться. В Центре информационной грамотности Шнайдер планирует вскоре провести исследование, чтобы определить, насколько его курс способствует развитию информационной грамотности, гражданской активности и навыков критического мышления у школьников средних и старших классов.

Но потребуется гораздо больше исследований, чтобы ученые получили всесторонние знания о том, какие методы работают в долгосрочной перспективе, а какие нет. По словам Шнайдера, научные специалисты в сфере образования должны «смело сделать большой шаг вперед. Сейчас мы сталкиваемся с перерождением способов получения, обработки и распределения информации. Самая грандиозная революция за 500 лет в самом разгаре». ■

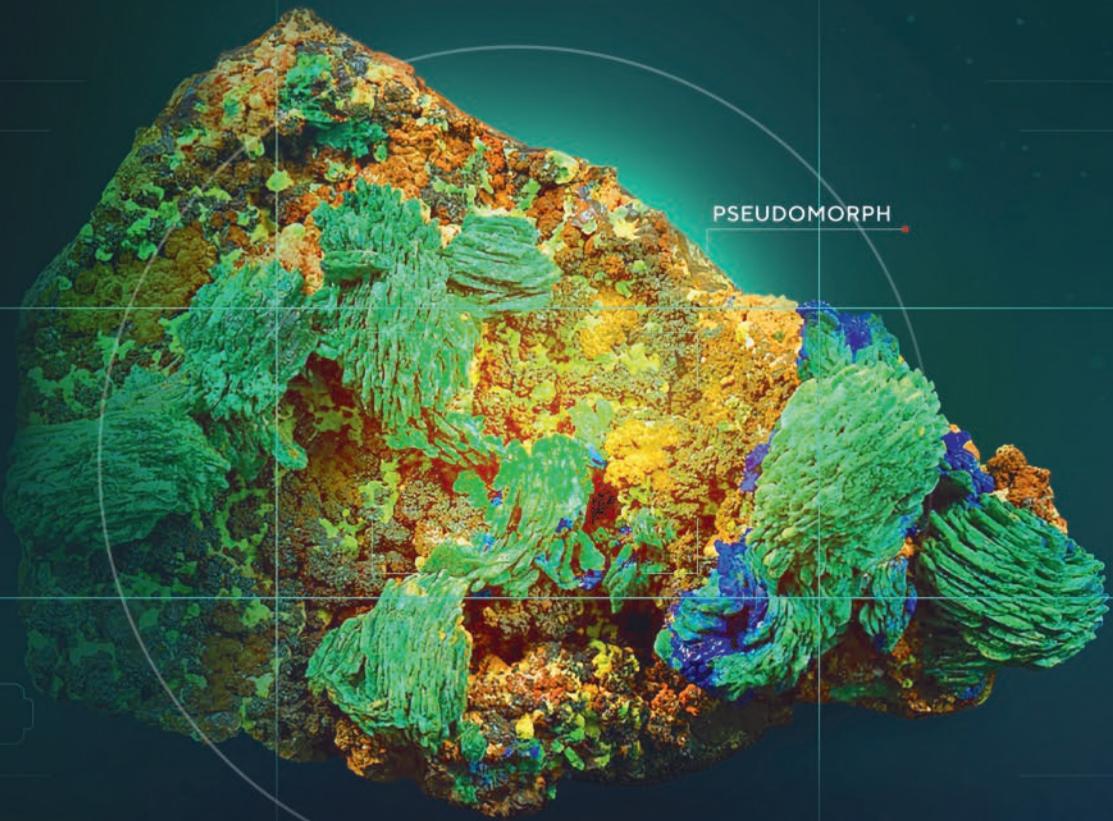
Перевод: С.М. Левензон

#### ИЗ НАШИХ АРХИВОВ

■ Кватрочокки В. Внутри эхокамеры // ВМН, № 5–6, 2018.



# ФОТО И ВИДЕО КОНКУРС



PSEUDOMORPH

-3.2.1.0.1.2.3+

■ АВТОР САМОЙ  
УДАЧНОЙ  
ВИДЕОРАБОТАЫ ПОЛУЧИТ  
ШАНС СТАТЬ ВЕДУЩИМ  
НА КАНАЛЕ

■ ЛУЧШИЕ  
ФОТОРАБОТЫ  
ПРОИЛЛЮСТРИРУЮТ  
СТАТЬИ  
ВИКИПЕДИИ

■ ПОБЕДИТЕЛИ  
ПОЛУЧАТ  
ЦЕННЫЕ  
ПРИЗЫ

■ СПЕЦНОМИНАЦИЯ  
«ПОКОРЕНИЕ  
АРКТИКИ»

ПОДРОБНОСТИ НА САЙТЕ  
[NAUKATV.RU](http://NAUKATV.RU)

12+  
РЕКЛАМА



ПОЗНАНИЕ



МОЯ ПЛАНЕТА  
ТЕЛЕКАНАЛ



КАНАЛ  
НАУКА



живая планета  
ТЕЛЕКАНАЛ



ПЛАНЕТА НО  
ТЕЛЕКАНАЛ



ИСТОРИЯ  
ТЕЛЕКАНАЛ



КАНАЛ  
ДОКТОР



ТЕЛЕКАНАЛ



МЫШЛЕНИЕ

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

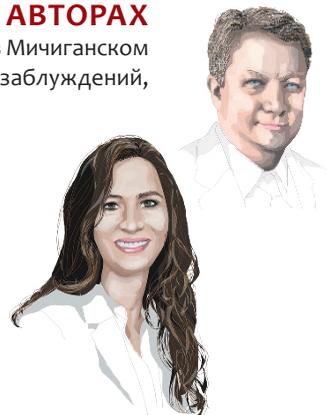
Дэвид Даннинг  
и Кармен Санчес

# Путаница В МЫСЛЯХ

## ОБ АВТОРАХ

**Дэвид Даннинг** (David Dunning) — социальный психолог и профессор в Мичиганском университете, исследует психологические механизмы человеческих заблуждений, в первую очередь ложные представления людей о себе.

**Кармен Санчес** (Carmen Sanchez) — старший преподаватель в Бизнес-школе им. супругов Гейс Иллинойского университета в Эрбане — Шампейне, изучает формирование заблуждений, принятие решений и чрезмерную самоуверенность.



**С**колько времени мы тратим на размышления, прежде чем принять важное решение? Оказывается, нисколько, по крайней мере большинство из нас. Например, перед покупкой машины многие люди совершают два и более визита в автоцентр. А при выборе врача, согласно исследованию, опубликованному в журнале *Health Services Research*, большинство просто доверяют рекомендации друзей и родственников, но не консультируются при этом с другими медиками и не используют информацию со специализированных сайтов и из статей.

И дело не в том, что таким образом мы экономим наши мысленные ресурсы, чтобы использовать их для более важных решений. Каждый пятый американец тратит больше времени на планирование своего отпуска, чем на планирование финансового будущего. Есть люди, которые обдумывают каждый нюанс перед тем, как сделать выбор, и, конечно, тут тоже можно перемудрить. Однако большинство людей делают поспешные выводы. Психологи считают это одной из форм когнитивного искажения. В данном случае ошибка в том, что люди принимают решения на основе очень скудных данных.

В нашем исследовании мы обнаружили, что поспешные суждения нередко представляют собой лишь часть более общей модели поведения и мышления, зачастую приводящей к неверным выводам. За скорость приходится расплачиваться. Люди, склонные совершать такие логические скачки, часто выбирают невыигрышные варианты.

Для изучения мыслительных скачков мы исследовали стратегии принятия решения более чем у 600 человек из широких слоев населения. Поскольку подобный тип когнитивного искажения часто рассматривался у пациентов с шизофренией (поспешные умозаключения характерны для людей с этим заболеванием), мы использовали логическую игру, применяемую в этих исследованиях.

В игре участники встречались с персонажем, который ловил рыбу в одном из двух озер. В одном озере большая часть рыбы была красной,

а в другом — серой. Рыбак вылавливал по одной рыбе за раз и останавливался, когда игроки считали, что знают, на каком озере он рыбачит. Некоторые игроки принимали решение после того, как было выловлено уже много рыбы. Другие, склонные к логическим скачкам, останавливали рыбака после первой или второй рыбины.

Мы также задавали участникам вопросы, чтобы больше узнать об их образе мышления. Мы обнаружили, что чем меньше человек выжидал в игре с рыбаком, тем больше ошибок наблюдалось в его убеждениях, рассуждениях и решениях.

Например, чем раньше люди принимали решение в игре, тем с большей вероятностью они поддерживали теории заговора, такие как идея, что высадка американских астронавтов на Луну была фальсифицирована. Эти же люди с большей вероятностью верили в паранормальные явления и медицинские мифы вроде того, что медицинские чиновники активно скрывают связь между мобильными телефонами и раком.

Склонные к поспешным решениям люди совершали больше ошибок в задачах, требующих внимательного анализа. Рассмотрим задачу: «Бейсбольная бита и мяч вместе стоят один доллар и десять центов. Бита стоит на один доллар дороже мяча. Сколько стоит мяч?» Многие участники исследования решали, что ответ — десять центов, но, если немного поразмыслить, становится очевидно, что правильный ответ — пять центов.

В азартных играх участники, быстро принимавшие решения, чаще соблазнялись невыгодными ставками, а не теми, где у них было больше шансов выиграть. Например, они попадали в ловушку, сосредоточившись на том, сколько раз может выпасть выигрышный результат, а не на полном спектре возможных исходов.

Эти люди страдали также от чрезмерной самоуверенности: в тесте по гражданскому праву в США они значительно сильнее других участников переоценивали вероятность того, что их ответы были правильными, даже если на самом деле отвечали неверно.

Различия в качестве принятия решений между теми, кто склонен к логическим скачкам, и теми, кому это несвойственно, сохранялись даже после того, как мы сделали поправку на уровень интеллекта (на основе теста на вербальный интеллект) и личностные различия. Кроме того, мы показали, что различия не были просто результатом того, что склонные к скачкам люди торопились выполнить задание.

Так что же стоит за этими скачками мысли? Психологи выделяют два типа мышления: автоматическое, так называемую систему 1, — те идеи, которые приходят в голову легко, спонтанно и без усилий; и контролируемое, или систему 2, происходящее с участием сознания и требующее усилий, аналитическое, осознанное и взвешенное.

Мы использовали несколько способов оценки, были ли ответы наших участников автоматическими или они занимались сознательным анализом. Мы обнаружили, что и склонные, и не склонные к поспешным решениям люди были подвержены автоматическому мышлению (система 1) в одинаковой степени. Однако подверженные логическим скачкам люди в меньшей степени занимались контролируемым мышлением (система 2).

Именно система 2 помогает людям скорректировать ошибочные суждения и предрассудки, продуцируемые произвольной системой 1. Иначе говоря, склонные к скачкам мысли люди с большей вероятностью принимали выводы, сделанные с первого взгляда, без тщательного изучения и расспросов. И их сомнительные убеждения и ошибочные суждения были связаны с недостаточным использованием системы 2.

К счастью, мы можем надеяться на людей, склонных к подобным логическим скачкам: мы показали, что целенаправленная работа с такими когнитивными искажениями помогает мыслить более осознанно. В частности, на основе метакогнитивного тренинга — метода, используемого при шизофрении, — мы создали онлайн-версию методики для самостоятельных занятий. В процессе занятий участники сталкиваются с результатами собственных когнитивных искажений. Например, в рамках нашего подхода мы предлагаем людям

решать задачи, а когда из-за определенных когнитивных погрешностей они совершают ошибки, эти ошибки демонстрируются, чтобы участники могли понять, где сделали неверный шаг и как еще можно подойти к решению задачи. Это позволяет избавить людей от излишней самоуверенности.

Мы планируем продолжить работу, чтобы отследить другие проблемы, связанные со склонностью к поспешным решениям. Кроме того, нам интересно, обеспечивает ли это когнитивное искажение какие-то преимущества, которые позволили бы объяснить, почему оно столь распространено. В дальнейшем мы планируем также вернуться к исследованиям шизофрении. По некоторым данным, две трети людей с этим заболеванием, имею-

## **Бейсбольная бита и мяч вместе стоят один доллар и десять центов. Бита стоит на один доллар дороже мяча. Сколько стоит мяч? Подсказка: ответ — не десять центов, хотя многие люди дают этот ответ не задумываясь**

щие бред, проявляют склонность к мыслительным скачкам при решении простых абстрактных задач на вероятность, в то время как среди населения в целом к этому склонны лишь одна пятая людей.

Шизофрения — относительно редкое заболевание, и многое во взаимосвязи логических скачков и ошибочных решений до конца не ясно. Возможно, наша работа с обычными людьми поможет восполнить этот пробел и будет полезна и для людей с шизофренией.

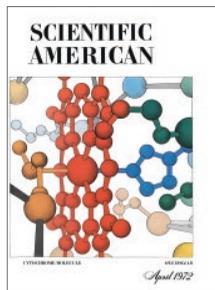
В повседневной жизни часто приходится решать, надо ли нам все обдумать или же руководствоваться интуицией. Недавние исследования показывают, что, даже собрав хотя бы чуть-чуть больше сведений, зачастую можно избежать серьезных ошибок. Иногда очень важно бывает решиться потратить еще немного времени, прежде чем сделать выбор. ■

**Перевод: М.С. Багоцкая**

### **ИЗ НАШИХ АРХИВОВ**

■ The Psychology of Preferences. Daniel Kahneman and Amos Tversky; January 1982.

АПРЕЛЬ 1972



Здесь может быть  
ваша реклама

Хотя назначение рекламы — продать товары, она также дает нам возможность получить представление о состоянии науки и техники в тот или иной момент времени. В 1872 г. на гребне популярности было лярдовое масло (свиной жир). В 1922 г. потребители горели желанием купить изделия из асбеста и логарифмические линейки. Что же через 100 лет люди будут думать о товарах, которыми мы стремимся обладать сегодня: о транспортных средствах, которые ездят только по земле, об одежде, которую необходимо стирать в воде, о персональных устройствах, которыми мы управляем, прикасаясь к ним пальцами?

АПРЕЛЬ 1922



АПРЕЛЬ 1872



**The Pinto Wagon.**  
**For people who'd like an economy car if it carried more. Or a wagon if it cost less.**

**It's a solid Ford Pinto.**  
Under the hood, you'll find a tough 1900cc overhead cam engine as standard equipment. The body is welded solid. Then electro-coated against corrosion. Then painted five more times. There's rack and pinion steering like on some expensive sports cars. In normal use, recommended maintenance is only every six thousand miles or every six months. So if it's economy you're after, you'll find plenty in this new Pinto.

**It's a convenient Ford Wagon.**  
You can get it on a base wagon (below), or with the Square option (above). It's only 10 inches or so longer than our Pinto Sedan, easy to handle and park. But put the rear seat down and you get over 60 cubic feet of cargo space. VW Squareback and Vega Kamback both give you about 50 cubic feet. The lift gate swings up out of the way. The spare tire has its own well under the floor. The rear seat passenger windows flip open for ventilation. In short, the Pinto Wagon gives you the kind of convenience and usefulness you'd expect from any Ford Wagon. Only it gives it to you in a basic little Pinto size.

**When you get back to basics, you get back to Ford.**

**FORD PINTO**  
FORD DIVISION

**8,000 Mile Cord Tires**

Brand new, absolutely first cord tires. Guaranteed 8,000 miles and adjusted at the list price on that guarantee. The prices below include a brand new United States Tube.

30x3	\$ 9.50	32x4	\$16.10	33x4 1/2	\$22.15
30x3 1/2	11.25	33x4	17.00	34x4 1/2	23.20
32x3 1/2	13.50	34x4	18.60	35x4 1/2	24.05
31x4	14.10	32x4 1/2	21.10	33x5	25.25

Send no money. Just write today and tell us the size of your tires and the number you want. Tires will be shipped C. O. D. with section unwrapped for inspection. All tires have non-skid tread.

**CHARLES TIRE CORP. Dept. 586 2824 Wabash Avenue, Chicago**

**Burning & Lubricating**  
**LARD**  
**OIL**  
**WORKS**  
**OF**  
**GEST & ATKINSON,**  
Eggleston Avenue & Fifth Street,  
CINCINNATI, OHIO.

MANUFACTURERS OF  
Lard & Grease Oils,  
Mineral Lamp Oil,  
Soybean Mineral Oil,  
Machinery Oil,  
Yellow Oil,  
Paraffine Oil,  
Head-Light Oil,  
W. Va. Oil,  
Sawmill Oil,  
COTTON WASTE OIL,  
CAR OILS,  
AND ALL KINDS OF  
Machinery Oils & Greases,  
For Milk Factories, Machine  
Shops and Railroads.  
Send for List and Prices.

**THE RADIO MAGNAVOX**  
**WORLD'S STANDARD LOUD-SPEAKER**

Reproduces radio music and messages for dancing, home entertainment, and even for dancing. Anyone can operate it, everyone can enjoy it. There is no substitute for the Radio MAGNAVOX. Sold by radio dealers. Write Dept. C for free illustrated folder.

**THE MAGNAVOX CO.**  
General Office - Oakland, California  
New York Office - 370 7th Avenue  
Please a res office nearest you

**OTIS KING SLIDE RULE**

**SLIDE RULE USERS**

**Does Your Slide Rule Provide Enough Accuracy?**  
Or must you check important calculations? Remarkable cylindrical slide rule gives accuracy you need. Scales 66" long give reliable results to 4 or even 5 figures. Has C, D, & 5-place Log scales, each over 6X longer than usual. Patented spiral construction packs 3 66" scales in easily read pocket size calculator. Only 6" closed, 10" open. Simple to use. Full instructions. Quickly learned. No seldom used scales getting in way. Ideal for lab or field. Lifetime chromed steel body can't warp or break. No fragile glass cursor. Precision crafted in England. Gives fast, precise answers. Stops errors.

**Why Not Solve Your Calculating Problems Today?**  
Satisfaction Guaranteed! Only \$24.95 ppd. U.S.

**ASBESTOS**

We are miners and shippers of Crude Asbestos in any quantity. We produce all grades at our world-famous BELL ASBESTOS MINES in Canada. We also card fibres, spin yarns, weave cloths, and manufacture a full line of Asbestos products.

For anything you want in Asbestos, turn to

**KEASBEY & MATTISON COMPANY**  
Dept. S-1  
AMBLER, PENNA., U. S. A.  
Owners of the world's largest Asbestos Mines

<b>Editor in Chief:</b>	Laura Helmuth	<b>Editors Emeriti:</b>	Mariette DiChristina, John Rennie
<b>Copy Director:</b>	Maria-Christina Keller	<b>Contributing Editors:</b>	Gareth Cook, Lydia Denworth, Ferris Jabr, Anna Kuchment, Robin Lloyd, Melinda Wenner Moyer, George Musser, Ricki L. Rusting
<b>Creative Director:</b>	Michael Mrak	<b>Art Contributors:</b>	Edward Bell, Zoë Christie, Lawrence R. Gendron, Nick Higgins
<b>Managing Editor:</b>	Curtis Brainard	<b>Art Director:</b>	Ryan Reid
<b>Chief Features Editor:</b>	Seth Fletcher	<b>Senior Graphics Editor:</b>	Jen Christiansen
<b>Chief News Editor:</b>	Dean Visser	<b>Acting President:</b>	Stephen Pincock
<b>Chief Opinion Editor:</b>	Megha Satyanarayana	<b>Executive Vice President:</b>	Michael Florek
<b>Senior Editors:</b>	Mark Fischetti, Josh Fischman, Clara Moskowitz, Madhusree Mukerjee, Jen Schwartz, Kate Wong	<b>Vice President, Commercial:</b>	Andrew Douglas
<b>Associate Editors:</b>	Gary Stix, Lee Billings, Sophie Bushwick, Andrea Thompson, Tanya Lewis, Sarah Lewin Frasier	<b>Publisher and Vice President:</b>	Jeremy A. Abbate

© 2022 by Scientific American, Inc.

## В мире науки

Оформить подписку на журнал «В мире науки» можно:

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

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

## Читайте в следующем номере

### Мир и COVID-19: подведение итогов и перспективы

В специальном репортаже, посвященном анализу эпохи пандемии коронавирусной инфекции, рассматриваются самые разнообразные аспекты воздействия COVID-19 на нашу жизнь. Политизация коронавируса; проблемы вакцинации; бум диагностики; переосмысление отношения к работе; усиление неравенства; обнаружение скрытых взаимосвязей в глобализованном мире... и многое другое.

### Квантовая природа миграции птиц

Перелетные птицы преодолевают огромные расстояния между местами размножения и зимовки. Новое исследование намекает на биофизические основы их внутренней навигационной системы.

### Спи как гений

Томас Эдисон придумал способ будить себя на пороге засыпания, чтобы повысить свой творческий потенциал. Исследования показывают, что его метод может сработать для всех нас.



### Сканирование космоса в поисках темной материи

Сигналы из космического пространства могут указать путь в скрытое царство Вселенной.

### Таинственные бабочки души

Сантьяго Рамон-и-Кахаль, открытие нейронов и истоки современной науки о мозге.



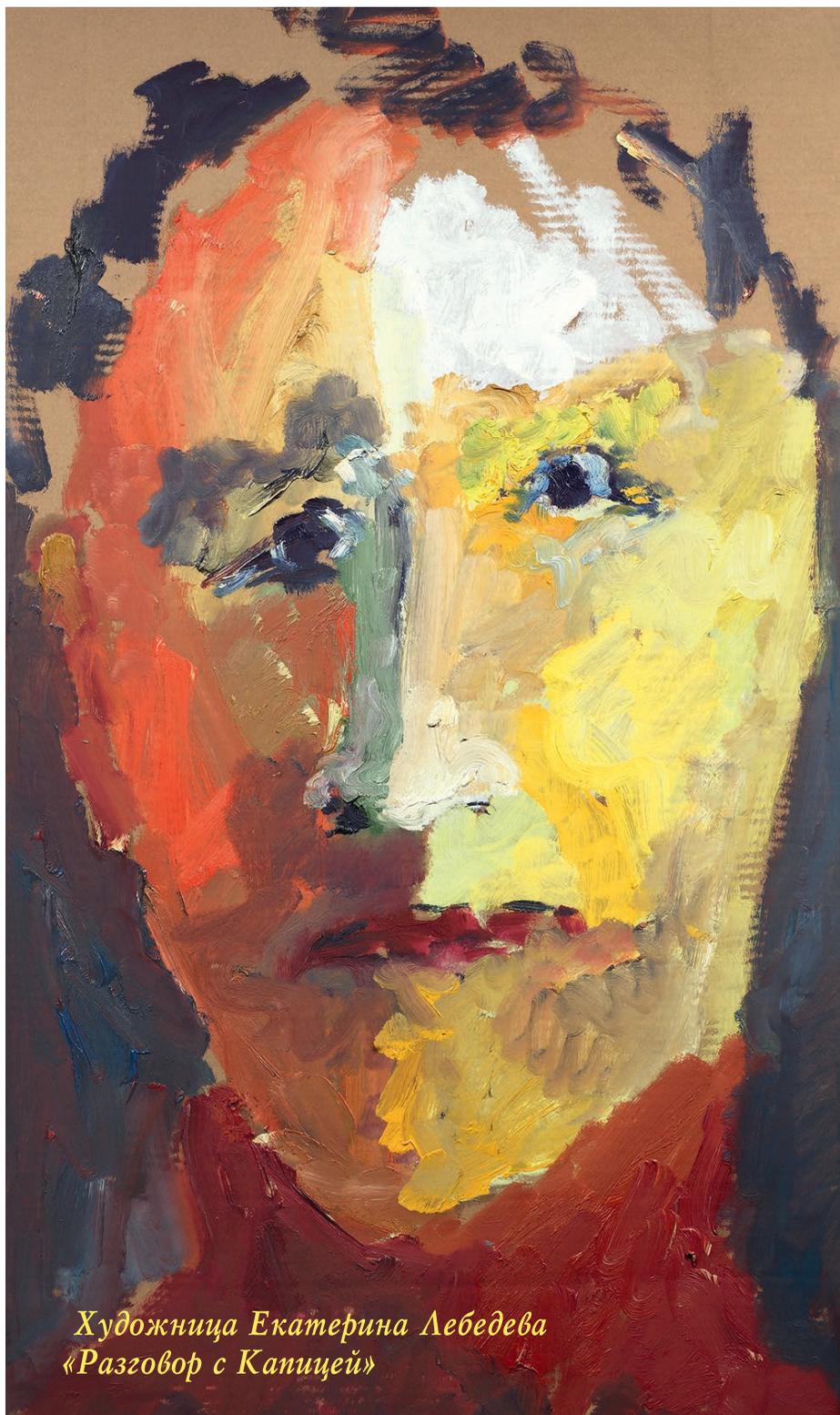
### Новая археология Иерусалима

Даже сейчас, когда библейская археология становится на высокотехнологичные рельсы, новое поколение ученых по-прежнему не может освободиться от диктата древних священных книг и современной политики.



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)