

В мире науки

SCIENTIFIC
AMERICAN

Ежемесячный
научно-информационный
журнал

www.sci.ru.org

3 2021

12+

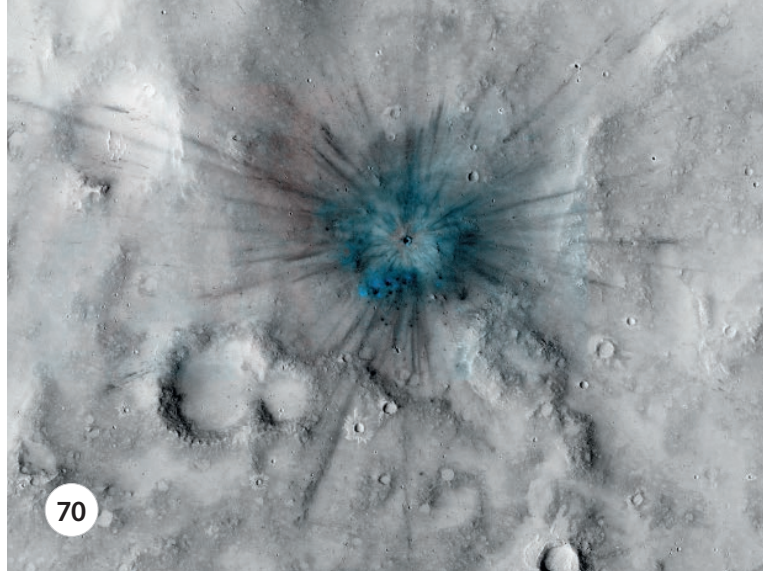
ДРЕВНИЕ ГАЛАКТИЧЕСКИЕ КЛАСТЕРЫ

РОССИЙСКАЯ НАУКА О СТРЕССЕ

ДИНО- ЗВЕЗДА

Ученые восстановили
реальный облик дилофозавра —
символа «Парка юрского
периода»





СОДЕРЖАНИЕ

Март 2021

Темы номера

ПАЛЕОНТОЛОГИЯ

Подлинный дилофозавр

Мэттью Браун и Адам Марш

Как показывает подробнейший анализ, один из главных героев «Парка юрского периода» сильно отличается от своего реального прототипа

МЕДИЦИНА

Неуязвимые

Наталья Лескова

Ведущие российские ученые отвечают на вопрос, существуют ли люди, от природы не подверженные инфекционным заболеваниям

Злостные читеры

Афина Актинис

Клетки любого организма находятся в постоянном взаимодействии, а когда оно нарушается, создаются предпосылки к развитию рака

Вирусы внутри нас

28

Дэвид Прайд

4 Человеческий мир состоит из триллионов вирусов. Одни из них вредны для организма, другие могут приносить пользу, если знать, как ими манипулировать

ЗДРАВООХРАНЕНИЕ

Истинное число смертей от COVID-19

36

Кристи Ашваден

14 Сторонники теории заговора уверяют, что количество смертей от COVID-19 преувеличено. Но есть данные, доказывающие, что в США от этого заболевания умерло более 250 тыс. человек



ФИЗИОЛОГИЯ

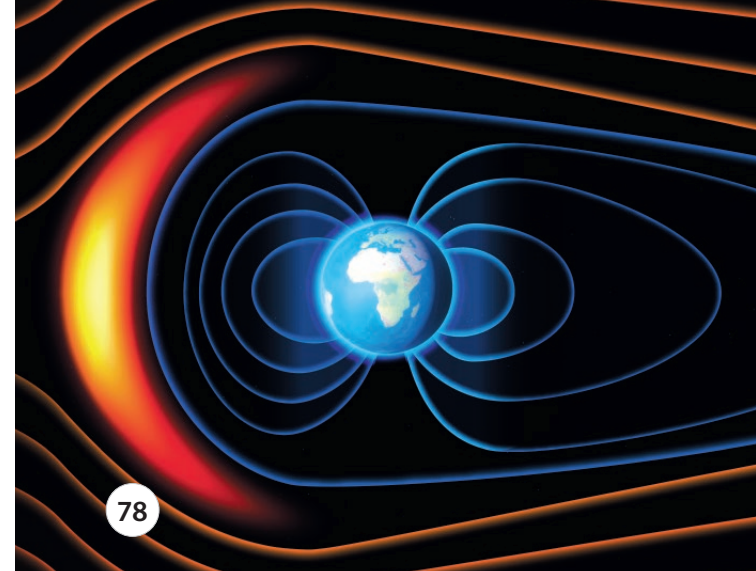
Жизнь, полная стресса

42

Елена Кокурина

Академик *Людмила Филаретова* — об истории и смысле понятия «стресс», о стрессоустойчивости и позитивном влиянии стресса





78



20

АСТРОНОМИЯ

Магия черных дыр

50

Янина Хужина

Об удивительных свойствах черных дыр и о роли астрономии в нашей жизни рассказывает академик

Анатолий Черепашук



Слишком велики для Вселенной

60

Арианна Лонг

Древние скопления галактик, похоже, росли так быстро, что должны были нарушить законы космоса

КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Активная планета

70

Клара Москович

В течение 15 лет «Марсианский орбитальный разведчик» (Mars Reconnaissance Orbiter) изменял наши представления о Красной планете

ГЕОФИЗИКА

По волнам жизни

78

Наталия Лескова

Об истории и исследованиях Геофизической обсерватории «Борок» Института физики Земли РАН рассказывает

ее директор **Сергей Анисимов**



ПРИРОДНЫЕ РЕСУРСЫ

Пик воды

86

Уолтер Иммерзил

Данные, полученные с самых высоких гор земного шара, показывают, что ситуация с водоснабжением 2 млрд человек меняется

ЭВОЛЮЦИЯ

Как птицы расправили крылья

96

Кейт Вонг

Современные птицы невероятно разнообразны. Недавнее исследование демонстрирует, каким образом пернатые достигли потрясающего эволюционного успеха

Разделы

От редакции

3

Наука в графиках

103

50, 100, 150 лет тому назад

104



96



60

В мире науки

SCIENTIFIC
AMERICAN

Наши партнеры:



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»



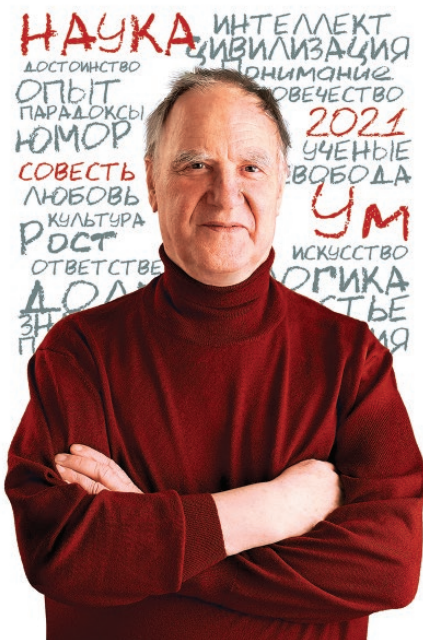
РОСАТОМ



Сибирское отделение РАН



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



ВЛАДИМИР ЕВГЕНЬЕВИЧ ФОРТОВ (23.01.1946 — 29.11.2020) —
главный редактор журнала «В мире науки» с 2012 г. по 2020 г.,
советский и российский физик, академик,
президент Российской академии наук с 2013 г. по 2017 г.

Учредитель и издатель:

Некоммерческое партнерство «Международное партнерство
распространения научных знаний»

Главный редактор:

В.Е. Фортвов

Главный научный консультант:

президент РАН акад. А.М. Сергеев

Ответственный секретарь:

О.Л. Беленицкая

Шеф-редактор иностранных материалов:

А.Ю. Мостинская

Выпускающий редактор иностранных материалов:

В.Д. Ардамацкая

Зав. отделом российских материалов:

О.Л. Беленицкая

Выпускающий редактор:

М.А. Янушкевич

Обозреватели:

В.С. Губарев, В.Ю. Чумаков

Администратор редакции:

З.Х. Мусина

Научные консультанты:

д.ф.-м.н. С.В. Анисимов; акад. Н.И. Брико; акад. В.В. Зверев; к.б.н. К.В. Крутовский;

к.ф.-м.н. В.Г. Сурдин; акад. Л.П. Филаретова; акад. А.М. Черепашук

Над номером работали:

М.С. Багоцкая, Е.В. Кокурина, А.П. Кузнецов, Н.Л. Лескова, А.И. Прокопенко, В.И. Сидорова,
Я.Р. Хужина, Н.Н. Шафрановская, А.В. Щеглов

Дизайнер:

Д.А. Гранков

Верстка:

А.Р. Гукасян

Корректора:

М.А. Янушкевич

Фотографы:

Н.Н. Малахин, Н.А. Мохначев

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

В.Е. Фортвов

Директор НП «Международное партнерство распространения научных знаний»:

А.Ш. Геворгян

Заместитель директора НП «Международное партнерство распространения научных знаний»:

В.К. Малахина

Финансовый директор:

Л.И. Гапоненко

Главный бухгалтер:

Ю.В. Калинкина

Адрес редакции:

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

Иллюстрации предоставлены Scientific American, Inc.

Отпечатано:

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

Заказ № 0378

© 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.



Как работает наука

В 2020 г. мы узнали об иммунной системе больше, чем за любой другой год в истории. Ученые всего мира работают, чтобы понять структуру вируса *COVID-19*, как он распространяется и что делает с организмом, как иммунная система человека реагирует на новый вирус и как эти знания могут привести к новым методам лечения. Однако есть люди, которые по каким-то причинам не заражаются коронавирусом. Почему это происходит? Можно ли объяснить этот феномен с научной точки зрения? И нельзя ли использовать это свойство для борьбы против новых опасных вирусов? На эти и многие другие вопросы отвечают вирусологи — академики В.В. Зверев и Н.И. Брико — и специалист в области генетики профессор К.В. Крутовский в материале под названием «Неуязвимые».

В истекшем году миллионам людей пришлось в корне изменить привычный образ жизни, чтобы не контактировать с другими людьми, избегая заражения новым коронавирусом. Но, даже придерживаясь норм социального дистанцирования, многие заболели вследствие активации других вирусов, которые притаились в клетках легких, в крови, нервах и внутри бесчисленных микробов, населяющих наш кишечник. Человеческий виром состоит из триллионов вирусов. Одни из них вредны для организма, другие могут приносить пользу, если знать, как ими манипулировать. Подробнее — в статье «Вирусы внутри нас».

Один из самых интригующих этапов научного процесса — увидеть что-то странное,

необычное. Астрономы, использующие новые инструменты для наблюдения за областями космоса, скрытыми от нас пылью, заметили, что скопления галактик формировались намного быстрее, чем ожидалось, и что они, по видимому, слишком велики для нашей Вселенной. Автор статьи «Слишком велики для Вселенной» размышляет, не придется ли пересмотреть в связи с этим открытием временную шкалу ранней Вселенной.

Астрофизика находится на переднем крае таких исследований, а черные дыры как раз и есть то странное и загадочное, что сейчас активно изучают ученые. Об удивительных свойствах черных дыр и о роли астрономии в нашей жизни рассказывает известный астрофизик академик А.М. Черепашук в интервью, озаглавленном «Магия черных дыр».

Загадки таятся не только в глубинах космоса, но и в далеком прошлом. Одни из самых невероятных существ, исчезновение которых до сих пор волнует ученых, — динозавры. Мы живем в великую эпоху находок их останков. Авторы статьи «Подлинный дилофозавр» рассказывают, как много мы узнали об одном из динозавров с тех пор, как он появился в фильме «Парк юрского периода» в 1993 г. Пусть палеонтология — менее эффективное занятие, чем ее изображение в кинофильмах, но реконструировать облик и среду обитания динозавра возрастом 183 млн лет, выяснить его привычки — это под силу только науке. ■

Редакция журнала «В мире науки / Scientific American»



ПАЛЕОНТОЛОГИЯ

ПОДЛИННЫЙ ДИЛОФОЗАВР

Как показывает подробнейший палеонтологический анализ, один из главных героев «Парка юрского периода» сильно отличается от своего реального прототипа

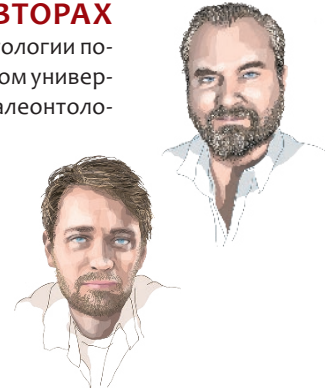
Мэттью Браун и Адам Марш



ОБ АВТОРАХ

Мэттью Браун (Matthew A. Brown) — директор Техасского музея палеонтологии позвоночных; читает курс лабораторной и музейной палеонтологии в Техасском университете в Остине. Изучает музейную практику палеонтологии и значение палеонтологических коллекций как источника научных данных.

Адам Марш (Adam D. Marsh) — ведущий палеонтолог Национального парка Петрифайд-Форест и научный сотрудник Техасского музея палеонтологии позвоночных и Музея Северной Аризоны. Круг его научных интересов включает палеонтологию позвоночных, стратиграфию и геохронологию раннемезозойских осадочных пород.



Близился вечер, а заходящее солнце по-прежнему продолжало обжигать нам спины. Из последних сил мы вонзали в грунт лопаты и разгребали песок голыми руками. Мы трудились почти в самом центре плато Колорадо на севере штата Аризона, где раскинулась страна индейского народа навахо. Целью нашей работы в этом пустынном краю было определение возраста горной породы, из которой ранее были извлечены два скелета дилофозавра (*Dilophosaurus wetherilli*). Весь тот жаркий июньский день мы провели на ногах, перемещаясь с одной пустоши на другую и набивая свои рюкзаки геологическими образцами. И вот теперь мы пытались вытащить из песка наш грузовик, застрявший в дюнах по самые оси.

Жизнь скитающегося по всему свету палеонтолога представляет собой сплошную рутину — подачу заявок, получение разрешений, стирку, мытье посуды, просмотр дневных записей при свете лагерного костра и т.д. и т.п. И такая жизнь не имеет ничего общего с приключениями киногероев в исполнении Индианы Джонса или Алана Гранта.

Летом 1993 г. в когорту главных героев мирового кинематографа неожиданно ворвались динозавры и палеонтологи. Фильм «Парк юрского периода», снятый по вышедшему в 1990 г. одноименному роману Майкла Крайтона, в мгновение ока превратил в суперзвезд несколько малоизвестных видов этих древних рептилий. В лексиконе рядовых людей прочно укоренились такие названия, как «тираннозавр», «трицератопс», «велоцираптор» и «дилофозавр». Динозавры, фигурирующие в боевиках, обычно сильно отличаются от их реальных прототипов, воссоздаваемых

учеными по ископаемым останкам. Но одна из особенностей франшизы «Парка юрского периода», принесшая ей колоссальный успех (она побила все рекорды кассовых сборов в 1993 г., а летом 2002 г. вновь возглавила чарты прокатов), как раз и состояла в достоверном отражении реального состояния дел в палеонтологии и генетике. Крайтон и режиссер Стивен Спилберг впервые познакомили зрителей с подлинной наукой о динозаврах и изобразили этих животных как энергичных и умных существ, какими они и были на самом деле.

Конечно, чтобы сделать фильм более увлекательным, Крайтон и Спилберг позволили себе известную художественную вольность, драматизировав образы не только ученых, но и динозавров. Существом, наиболее сильно оторвавшимся от реальных ископаемых свидетельств, оказался дилофозавр. В фильме этот динозавр изображен в виде животного размером с золотистого ретривера, которое наводило

ужас на программиста Денниса Недри широким развевающимся «воротником» вокруг шеи и в конце концов убило ученого ядовитым плевком. А каким был дилофозавр на самом деле?

Сразу оговоримся: когда этот динозавр проник в поп-культуру, четкого представления о его облике и биологии у ученых не было. Но за три истекших с того времени десятилетия палеонтологи обнаружили несколько новых ископаемых образцов этого существа и подвергли все найденные окаменелости всестороннему анализу с помощью сложнейших современных методов. В результате в мельчайших деталях были реконструированы не только внешний вид дилофозавра, но и его поведение и образ жизни. И, судя по всему, реальный дилофозавр мало походил на свой голливудский аналог. Добавим также, что благодаря этой работе дилофозавр стал самым изученным из всех динозавров раннего юрского периода.

Рождение звезды

Сегодня мы знаем, что дилофозавр (*Dilophosaurus*) был двуногим плотоядным существом длиной более 6 м, по темени которого тянулись два параллельных тонкокостных гребня (в переводе с греческого «дилофозавр» и означает «ящер с двумя гребнями»). Но в 1954 г., когда это животное впервые было упомянуто в научной литературе, оно носило совсем другое название. Палеонтолог из Калифорнийского университета в Беркли Сэмюэл Уэллс (Samuel Welles) опубликовал серию статей с описанием двух скелетов, найденных Джессом Уильямсом (Jesse Williams) — индейцем навахо, проживавшим неподалеку от городка Туба-Сити в штате Аризона. Поскольку никаких выступов, напоминающих гребни, на найденных обломках костей обнаружено не было, Уэллс назвал существо *Megalosaurus wetherilli*, полагая, что это представитель некоего нового вида, принадлежавшего к уже известному в то время роду *Megalosaurus*. Но в 1964 г. Уэллс нашел еще один ископаемый экземпляр этого динозавра, у которого хорошо сохранилась верхняя часть черепа с двумя гребнями. Ученый понял, что найденное существо относится к известному до той поры роду динозавров, а потому присвоил ему новое название — *Dilophosaurus wetherilli*.

Внешний облик дилофозавра из «Парка юрского периода» в общих чертах был основан на анатомическом описании динозавра, сделанном Уэллсом в 1984 г., реконструкциях его скелета в музейных экспозициях и рисунках палеонтолога Грегори Пола (Gregory Paul) в вышедшей в 1988 г. книге «Хищные динозавры

планеты» (*Predatory Dinosaurs of the World*). Но несколькими ключевыми признаками голливудский дилофозавр все-таки отличался от своего реального древнего прототипа. Во-первых, в фильме дилофозавр в два раза меньше подлинного животного. Создатели фильма уменьшили его намеренно, чтобы избежать путаницы с другим хищным двуногим динозавром — велоцираптором.

Во-вторых, отличительные признаки кинематографического дилофозавра — ядовитая слюна и широкая кожная перепонка вокруг шеи — также были плодом фантазии авторов фильма, добавленным к образу хищника для пушного драматизма. Но все эти «придумки» напоминают биологические приспособления у ряда реальных животных, а потому выглядят они вполне правдоподобно. Описывая ископаемые останки дилофозавра, Уэллс отмечает, что кости и суставы на конце его морды были «довольно слабыми», и предполагает в этой связи, что их обладатель, вероятно, питался падалью или убивал своих жертв мощными когтями на передних и задних лапах. Смертельное оружие в виде ядовитых плевков Крайтон подсмотрел для своего романа у некоторых современных видов кобр, которые на самом деле способны выбрасывать изо рта ядовитую слюну на расстояние около 2 м. А растопыриваемый вокруг шеи дилофозавра «воротник» Крайтон позаимствовал у плащеносной ящерицы, обитающей сегодня в Австралии и Новой Гвинее. У этой рептилии шейную складку кожи поддерживает сложная система костей и хрящей. Однако никаких аналогов подобной структуры в окаменелостях дилофозавра не найдено.

В основе некоторых эпизодов «Парка юрского периода» лежат последние по тем временам научные открытия. В начале 1980-х гг. палеонтологи мало-помалу начали приходить к консенсусу, что современные птицы произошли от динозавров и, по сути дела, представляют собой последнюю сохранившуюся до наших дней линию этих рептилий. Чтобы сделать движения животных более похожими на птичьи, создатели фильма полностью отказались по совету своего научного консультанта палеонтолога Джека Хорнера (Jack Horner) от первоначальных тестовых анимаций, где велоцирапторы извивались наподобие змей. Поскольку динозавры в «Парке юрского периода» были изображены как проворные и смысленные животные, а не медлительные, напоминавшие полусонных рептилий существа, какими их представляли себе ученые XIX в., можно полагать, что этот фильм впервые заронил в умы рядовых людей подозрение о возможном родстве между птицами и динозаврами.

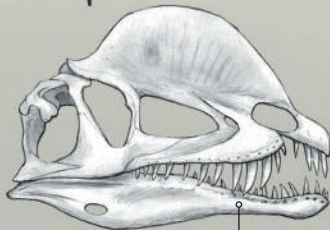
Параллельные гребни на голове содержали воздушные мешки, а снаружи были покрыты кератином. Гребни, вероятно, помогли дилофозаврам распознавать сородичей и привлекать партнеров.

Портрет хищника

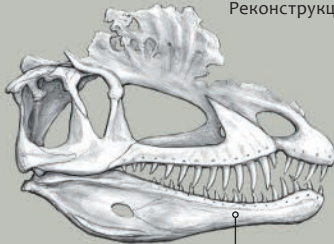
По мнению первых исследователей дилофозавра, это животное обладало слабыми челюстями, а потому, вероятно, питалось падалью или убивало добычу с помощью сильных когтей. Новый анализ всех известных окаменелостей этого динозавра указывает на то, что он был мощным кровожадным суперхищником. Он развивал огромную силу укуса и, несмотря на крупные размеры, отличался быстротой и проворством. Дилофозавр даже охотился на других динозавров и занимал самый верх пищевой пирамиды.



Полости позвонков были заполнены выростами дыхательной системы — мясистыми воздушными мешками, облегчавшими и укреплявшими скелет. Воздушные мешки обеспечивали односторонний ток воздуха, связанный с более высокой скоростью метаболизма и уровнем активности.



Реконструкция 1984 г.



Современная реконструкция

Эволюция представлений

Согласно современным представлениям, передняя часть морды и нижняя челюсть у дилофозавра были гораздо массивнее и сильнее, чем считалось прежде, а значит, позволяли динозавру наносить смертельные укусы жертвам. Окаменелости верхней части гребней не сохранились, а потому эти структуры могли быть крупнее, чем показаны на рисунках.

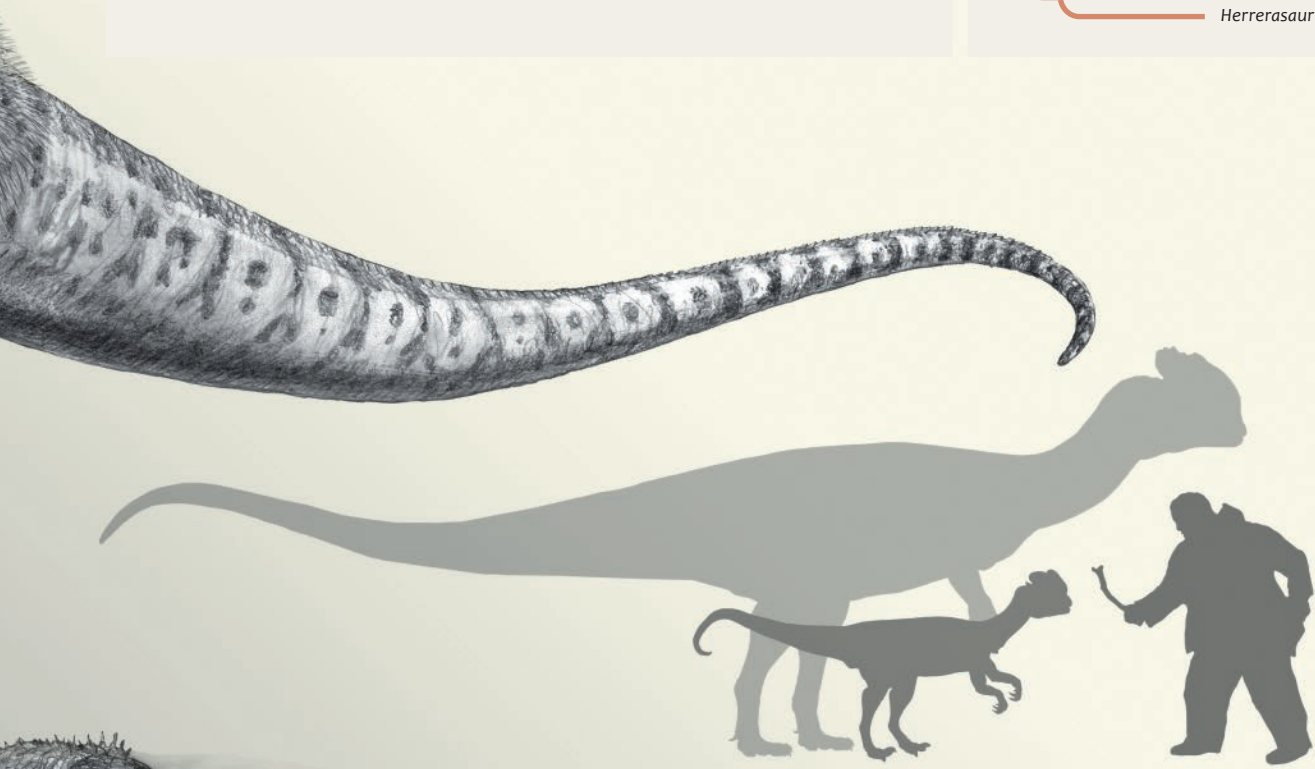
Длинные мускулистые задние ноги и мощные передние конечности с цепкими когтями помогли дилофозавру ловить и убивать добычу.



Новая родословная

Вопрос о родственных узлах дилофозавра с другими динозаврами мучит палеонтологов уже несколько десятилетий. Предшествующие исследования показали, что его ближайшими родственниками были целофизоиды **A**, цератозавры **B** или некие другие тероподы с гребнями на голове **C**. Сэмюэл Уэллс, опубликовавший первое описание окаменелостей дилофозавра, предположил, что эти кости могли даже принадлежать представителям нескольких родов динозавров. Последний,

наиболее обстоятельный анализ анатомических признаков дилофозавра показывает, что все найденные окаменелости принадлежат одному и тому же виду. Сравнение его признаков с характеристиками других динозавров из разных частей света свидетельствует о том, что дилофозавр был теснее всего связан с крупными тероподами юрского периода **D**. Но большой эволюционный разрыв между этими двумя группами динозавров означает, что ближайшие родственники дилофозавра пока не обнаружены.



Фантазия и реальность

Как показывают окаменелости, настоящий дилофозавр был гораздо крупнее своего голливудского аналога: его высота составляла около 2,5 м, а длина тела — примерно 8 м. Нет никаких свидетельств и того, что реальный дилофозавр, подобно голливудскому, плевался ядовитой слюной, а вокруг его шеи расправлялся широкий кожаный «воротник».

SOURCE: "A COMPREHENSIVE ANATOMICAL AND PHYLOGENETIC EVALUATION OF DILOPHOSAURUS WETHERILLI (DINOSAURIA, THEROPODA) WITH DESCRIPTIONS OF NEW SPECIMENS FROM THE KAIVENTA FORMATION OF NORTHERN ARIZONA," BY ADAM D. MARSH AND TIMOTHY B. ROWE, IN JOURNAL OF PALEONTOLOGY, VOL. 94, JULY 2020 (family trees); Illustrations by Brian Engh (reconstructions) and Daisy Chung (family trees)

Новые представления

По истечении многих лет после выхода «Парка юрского периода» научное понимание природы дилофозавра претерпело серьезное изменение. Еще перед публикацией романа Майкла Крайтона и выходом в свет фильма наука палеонтология подверглась радикальному преобразованию. Достижения в области компьютерной техники революционизировали процесс изучения окаменелостей, позволив исследователям обрабатывать огромные массивы данных, что во времена открытия дилофозавра казалось просто невыполнимым. Возьмем, например, кластический анализ, предполагающий идентификацию дискретных наследуемых анатомических признаков, которые могут использоваться для сравнения животных и обеспечить статистическую основу для проверки гипотез об их возможных родственных связях. В наши дни ученые могут анализировать гораздо большее число таких характеристик и делать это гораздо быстрее, чем прежде,

и благодаря этому выдвигать более обоснованные гипотезы о родственных узлах и н о з а в р о в и их эволюции. А прогресс в областях компьютерных технологий и медицинской и промышленной компьютерной томографии открыл возможность изучать внутреннюю структуру костей и минералов, не нарушая их целостности.

Усовершенствование претерпели не только доступные палеонтологам аналитические инструменты — изменились и методы их работы. В 1998 г. группы ученых из Техасского университета в Остине возобновили раскопки с целью обнаружить новые окаменелости дилофозавра в том же регионе Северной Аризоны, где были найдены первые кости этого динозавра. Ведь каждая новая ископаемая находка может подтвердить или опровергнуть существующие представления о давным-давно исчезнувших организмах. В нашем случае вновь найденные окаменелости представляли собой как раз те части тела дилофозавра, которые отсутствовали или были сильно деформированы в ранее обнаруженных образцах.

Окаменелости, извлеченные из горной породы, палеонтологи обычно обматывают

гипсовыми бинтами и другими материалами, чтобы защитить их от повреждения во время путешествия от места раскопок до лаборатории. Здесь ученые освобождают их от защитных гипсовых оболочек, а затем с помощью игл, миниатюрных зубил, бормашин и других инструментов осторожно счищают с них под лупой или микроскопом остатки горной породы. Затем кости укрепляют жидкими пластмассами, а сломанные фрагменты склеивают и реконструируют, иногда просто по образу и подобию аналогичных костей близкородственных животных.

Когда в 1950 г. Уэнн Лэнгстон (Wann Langston) и его сотрудники реконструировали первый скелет дилофозавра в Калифорнийском университете в Беркли, они восполнили недостающие части его черепа слепками, сделанными с более хорошо сохранившегося черепа другого хищного динозавра юрского периода, а отсутствующие части таза просто вылепили из гипса.

На самом деле никто не имел ни малейшего представления, как в действительности выглядели недостающие части; по сути дела, все эти реконструкции представляли собой лишь гипотетические варианты реального облика дилофозавра, который мог быть воссоздан лишь на основании новых ископаемых находок.

Окаменелости дилофозавра, обнаруженные спустя многие годы после его первого описания Уэллсом и реконструкций Лэнгстона, свидетельствуют о том, что морда и нижняя челюсть этого существа были гораздо массивнее, чем считалось первоначально, а череп обладал достаточными силой и прочностью, чтобы его обладателем мог нанести жертве смертельный укус. Кроме того, на нижней челюсти дилофозавра недавно были выявлены крупные гребни для прикрепления мышц. У современных рептилий такие гребни увеличивают площадь костной поверхности, служащей для прикрепления крупных мышц. А на скелете другого динозавра, травоядного саразавра (*Sarhsaurus*), также найденного на месте раскопок неподалеку от Остина, были обнаружены отметины от укусов,



Все известные окаменелости дилофозавра были найдены в двух местах северной части современного штата Аризона и датируются ранним юрским периодом, когда начал раскалываться суперконтинент Пангея

свидетельствующие о присутствии в этом регионе какого-то крупного хищника, чьи челюсти были достаточно сильными для того, чтобы прокусить кость. Подобные факты наводят на мысль о том, что дилофозавр был мощным хищником со смертельным укусом, а отнюдь не малосильным существом, вынужденным подьедать падаль или убивать добычу когтями, как полагал Уэллс.

Кроме того, для своего времени дилофозавр был крупным динозавром. Большинство динозавров позднего триасового периода, обитавшие на западе Северной Америки всего на 20 млн лет раньше, были не крупнее индейки или орла; высота же стоящего на двух ногах взрослого дилофозавра составляла около 2,5 м, а длина его тела — примерно 8 м. Его передние конечности были гораздо длиннее и сильнее, чем у других крупных плотоядных динозавров, таких, например, как аллозавр или цератозавр; относительно длиннее были и его задние ноги. Когда были найдены первые скелеты дилофозавра, ученые приняли этот вид за близкого родственника так называемых карнозавров — аллозавра и стрептоспондила, а потому недостающие части таза они реконструировали по образу и подобию костей этих животных. Но судя по найденному позднее более хорошо сохранившемуся скелету дилофозавра, по строению таза он занимал промежуточное положение между целофизом, жившим в позднем триасе, и аллозавром из позднего юрского периода.

Как у многих ранних динозавров и всех современных птиц, у дилофозавра имелись воздушные карманы — особые выросты дыхательной системы, которые придавали дополнительную прочность скелету и одновременно облегчали вес тела. Такие воздушные мешки обеспечивали обдувание легких непрерывным потоком свежего воздуха, что позволяло им извлекать из него кислород гораздо быстрее и эффективнее, чем это делают легкие современных млекопитающих. Животные с таким типом дыхания (современные птицы и крокодилы), как правило, отличаются высокой скоростью метаболизма и высоким уровнем активности, а потому дилофозавр, вероятно, был быстрым и проворным охотником.

Как показала компьютерная томография, у дилофозавра воздушные мешки присутствовали также в костях, окружавших головной мозг, и соединялись с околоносовыми пазухами (синусами) в передней части черепа. У большинства плотоядных динозавров костный гребень представляет собой своего рода «крышу» над отверстием в черепе впереди глазниц, называемым предглазничным окном.

Но у дилофозавра данное отверстие заходило в боковые стенки уникальных гребней на голове динозавра, что наводит на мысль о присутствии воздушных мешков и в этих гребнях. Скорее всего, черепные гребни были покрыты кератином — тем же самым материалом, из которого состоят рога, когти и волосистой покров животных, — и, вероятно, помогали дилофозаврам распознавать сородичей и привлекать половых партнеров. Но какую роль играли воздушные мешки в осуществлении этих функций, пока остается загадкой.

Одна из задач изучения эволюционной истории любого вида живых существ — понимание природы морфологических различий внутри таксономических групп и между ними. Уэллс считал, что различные скелеты, которые сегодня квалифицируются нами как скелеты дилофозавра, на самом деле принадлежали представителям нескольких родов динозавров. Воспользовавшись новейшими методами кладистического анализа, один из авторов этой статьи (Адам Марш) проверил данную гипотезу, сравнив сотни анатомических признаков, присущих каждому из этих скелетов. Результаты проведенного анализа показали, что, вопреки предположениям Уэллса, все эти животные обладали таким большим сходством, что наверняка относились не только к одному и тому же роду, но и к одному и тому же виду динозавров.

Кроме того, Марш включил все анатомические характеристики в гораздо более обширную базу данных, созданную для сравнения скелетов дилофозавра с другими окаменелостями из разных частей света. Она позволит прояснить раннюю эволюционную историю и биогеографическое распределение различных групп динозавров и более точно определить положение дилофозавра на древе жизни. Сегодня мы прекрасно понимаем, насколько велик эволюционный разрыв между дилофозавром и его известными науке ближайшими сородичами, а это значит, что еще не обнаружены динозавры, состоявшие с дилофозавром в еще более близком родстве.

Мир дилофозавра

Чем лучше мы узнавали дилофозавра, тем полнее понимали мир, в котором он жил. Спуск со скалы Адеи-Эйчи в карьер дилофозавров можно сравнить с путешествием во времени на 183 млн лет назад в ранний юрский период. В ту далекую эпоху динозавры бродили по мягкому грунту, некогда покрывавшему современное плато Колорадо, и оставляли в нем отпечатки лап, которые за миллионы лет превратились в окаменелости. Поскольку

асфальтированное шоссе заканчивается в нескольких милях от карьера, нам приходится добираться до места раскопок по пыльной и неровной грунтовке, пересекающей бескрайнее море песчаных дюн. В 2014 г. в песке напрочь застряли наши экспедиционные пикапы. Под современными песчаными дюнами покоится Песчаник навахо, который 180 млн лет назад представлял собой гигантскую пустыню. Красноватые каменные пустыши Уорд-Террас (так сегодня называется это место) простираются к западу до самого горизонта, где к небу вздымаются более молодые горы: к северу от города Флагстаффа, штат Аризона, находится вулканический горный массив Сан-Франциско-Пикс, а дальше к северо-западу — устье Большого каньона, одного из самых посещаемых в мире геологических объектов.

В горных породах этой местности, простирающейся от песков пустыши Уорд-Террас, где застрял наш пикап, до черной сланцевой скалы Вишну на дне Большого каньона, погребены бесчисленные окаменелости живых существ,

Сегодня дилофозавр — наиболее полно изученный динозавр планеты раннего юрского периода

обитавших здесь на протяжении последних 1,8 млрд лет. Будучи истинными палеонтологами, мы хотим понять, как эволюционировали эти существа, и с помощью сохранившихся до наших дней геологических и биологических свидетельств реконструировать окружавший их мир.

Одной из наших целей было более точное определение возраста горной породы под названием «кайентская формация», в которой и был найден дилофозавр. Порода образовалась из вулканического пепла и мелких частиц грунта, смытых в реки, озера и ручьи и осевших там на дно. Пепел помог костям дилофозавра сохраниться до наших дней, а ученые с его помощью могут установить возраст кайентской формации радиометрическими методами. Для этого мы собрали новые образцы горной породы и измельчили их для извлечения кристаллов циркона, которые могли содержать нестабильные изотопы урана. При распаде изотопа урана образуется свинец, и когда мы испаряем кристаллы с помощью лазера и анализируем их состав масс-спектрометром, измерение относительного количества урана и свинца позволяет нам судить о времени

образования слоя породы. В месте обнаружения останков наших дилофозавров это произошло примерно 183 млн лет назад или на несколько миллионов лет раньше или позже.

Таким образом, дилофозавры жили в раннем юрском периоде, примерно на 5–15 млн лет позднее массового вымирания видов в конце триаса, когда с лица планеты исчезло более трех четвертей всех форм жизни. Среди них были и крупные рептилии, конкурировавшие за пищевые ресурсы с ранними динозаврами. Не исключено, что массовое вымирание видов было вызвано расколом суперконтинента Пангея и бурными процессами, сопровождавшими формирование северной части Атлантического океана. На протяжении позднего триасового и раннего юрского периода Северо-Американская тектоническая плита перемещалась в северном направлении из субтропического климатического пояса в засушливый климатический пояс, а потому области, где обитали дилофозавры, тоже переместились к северу — с широт, где сегодня расположена Коста-Рика, на широты северной части современной Мексики. Таким образом, среда, где сформировалась кайентская формация, представляла собой песчаную засушливую местность с вкраплениями более влажных ландшафтов, изобиловавших животными.

Окаменелости других организмов, найденные в кайентской формации, отчетливо указывают на положение дилофозавра в этой экосистеме. Он был суперхищником в речных оазисах — небольших массивах хвойной растительности по берегам водных магистралей среди моря песка. Один из экземпляров дилофозавра, находящийся сегодня в Техасском университете в Остине, был обнаружен в том же самом карьере, что и два экземпляра длинношеего травоядного саразавра. По соседству с этими животными жили также небольшие хищные мегапозавры (*Megapnosaurus*) и маленькие, защищенные прочной броней skutеллозавры (*Scutellosaurus*). Но наиболее часто палеонтологи обнаруживали в кайентской формации окаменелости древнейшей черепахи кайентахелиса (*Kayentachelys*), плававшей в пресных водах бок о бок с целакантовыми и двоякодышащими рыбами. Вполне возможно, что добычу дилофозавра составляли и такие родственники ранних млекопитающих, как похожие на бобров тритилодонтиды и напоминавшие крыс морганукодонтиды.

Важная работа

В одном из эпизодов «Парка юрского периода», посвященном палеонтологическим раскопкам, ученые извлекают из горной породы полный

скелет велоцираптора после нескольких легких касаний чистящей щетки. В реальной жизни ископаемые останки динозавров предстают перед исследователями в виде сильно деформированных, едва узнаваемых фрагментов. Изредка попадаются и почти целые кости. Когда минувшим летом появилась публикация Марша с обстоятельным анатомическим описанием дилофозавра, этот динозавр стал наиболее полно изученным ящером раннего юрского периода всего мира. Но на поиски дополнительных фрагментов, которые должны были восполнить пробелы в анатомии этого животного, ушли десятилетия. И для идентификации найденных костей потребовалось несколько поколений палеонтологов.

В значительной мере подобную работу облегчают музеи. У обычных людей музеи ассоциируются с ярко освещенными экспозициями редких предметов, но основная функция любого музея естественной истории — изучение природного мира планеты. С этой целью музеи и создают огромные коллекции образцов, служащие наглядным свидетельством их научной деятельности. Многочисленные группы специально обученных хранителей, архивистов и менеджеров тщательно документируют и хранят собранные образцы, чтобы их коллекциями могли пользоваться будущие поколения ученых. Повторяемость — ключевой принцип любого научного исследования; выводы, сделанные одними учеными, должны быть в состоянии подтвердить другие исследователи. В палеонтологии это означает, что окаменелости должны храниться в музеях, чтобы будущие поколения специалистов всегда могли обратиться к этим образцам и проверить выводы, сделанные ранее в их отношении.

Представители народа навахо охотно сотрудничают с палеонтологическими музеями, которые не только заботятся о сохранности ископаемых костей, но и ведут подробную документацию всех связанных с ними фактов и событий. В 2015 г., во время нашего посещения места первой находки дилофозавра, нам повезло встретиться Джона Уилли (John Willie), одного из родственников Джесси Уильямса — индейца-навахо, который в 1940 г. впервые и обнаружил окаменелости этого животного. Уилли проводил нас до места раскопок и объяснил нам, насколько важны природные ресурсы этой местности для людей навахо. Край навахо — одно из немногих мест на планете, где можно увидеть обнажения горных пород мезозойской эры, и Департамент полезных ископаемых народа навахо активно содействует научным исследованиям

в этом регионе, выдавая разрешения на проведение здесь полевых работ и поиск окаменелостей.

Научное знание возникает в результате развития и переоценки существующих представлений, а порой и полного их опровержения. Иногда научная информация, добытая ценой невероятных усилий, просачивается в поп-культуру. Палеонтология имеет тесные и давние связи с кинематографом. История создания фильма «Динозавр Герти» (1914) начинается с посещения его создателем, мультипликатором Уинзором Маккеем, и несколькими его друзьями Американского музея естественной истории, где они увидели скелет динозавра зауропода. Маккей поспорил с приятелями, что способен оживить ящера; в результате на экране появляется первый в истории мультипликационный динозавр. Во время работы над Герти Маккей не раз консультировался с музейными палеонтологами. Много позже первооткрыватель тираннозавра Барнум Браун (Barnum Brown) давал профессиональные советы Уолту Диснею, когда тот работал над своим знаменитым мультфильмом «Фантазия» (1940). А киностудия, породившая в 1954 г. Годзиллу, при создании этого монстра черпала вдохновение в образах динозавров, запечатленных на фреске художника Рудольфа Цаллингера (Rudolph Zallinger) под названием «Эпоха рептилий» в Музее естественной истории Пибоди при Йельском университете. И все мы с нетерпением ждем палеонтологических чудес в шестой части франшизы «Парк юрского периода», которую авторы обещают нам показать в 2022 г. ■

Перевод: А.В. Щеглов

Примечание авторов статьи. Все полевые работы на территории края навахо проводились с разрешения Департамента полезных ископаемых народа навахо. Лица, желающие проводить геологические изыскания на территории края навахо, должны сначала подать заявку и получить разрешение на проведение работ от департамента полезных ископаемых по адресу: P.O. Box 1910, Window Rock, Arizona 86515 (тел.: 928-871-6587).

ИЗ НАШИХ АРХИВОВ

■ Брюсатт С. Что убило динозавров // ВМН, № 8–9, 2016.



НЕ УЯЗВИ МЫЕ

Существуют ли люди, от природы
не подверженные инфекционным
заболеваниям?

В американском блокбастере «Заражение», который многие сегодня называют пророческим, нам показывают историю распространения некоего нового природного вируса, на наших глазах поражающего огромное количество людей. Практически все умирают — вирус оказывается высококонтагиозным и патологичным. Однако один из главных героев, персонаж Мэтта Деймона, не заболел, хотя находился в самом эпицентре эпидемии. Почему он оказался не подверженным этому вирусу? Можно ли объяснить такой феномен с научной точки зрения? Действительно ли одни люди рискуют заразиться, а другим это по какой-то причине не грозит? Если да, то можно ли использовать это свойство на благо всего человечества? Эти вопросы мы задали нашим экспертам.

Виталий Васильевич Зверев, академик, заведующий кафедрой микробиологии, вирусологии и иммунологии Сеченовского университета, научный руководитель НИИ вакцин и сывороток им. И.И. Мечникова:

— Вы задаете непростые вопросы. Вирусов — огромное разнообразие, и мы знаем далеко не все. Но теоретически такое вполне возможно. Мы все знаем, насколько тяжелое заболевание ВИЧ-инфекция и какой серьезной проблемой становится ее широкое распространение. Но ведь известно, что есть люди, которые заражаются, но никогда не болеют. Их очень мало. Это те люди, которые имеют мутацию в гене — рецепторе к этому вирусу. Таких людей больше всего среди финно-угорских народов. У них вирус попадает в организм, но там не размножается, не заражает клетки и люди не болеют. К сожалению, это один из тех немногих случаев, которые нам известны.

Конечно, то, как люди переносят заболевание, во многом зависит от дозы заражения. Каждый вирус имеет свой уровень контагиозности.

Например, для того чтобы человек заболел корью, не нужно большое количество вируса. Или та же самая ВИЧ-инфекция. Здесь очень важно, какое количество вируса попадает в организм человека, и тогда иммунная система с этим справляется или не справляется.

Наши последние исследования как раз нацелены на то, чтобы не убивать вирус, который попадает в организм человека, а ограничивать его количество, чтобы можно было создать иммунитет к нему, но при этом не болеть тяжело. Это один из возможных подходов.

А вообще здесь можно действовать на три мишени. Ведь что такое заражение вирусом? Это сам вирус; это тот рецептор, к которому вирус присоединяется; и, наконец, это иммунная система человека, который борется с этим вирусом. Для того чтобы понять, заболеет человек или нет, нужно изучить эти три позиции. Сейчас пришел новый коронавирус, а завтра придет какой-нибудь кишечный вирус или что-то еще. Каждый раз это новые пути заражения, новый источник инфекции.



Академик В.В. Зверев

Можно сколько угодно создавать противовирусные препараты, но они будут работать только против того вируса, с которым мы боремся, а с новым они уже бороться никак не смогут.

То же самое касается рецепторов. Все рецепторы вирусов имеют определенную функцию. Один из них у коронавируса, шиповидный белок-рецептор на поверхности вириона — это рецептор для связывания с ангиотензинпревращающим белком-рецептором на поверхности клеток человека. Это важнейший рецептор, который играет огромную роль в нашей жизнедеятельности. Можно, конечно, заблокировать на какое-то время эти рецепторы, но это тоже будет не очень хорошо. А можно, например, сделать упор на то, чтобы найти те точки иммунной системы, которые отвечают за развитие вируса, чтобы подавить его и одновременно вызвать небольшой иммунный ответ.

Это именно то, чем мы занимаемся вместе с Институтом общей генетики РАН и с новосибирским Институтом химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН, с академиком В.В. Власовым. Дело в том, что ни один вирус не несет все то, что ему необходимо для развития. Он использует клеточные ферменты, белки человека, которые участвуют в регуляции иммунной системы. И можно на какое-то время прервать этот процесс, добившись таким образом того, что человек будет к этому вирусу какое-то время невосприимчив. Мы не можем надолго заблокировать компоненты иммунной системы. Но их можно будет отключить на короткий период, чтобы остановить процесс. Такие работы активно ведутся.

— Виталий Васильевич, всем нам известны истории, когда вся семья заболела, а один человек — нет. Почему такое происходит? Ему просто повезло или у него тоже какая-то мутация? Есть ли какие-то научные исследования на эту тему?

— Научных исследований на эту тему было не так много, и их трудно проводить. Мы же не можем специально заразить человека и посмотреть, как он будет себя чувствовать. Но такие семейные случаи, о которых вы говорите, действительно широко известны. Это касается и коронавируса. Что мы тут знаем наверняка? Как я уже сказал, многое зависит от дозы. Далее, известно, что дети заражаются, но, как правило, не болеют или болеют очень легко. Могу сказать по своей семье — у меня двое внуков. Мы все переболели, и все по-разному, причем независимо от возраста. У кого-то были пневмонии, у кого-то — только потеря вкуса. У меня всего один день была температура. Я даже не лечился ничем, а уровень

антител у меня почти такой же, как у тех, кто переболел с серьезными симптомами. А вот дети вообще бессимптомно болели, при том что уровень иммуноглобулина G у них выше, чем у тех, кто болел тяжело. Это особенность иммунной системы, и таких людей немало.

— А как вы можете это объяснить? Почему так происходит? Знаю, что ваш сын болел достаточно тяжело, хотя он моложе вас.

— Многое зависит от того, как человек заразился. У меня в организм, видимо, попало небольшое количество вируса, с которым моя иммунная система справилась. А у сына был очень тесный контакт с пациенткой, которая тяжело болела. У нее была коронавирусная пневмония, и он делал ей искусственное дыхание. То есть у него огромная доза вируса попала моментально, причем сразу в глубокие отделы дыхательных путей. От этого многое зависит — где вирус начинает размножаться. Плюс состояние иммунной системы. Это то, что мы сейчас и пытаемся искать: как, каким образом, какие гены включить, какие выключить, чтобы человек эту инфекцию перенес легко и даже незаметно. Это вопрос для изучения, но это очень перспективные исследования и они сейчас проводятся во всем мире.

— Может быть, надо изучать эти мутации, которые позволяют таким людям не болеть, и каким-то образом использовать эти знания для остальных?

— Все правильно. Это надо пытаться делать. Что касается ВИЧ, мы знаем про эту мутацию. Но ее искусственно пока сделать нельзя, да и надо ли — вот вопрос. Люди с этими мутациями наверняка имеют какой-то другой дефект. Все взаимосвязано. Поэтому все научные работы в этом направлении необходимы, но очень аккуратные, чтобы, пытаясь помочь, не навредить еще больше.

Николай Иванович Брико, академик, директор Института общественного здоровья, заведующий кафедрой эпидемиологии Сеченовского университета, главный эпидемиолог Минздрава России:

— **Николай Иванович, сегодняшняя наша тема — устойчивость к различным возбудителям болезней. Правда ли, что у разных людей эта восприимчивость разная, а есть люди вообще невосприимчивые к тем или иным возбудителям?**

— Да, сегодня накоплено достаточно фактического материала, который свидетельствует о гетерогенности человеческой популяции и разной восприимчивости не только к инфекционным болезням, но и вообще к любой патологии. Сегодня много данных, которые говорят о разной степени чувствительности или устойчивости к различным патогенам, с которыми сталкивается человек, как инфекционной, так и неинфекционной природы. Есть тут и гендерные различия. Мы знаем, что в этом «повинен» белок, ответственный за активацию клеточного иммунитета. Ген, обеспечивающий выработку этого белка, находится на X-хромосоме, но, как известно, у женщин две X-хромосомы, поэтому они могут болеть реже мужчин.

Изменчивость вирусов в значительной степени определяется адаптацией к условиям репродукции и механизмам противовирусной защиты клеток хозяина. На уровне популяций адаптация связана с особенностями типа *HLA*, определяющих специфичность распознавания вирусных антигенов. Генетический профиль популяции и уровень разнообразия гаплотипов *HLA* не только влияют на уровень заболеваемости, но и могут определять судьбу целых этнических групп населения, их численность и показатели преждевременной смертности. В такой многонациональной стране, как Россия, этот подход должен стать основой профилактического направления практической медицины.

— **Есть ли какие-то данные о нынешнем коронавирусе? Кто болеет чаще?**

— Мы получили и продолжаем получать много информации, которая характеризует и возбудитель, и патогенез заболевания. Выстроена довольно четкая схема и лечения, и профилактики. Но многие вопросы остаются неясными, до конца не изученными, и особенно это касается вопросов генетики. Есть данные о том, что мужчины болеют тяжелее, умирают чаще. Известны возрастные различия в восприимчивости к инфекции. Но повторяю: это та область, которую надо изучать.

— **Мы знаем, что есть люди, невосприимчивые к ВИЧ-инфекции. А есть ли люди, резистентные к коронавирусной инфекции?**

— Мы пока не можем однозначно ответить на этот вопрос относительно *COVID-19*. Информации пока недостаточно. Но, скорее всего, такие люди есть. В отношении ВИЧ-инфекции есть, это

известно. Этот факт связывают с определенными генами, которые кодируют рецепторные молекулы, используемые ВИЧ для проникновения в клетку. Они уже идентифицированы. Инактивация одного из генов блокирует инфицирование вирусом. Это чрезвычайно важное направление. В Китае впервые отредактирован геном человеческого эмбриона, в результате чего на свет появились генетически модифицированные близнецы. Что сделал ученый? Используя технологию *CRISPR-Cas9*, он удалил в эмбрионах гены, которые кодируют *CCR5*. Тем самым он сообщил этому эмбриону низкий риск заражения ВИЧ-инфекцией.

Но редактирование гена — это очень опасная вещь. Тот же ген *CCR5* отвечает не только за восприимчивость к ВИЧ-инфекции. Оказалось, что он способствует нормальной работе лейкоцитов, и тут появляется риск заражения вирусом лихорадки Западного Нила. Вообще, использование этих технологий очень рискованно, потому что они не только удаляют этот ген, но и вносят какие-то изменения в ДНК. Это создает огромные этические проблемы, хотя, повторяю, такие исследования имеют чрезвычайно большие перспективы. Устанавливая какую-то предрасположенность, мы видим, посредством каких генов это может реализоваться.

— **Как вы думаете, сколько может быть в процентном отношении людей, невосприимчивых к новой коронавирусной инфекции?**

— Это очень непростой вопрос, особенно применительно к новой, неизученной болезни. Однако, опираясь на исторический опыт, мы можем сказать, что даже такие мощные эпидемии, как черная оспа или легочная чума, затрагивали не всех людей. Умирало 20–30%, может быть, больше. Но остальные выживали и приобретали иммунитет. Определенная часть населения сталкивалась с возбудителем, но оставалась устойчивой к нему.



Академик Н.И. Брико

Как их вычислить? Думаю, тут надо учитывать данные, полученные в процессе реализации программ вакцинации. В человеческой популяции есть 5–10% людей, которые сильно реагируют на антигены, и есть примерно столько же слабо реагирующих. Эти данные надо учитывать, и тут мы подходим в какой-то мере к персонификации. Это один из разделов так называемой 5P-медицины, о которой мы сейчас все чаще говорим. Предиктивная, предупредительная, предсказательная медицина, как и персонализированная, невозможна сегодня без генетических исследований.

Все люди обладают уникальной ДНК, а значит, и личным набором предрасположенностей и рисков. Предсказывать патологию и находить способы профилактики и лечения сегодня возможно только на основе генетических исследований. В последние 20–30 лет мы видим здесь фантастический взлет. Сегодня настала эпоха постгеномных исследований — это метагеномика, протеомика, транскриптомика, метаболомика, метагеномика и т.д. Известно уже более 150 лекарственных препаратов с указанием на генетический маркер. Современные достижения генетики человека делают возможным последовательное выведение системы профилактической медицины на уровень генетической персонализации.

— Как вы думаете, может ли настать момент, когда человек приходит в поликлинику к своему участковому врачу, а тот говорит: «Вам обязательно надо сделать прививку от гриппа, потому что у вас высокая предрасположенность к тяжелому течению этого заболевания; а вот от коронавирусной инфекции необязательно — у вас нет к ней склонности»?

— Я верю, что наступит этот момент. И это не очень далекое будущее. Препараты, которые уже используются, влияют на гены, предрасполагающие к развитию различных онкологических заболеваний, системных поражений. Накоплено немало данных применительно к инфекционным болезням. Думаю, в ближайшем будущем у каждого из нас будет генетический паспорт, в котором будет записано, какие гены связаны с риском того или иного заболевания. Сегодня в стадии реализации находится задача генетического анализа для определения риска развития социально значимых болезней. Здесь важно определение фенотипических проявлений ранних стадий заболевания, выделение групп повышенного риска на основе индивидуальных генетических особенностей. На базе развития генетики сформировалась новая наука — эпигенетика. Ее суть заключается в возможности корректировать работу генов человека образом жизни, питанием и профилактикой. Это означает, что, приоткрыв тайны организма пациента, врач сосредоточивает усилия на профилактике вероятных заболеваний и патологий пациента взамен

традиционного лечения уже существующих болезней. Это позволяет сохранять здоровье на долгие годы и отодвигать процессы старения клеток. Таким образом, медицина будущего строится на основе подбора индивидуальных процедур, программ, препаратов и доз медикаментов, которые будут эффективны для конкретного человека.

Константин Валерьевич Крутовский, ведущий научный сотрудник Института общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН, профессор кафедры геномики и биоинформатики и руководитель Научно-образовательного центра геномных исследований Сибирского федерального университета, профессор Геттингенского университета:

— Константин Валерьевич, известно, что есть люди, устойчивые к тем или иным типам возбудителей инфекции. Во многом именно генетика может ответить на вопрос, каким людям грозит то или иное инфекционное заболевание, а каким нет. Как вы думаете, есть ли будущее у генетики в предсказании опасности вирусных заболеваний у конкретных людей?

— Это вопрос персонифицированной медицины, когда на основании индивидуальных геномов человека мы можем предсказывать предрасположенность к тем или иным болезням. Чисто гипотетически можно на основании индивидуально-генома человека сделать вывод, есть ли склонность к каким-либо аутоиммунным заболеваниям или пониженный иммунитет к разным патогенным. Такие исследования уже активно проводятся, и, конечно, в перспективе на их основе можно будет делать надежные предсказания.

Но тут есть еще один важный вопрос — врожденная устойчивость к болезням. Почему одни люди не болеют даже при контакте с вирусами или болеют в очень легкой форме, а другие нет? В чем причина такого феномена? Может быть, человек когда-то уже контактировал с этим вирусом? Существует врожденный клеточный иммунитет.



Профессор К.В. Крутовский

Есть очень интересные исследования по эпигеномике, говорящие о том, что приобретенная устойчивость тоже может передаваться — необязательно на уровне замен нуклеотидов в ДНК, но через эпигенетические механизмы, через обратимые химические модификации нуклеотидов и хроматина.

С чем это связано? Врожденное ли это? Может быть, это обусловлено также тем, что у человека уже известны четыре вида коронавируса — два альфа- и два бета-коронавируса, с которыми он давно и относительно мирно сосуществует? При чем бета-коронавирусы — это группа, к которой принадлежит SARS-CoV-2. Они уже есть у человека, давно открыты и обычно вызывают легкие респираторные заболевания. То есть они адаптировались к организму человека. И, возможно, тот иммунитет, который к ним вырабатывается, особенно у тех людей, которые переболели этими коронавирусами, включает как некий бонус устойчивость к новому для человека коронавирусу.

Это одно из возможных научных объяснений, но этот вопрос надо изучать. Если предположение верно, у нас появляется надежда, что и нынешний вирус тоже адаптируется. Вирусу вообще невыгодно убивать хозяина, потому что с его гибелью он погибает сам. Эволюционно он заинтересован наносить минимальный вред, но при этом быть максимально инфекционным, то есть заразным. Поэтому естественный отбор отбирает те мутации, которые снижают его летальность, патогенность, но увеличивают его контагиозность. И у нас есть много примеров таких вирусов: некоторые аденовирусы, коронавирусы, вирусы гриппа и др.

— Но ведь не со всеми вирусами так произошло.

— Да, не со всеми. С вирусами оспы, кори, полиомиелита этого не случилось. Поэтому надо вакцинироваться. Я считаю, что вакцинирование — это гражданский долг каждого, потому что защищаешь не только себя, но и других. Это помогает создать так называемый популяционный иммунитет, который позволит прервать текущую пандемию. Чем быстрее и чем больше людей переболеет или вакцинируется, тем лучше. Но лучше не болеть, поскольку это вызывает и тяжелые осложнения, и жертвы.

Знаю, что сейчас очень много колеблющихся. Люди боятся вакцинации, не доверяют ей. Думаю, всем, кто вакцинируется, необходимо давать специальную медицинскую страховку на случай возможных осложнений. Они редкие, но могут быть. Такая страховка важна, чтобы была медицинская гарантированная помощь, какое-то финансирование или даже существенная компенсация. Подобную программу должно предусмотреть государство, заинтересованное в массовой вакцинации.

— Верно ли я понимаю, что развитие вирусологии без генетики сегодня невозможно?

— Да, все верно. Без генетики сегодня ни одна биологическая дисциплина не может нормально

развиваться, поскольку это основа основ: ведь гены регулируют все функции организма. Генетика, я считаю, — одна из ключевых биологических дисциплин. Это наука о наследственности и изменчивости у всех живых организмов, где есть гены, есть ДНК, есть генетический контроль, где совершаются мутации, возникает изменчивость, а на ее основе происходят адаптация и эволюция. Понимание этих механизмов, адаптации и эволюции, того, как вирус эволюционирует, без генетики, конечно, невозможно. Как и создание вакцин, имеющих минимальное количество побочных последствий, невозможно себе представить без генетики.

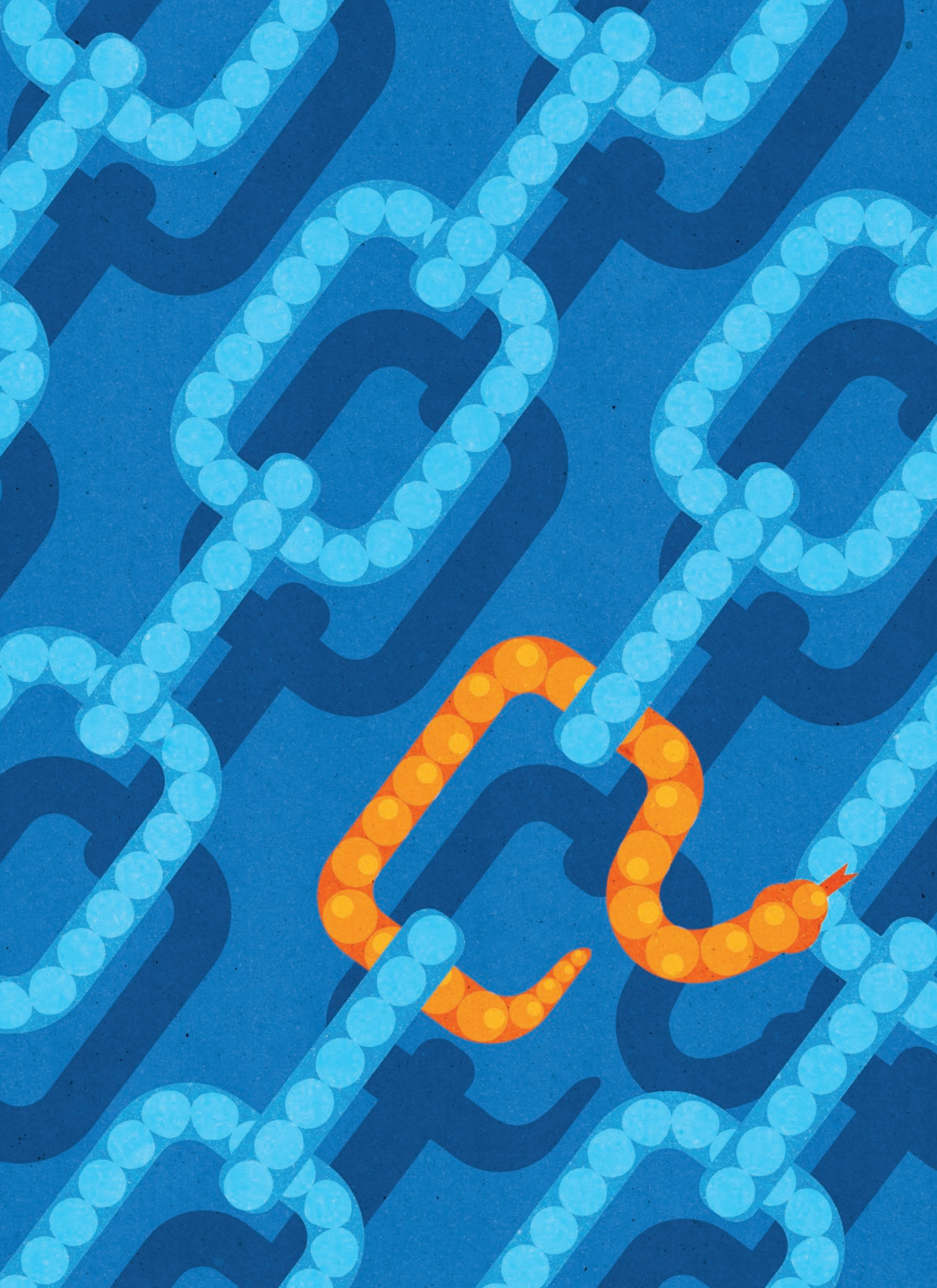
Для создания таких современных, высокоэффективных и безопасных вакцин надо знать устройство генома, его последовательности, а сейчас это можно делать на уровне генетического текста, прочитывая его с помощью секвенирования. Сегодня научились выделять именно те фрагменты белка, которые вызывают наиболее сильный иммунный ответ, но минимальные побочные эффекты. Это так называемые пептидные вакцины, например «ЭпиВакКорона», разработанная в центре «Вектор». Их не надо путать с так называемыми векторными вакцинами, которые используют другой принцип. Благодаря молекулярной генетике, геномике и геной инженерии в этой области также достигнут громадный прогресс.

Одна из таких векторных вакцин — наш «Спутник V». В основе этой вакцины — модифицированный и неспособный к репликации относительно безопасный для человека аденовирус, в него встроены S-ген от SARS-CoV-2, кодирующий шиповидный белок, на который образуются антитела и формируется иммунитет. В данном случае аденовирус служит только носителем, вектором, призванным доставить ген коронавируса внутрь клетки, где он будет экспрессироваться, и на него будут нарабатываться антитела, таким образом формируя иммунитет.

Есть еще более продвинутые вакцины на основе только одного или двух генов SARS-CoV-2 в виде матрицы мРНК, когда эта матрица внутри липидной наночастицы через инъекцию вводится в организм и затем проникает внутрь клетки, где идет ее считывание и происходит синтез специфического белка, характерного для коронавируса. На него в результате и формируется иммунитет.

Думаю, в будущем наука и медицина придут к тому, что человек сможет узнать, нужна ли ему вакцинация от той или иной вирусной инфекции (и какую вакцину ему нужно предпочесть) или ему эта болезнь не грозит, потому что у него есть врожденный или приобретенный иммунитет к ней. А пока наука не научилась предсказывать это быстро и точно, необходимо массово вакцинироваться. ■

Беседовала Наталья Лескова



Клетки организма
находятся
в постоянном
взаимодействии.
Когда оно
нарушается,
создаются
предпосылки
к развитию рака

ЗЛОСТНЫЕ ЧИТЕРЫ

Афина Актипис

ОБ АВТОРЕ

Афина Актипис (Athena Aktipis) — доцент кафедры физиологии Аризонского университета, одна из руководителей исследовательского проекта, над которым работают сотрудники Центра по исследованию эволюции рака при Аризонском университете. Автор книги «Клетка-читер: как эволюция помогает нам понимать и лечить рак» (*The Cheating Cell: How Evolution Helps Us Understand and Treat Cancer*, 2020).



Торбчатый кит, одно из самых крупных животных, когда-либо существовавших на Земле, — это гигантское сообщество квадриллионов взаимосвязанных клеток. Клетки разного типа обеспечивают процессы пищеварения, дыхания, размножения, реакцию на других живых существ и прочие функции, необходимые для поддержания жизнедеятельности организма в целом. Это относится не только к китам, но и, скажем, к слону, человеку или кактусу сагуаро. Все они — хорошо организованные, слаженно функционирующие клеточные цивилизации.

Многоклеточные организмы успешно эволюционировали прежде всего благодаря тому, что взаимодействующие друг с другом клетки обладают преимуществом перед «одиночками», например бактериями. Дележ ресурсов позволил жизненным формам увеличиваться в размерах — преимущество, которое помогает противостоять хищникам, поскольку питательные вещества и химические сигналы, необходимые клеткам, могут распространяться на все тело. Разделение функций привело к специализации и развитию таких органов, как желудок и конечности. А сотрудничество наделило способностью поддерживать в должном состоянии внеклеточное пространство, что способствовало увеличению времени жизни клеток.

Но кооперативное сообщество очень хрупко: в многоклеточном организме могут появляться и процветать клетки-мошенники (читеры — согласно терминологии, используемой в компьютерных играх). Неумеренно потребляя ресурсы, они реплицируются быстрее, чем «кооператоры», и берут над ними верх. Клетки-читеры монополизуют запасы питательных веществ и нарушают ту гармонию, в которой пребывал многоклеточный организм.

Раковые клетки живут по своим законам. Они бесконтрольно делятся и не погибают в положенное время, лишают другие клетки питательных веществ, мешают им нормально функционировать, замусоривают межклеточное пространство. В то время как нормальные клетки делятся до определенного момента, клетки раковые ускользают от систем контроля деления. Время жизни первых ограничено, вторые же противостоят иммунной системе, которая в положенное время должна была бы их уничтожить. Обычные клетки распределяют между собой жизненно важные питательные вещества и сигнальные молекулы, раковые же стимулируют образование дополнительных кровеносных сосудов, чтобы обеспечить себя избытком ресурсов. Указанные различия свидетельствуют о том, что читерство — не метафора, а сущность поведения переродившихся клеток.

Сочетание эволюционного подхода и представления о кооперативном взаимодействии позволяет по-новому посмотреть на то, как происходит — или не происходит — раковая трансформация клеток. У таких крупных животных, как кит или слон, рак встречается редко, несмотря на то что они состоят из огромного числа клеток, многие

из которых могли бы превратиться в раковые. Почему? Ряд ученых, в том числе и сотрудники нашей лаборатории из Центра по исследованию эволюции рака при Аризонском университете, проанализировали геном этих гигантов и обнаружили, что он содержит множество копий генов, которые управляют процессом разрушения мутантных генов, кодирующих аберрантные белки — предвестники рака. У этих животных присутствует также избыточное число копий генов, отвечающих за репарацию поврежденной геномной ДНК. Один из таких генов, *TP53*, обнаружен у человека, но только в виде двух копий; неудивительно поэтому, что наши клетки претерпевают раковую трансформацию чаще. Предпринимаются попытки использовать действие этих генов в противораковой терапии, а пока исследователи занимаются их поисками в геномах самых разных живых существ. Онкологи даже начали использовать эволюционные принципы в создании схемы химиотерапии, которая не затрагивала бы наименее агрессивные клетки опухоли и уничтожала только окончательно переродившиеся. Это сдерживает появление резистентных клеток.

Компьютерное моделирование

Эволюционной взаимосвязью кооперации и чиртерства я заинтересовалась, работая над дипломом, а затем над диссертацией по психологии. Я написала компьютерные программы, которые позволяли проверять различные стратегии на предмет их воздействия на гипотетические популяции, представленные совокупностью узлов в некой сети. В таких моделях — без всяких сдерживающих факторов, налагаемых генетическим родством или социальными нормами реципрокности, — чиртеры одерживают верх над кооператорами. Вначале я пыталась понять, что же обеспечивает устойчивость кооперации в человеческих сообществах. Но затем заинтересовалась биологической



Гребешок на кончике ствола этого кактуса сагуаро — следствие мутации в клетках меристемы. Подобные гребешки препятствуют появлению цветков и размножению.

подоплекой рака и тем, как появляются раковые клетки; мне стало понятно, что во многих отношениях их действия направлены на разрушение кооперативности многоклеточных систем. Рак, представлявший мне «бессмысленным» заболеванием, поскольку в конечном счете он уничтожает самого себя, стал обретать смысл.

Продвигаясь дальше в своих исследованиях, я обнаружила, что чиртерство — это путь к раку или предраковому состоянию у многих сложных организмов от человека до двустворчатого моллюска и кактуса. Например, у растений вместо одной веточки иногда образуется целый пучок. Среди самых впечатляющих примеров подобной аномалии — кактус с гребешком. У кактуса сагуаро могут возникать мутации в клетках меристемы (аналог ствольных клеток у животных) на кончи-

ках стволов. Это приводит к усиленной пролиферации клеток и появлению выростов, напоминающих гребешок. Образование выглядит забавно, но, как и рак у человека, может иметь печальные последствия. Такие кактусы не образуют цветков, что препятствует размножению, и у них чаще развиваются различные болезни.

Стало ясно, что эти проявления нарушений межклеточных взаимодействий сходны с характерными признаками рака, которые служат для онкологов маркерами начала малигнизации. В дополнение к таким явлениям, как неумеренная пролиферация и инвазия (распространение на другие органы и ткани), эти проявления также указывают на раковую трансформацию, а эволюционный подход предполагает, что инвазия, возможно, становится следствием клеточного чиртерства. Когда раковые клетки исчерпывают локальные запасы питательных веществ в результате синтеза соответствующих ферментов в избыточном количестве, они разрушают окружающие клетки. Из экологии мы знаем, что организмы, оказывающиеся в подобной ситуации, начинают расселяться.

То же самое происходит с голодающими раковыми клетками. Согласно результатам компьютерного моделирования процесса развития рака, ускоренное потребление ресурсов приводит к появлению клеток, стремящихся к миграции. Результаты этих исследований мы опубликовали в 2012 г. в журнале *Cancer Prevention Research*. По нашему мнению, неумеренное поглощение питательных веществ раковыми клетками — один из факторов метастазирования. Задолго до инвазии в другие органы и ткани дефицит ресурсов подталкивает клетки опухоли к поиску других источников пищи.

Это сочетание экологического и эволюционного подходов создает предпосылки к открытию новых способов диагностирования рака в дополнение к тем, что основаны на таком признаке, как неумеренная пролиферация. В 2017 г. мы с коллегами из Центра по исследованию эволюции рака при Аризонском университете опубликовали в журнале *Nature Reviews Cancer* статью, в которой рекомендовали обращать внимание на клетки, ведущие себя ненадлежащим образом в других отношениях, чем, скажем, бесконтрольное деление. Они, например, потребляют слишком много питательных веществ или синтезируют ферменты, разрушающие соседние клетки.

Кооперация раковых клеток

Говоря о межклеточном кооперативном взаимодействии, мы имеем в виду не только клетки, обладающие избыточной активностью, но и другие клетки, чья функция заключается в идентификации и подавлении чужеродности. Живые системы выработали для этого особые механизмы. Так, нормальные клетки могут реплицироваться только с «разрешения» соседей, которые посылают специфические «сигналы роста». И если какие-то клетки нарушают это правило, то соседние или иммунная система их уничтожают.

Раковые клетки тоже обладают системой охраны. Один из таких «охранников» — ген *TP53*, кодирующий белок *p53*. Он играет ключевую роль во многих механизмах контроля — от регуляции клеточного цикла до запуска апоптоза. Среди других «охранников» — ген *BRCA*, регулирующий процесс репарации ДНК. Если в нем возникает мутация, препятствующая нормальному функционированию, повышается риск рака молочной железы, яичников и предстательной железы.

Гены семейства *TP53* (куда входят также гены *TP63* и *TP73*, которые способствуют поддержанию целостности генома) появились у многоклеточных на самых ранних этапах их эволюции. Первыми их обладателями стали такие примитивные организмы, как актинии, и, принеся с собой ряд преимуществ для своих хозяев, эти гены широко распространились по всем ветвям эволюционного

древа. В 2019 г. Анна Трайгос (Anna Trigos) с коллегами из Онкологического центра Питера Маккалума в Австралии сообщили, что наиболее часто встречающиеся мутации у онкобольных полностью выводят из строя сигнальные системы, часть которых — ген *TP53*. Более того, обнаружилось, что утрачивается связь между этими генетическими регуляторными системами, которые появились в ходе эволюции даже раньше самих многоклеточных. Трайгос с коллегами оценили «возраст» этих генов с помощью метода филогенетики, основанного на сравнении характеристик генов ныне живущих организмов для того, чтобы определить их возможного общего предшественника и в конце концов выяснить, где и когда эти гены появились на эволюционном древе жизни. Затем они исследовали мутантные гены в ДНК опухолей у более 9 тыс. больных и выяснили, что многие из них участвуют в регуляции межклеточных взаимодействий.

Каким же образом такие гены, как *TP53*, распознают чужеродность? По-видимому, они играют роль коллекторов информации относительно активности клеток. Например, возможно, к ним стекаются со всех концов генома сигналы об увеличении числа мутаций в какой-то клетке или о сверхпродукции aberrантных белков. Вероятнее всего, такие сигналы указывают на то, что данная клетка больше не находится в надлежащем взаимодействии с другими клетками тела, и они включают гены семейства *TP53*, которые могут прервать репликацию и запустить процесс репарации ДНК. Если этого недостаточно, они вызывают апоптоз, дабы защитить организм от потенциальной угрозы со стороны данной клетки.

Две копии гена *TP53* мы получаем от своих родителей: одну от отца, другую от матери. Если в одной из копий возникает мутация, риск рака у организма-хозяина многократно увеличивается. Геном людей с редким заболеванием под названием «синдром Ли — Фраумени» содержит только одну копию гена *TP53*, и риск развития рака у них чрезвычайно высок.

У слонов в отличие от людей в геноме содержится 40 копий аналога человеческого гена *TP53* — он называется *EP53*, и, по мнению ряда исследователей, в числе которых и я сама, это объясняет, почему рак у крупных животных — редкое явление. Такое отсутствие малигнизации долгое время оставалось загадкой и получило название парадокса Пето по имени Ричарда Пето (Richard Peto), который с коллегами из Оксфордского университета в 1977 г. отметил, что у крупных (и более долгоживущих) организмов рак должен был бы развиваться чаще, чем у мелких созданий, поскольку их тело состоит из большего числа клеток и, следовательно, в большем их количестве могут возникнуть мутации. Однако, по словам самих этих



Казалось бы, чем крупнее животное, тем с большей вероятностью у него возникнет рак, но у гигантского горбатого кита этому противостоят многочисленные гены — супрессоры раковой трансформации клеток

биологов, риск рака и размер тела не коррелируют друг с другом. В одной из статей, опубликованных нами в 2017 г., утверждается, что этот парадокс распространяется на всех животных. Мы создали обширную базу данных по различным патологиям среди обитателей зоопарков и пациентов ветеринарных клиник и установили, что риск рака у долгоживущих крупных видов в точности такой же, как у видов более мелких.

По нашему мнению, у крупных животных более развиты механизмы подавления клеточного чихтерства, например благодаря наличию большого числа копий генов типа *EP53*. Эволюционные генетики провели сравнительный анализ геномов слонов и реконструированных геномов нескольких сходных исчезнувших видов, например шерстистого мамонта, и обнаружили, что чем крупнее животное, относящееся к этой категории, тем больше у него копий *TP53*-подобных генов. Это наводит на мысль о роли данных генов в эволюционном развитии крупных животных в направлении еще большего увеличения массы тела. Чем крупнее животное, тем успешнее оно противостоит хищникам, а гены — супрессоры малигнизации помогают ему справиться с клетками-чихтерами.

По-видимому, такая картина имеет универсальный характер. За время эволюции жизни на Земле огромные животные появлялись множеством раз

как на суше, так и на море. И всегда вместе с ними появлялись гены, сдерживающие чихтерство. Таксономическая группа китовых, куда входят дельфины и китообразные, представлена животными самых разных размеров. Так, горбатый кит в четыре раза крупнее ближайшего родственника ему малого полосатика, а косатка может превышать по размерам своего близкого родственника афалину в 20 раз. При этом число генов, отвечающих за поддержание порядка в теле животных этой группы, тем больше, чем животные крупнее. Детально исследовав геномы горбатых китов, мы обнаружили, что число повторов генов, отвечающих за апоптоз, у них гораздо больше, чем у более мелких китовых. Кроме того, у крупных китов были выявлены свидетельства эволюционного отбора, направленного на увеличение числа генов-онкосупрессоров, среди которых — гены контроля клеточного цикла и гены, участвующие в пролиферации. Один из таких генов, *PRDM2T*, регулирует экспрессию китовой версии гена *TP53*, что опять-таки указывает на ключевую роль данного сегмента ДНК.

Блокирование чихтерства — непростая задача, поскольку по иронии судьбы малигнизированные клетки, переставшие реагировать на сигналы, посылаемые нормальными клетками, начинают кооперироваться между собой. Это отрицательно влияет на здоровые клетки. Например, раковые

клетки могут вырабатывать факторы роста, которыми они обмениваются с другими такими же клетками, или синтезировать молекулы, помогающие клеткам, находящимся в предраковом состоянии, маскироваться и ускользать от иммунной реакции. Как показывают результаты компьютерного моделирования поведения клеточных популяций организма, кооперация раковых клеток действительно возможна и становится более реальной, когда такие клетки вступают во взаимодействие со своими генетическими двойниками, что и происходит в опухолях. Кооперация «нарушителей правил» может спровоцировать их миграцию и образование метастазов. Раковые клетки способны мигрировать целыми группами, ориентируясь на электрические и химические сигналы и иногда образуя протяженные цепочки, тянущиеся к другим частям тела. По данным одного исследования, группы раковых клеток, циркулирующие в крови, образуют новые очаги опухолевого роста в 23–50 раз чаще, чем одиночные клетки.

Усовершенствование естественных механизмов контроля

Идея кооперации раковых клеток может показаться плодом больного воображения, но исследования этого феномена прокладывают путь к новым способам блокирования читеров, даже когда они действуют совместно. Например, можно попытаться усовершенствовать естественный механизм контроля патологического процесса. Специалисты из нашего Центра по исследованию эволюции рака при Аризонском университете пытаются разработать метод борьбы с раком, используя многочисленные копии слоновьего гена *EP53*. В опытах *in vitro* они уже показали, что встраивание *EP53* в геном может восстановить функции поврежденного белка *p53* в клетках остеосаркомы, взятых у человека и собаки. Эта же манипуляция нормализует процесс апоптоза. Другое, не менее перспективное направление основано на блокировании способности раковых клеток посылать иммунной системе фэйковые сигналы, которые маскируют усиление их читерства. Уже достигнуты некоторые успехи в применении такого подхода к лечению больных с меланомой.

Еще один подход, называемый адаптивной терапией, основан на ослаблении групп раковых клеток через поддержку тех из них, которые зашли в ходе малигнизации не очень далеко. Вместо того чтобы атаковать опухоль противораковым средством в высоких дозах — что способствует выработке резистентности к препарату (нечто аналогичное происходит при обработке посевов сельскохозяйственных культур инсектицидами), — онкологи стали применять химиотерапию только в объемах, сдерживающих рост опухоли. Чувствительные к лекарству клетки выживали

и конкурировали с резистентными клетками за питательные вещества, ограничивая их репликацию. В ходе клинических испытаний на пациентах с агрессивной формой рака предстательной железы удавалось держать опухоль под контролем 34 месяца с небольшим; при стандартной химиотерапии этот срок составлял 13 месяцев.

Поскольку кооперация читеров — своего рода воровской кодекс чести — представляет собой одну из ключевых стратегий раковых клеток, мы с коллегами попытались блокировать молекулярные сигналы, которыми обмениваются эти клетки, стимулируя образование новых кровеносных сосудов — поставщиков питательных веществ. Имея в виду, что группы клеток образуют метастазы чаще, чем клетки-одиночки, можно попытаться модифицировать молекулы, с помощью которых раковые клетки кластеризуются. Установлено, что у пациентов с высокой концентрацией адгезивных белков (их называют плакоглобинами) в плазме крови метастазы образуются чаще и продолжительность жизни у таких больных ниже. Отсюда следует, что исследование возможности применения таких белков весьма перспективно.

Социальные взаимоотношения раковых клеток друг с другом и с другими клетками организма гораздо сложнее, чем мы можем представить. Но нормальные клетки еще более сложно организованы и в них заложены механизмы противостояния разного рода вызовам, о которых мы мало что знаем. В каждой клетке нашего тела находится целый комплекс генетических сетей, которые способны улавливать читерство и реагировать на него. Все мы ведем начало от длинной цепочки многоклеточных предшественников, которые умели подавлять малигнизацию достаточно долго, чтобы успеть произвести потомство, и их потомки несли этот признак и передавали по наследству.

Клеточная кооперация успешно вписывалась в сложный процесс эволюции, несмотря на наличие читерства. Рак вмешивается в упорядоченную систему межклеточных взаимодействий, выработанную в процессе эволюции, но мы — наравне с другими живыми существами, населяющими Землю, — обладаем инструментами, которые помогают сохранить установившийся порядок. ■

Перевод: Н.Н. Шафрановская

ИЗ НАШИХ АРХИВОВ

■ Гейтенби Р., Дегрегори Дж. Борьба с раком по Дарвину // ВМН, № 10, 2019.



МЕДИЦИНА

ВИРУСЫ ВНУТРИ НАС

Человеческий миром состоит из триллионов вирусов. Одни из них вредны для организма, другие могут приносить пользу — если знать, как ими манипулировать

Дэвид Прайд

ОБ АВТОРЕ

Дэвид Прайд (David Pride) — инфекционист, доцент патологии; заведует лабораторией в Калифорнийском университете в Сан-Диего. Занимается исследованием влияния микробиома человека на гомеостаз и общее состояние здоровья.



В

2020 г. миллионам людей по всему земному шару пришлось в корне изменить привычный образ жизни, чтобы не контактировать с другими людьми, избегая заражения новым коронавирусом. Но, даже придерживаясь норм социального дистанцирования, многие заболели вследствие активации других вирусов, которые, как неоднократно отмечали биологи, притаились, никак себя не проявляя до поры до времени, в клетках легких, в крови, нервах и внутри бесчисленных микробов, населяющих наш кишечник.

По оценкам, в теле каждого из нас обитает 380 трлн вирусных частиц — в десять раз больше, чем бактериальных клеток. Некоторые из них вызывают заболевания, но многие мирно сосуществуют с нами. В конце 2019 г. исследователи из Пенсильванского университета идентифицировали в дыхательных путях человека 19 разных штаммов редондовируса. Немногие из них вызывают периодонтальные или легочные заболевания, зато остальные помогают побороть респираторные инфекции. Бурное развитие медико-биологических наук привело к осознанию того факта, что наше тело состоит не из одних только «человеческих» клеток, в которые случайно проникают микроорганизмы. На самом деле мы представляем собой некий суперорганизм, состоящий из сообщества наших собственных клеток, бактерий, грибов и самых многочисленных микроорганизмов — вирусов. Согласно недавним подсчетам, примерно половина биологического материала в нашем теле — «нечеловеческой» природы.

Лет десять назад биологов не беспокоил факт существования человеческого вирома. Сегодня же мы рассматриваем его как часть нашего микробиома, пеструю смесь из пассивных и активных микроорганизмов, обитающих практически в каждом «закоулке» нашего тела. Мы занимаемся картированием вирома уже десять лет, и чем дальше, тем очевиднее становится, что это — партнер, который влияет на нашу повседневную жизнь как в одну, так и в другую сторону. Согласно результатам недавних исследований, мы можем поставить собственный виром на службу своему здоровью. Так,

исследователи из Рокфеллеровского университета выделили вирусный фермент, который уничтожает бактерии, обнаруженные у больных, страдающих стафилококковой инфекцией, которые не поддаются устранению с помощью метициллина. Этот результат настолько впечатляющий, что Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов (FDA) США назвало фермент «революционным терапевтическим средством» и теперь препарат на его основе проходит третью фазу клинических испытаний. Сегодня мы в повседневной жизни то и дело говорим о «хороших» и «плохих» бактериях. То же самое можно отнести и к вирусам. Наша первоочередная задача — выяснить, как нейтрализовать плохие вирусы и «поощрить» хорошие.

Инфицированные с самого рождения

Тело человека — прекрасная среда обитания для микробов, богатая белками, жирами и углеводами. Многие вирусы хорошо к ней адаптировались, и им нет никакого резона ее лишаться, а это может произойти, если мы заболеем.

Размножаться они могут только внутри клеток организма-хозяина; вирусы — настоящие мастера по части использования в своих целях всех клеточных механизмов. Немногим больше десяти лет назад с помощью недорогого метода секвенирования генома микробиологи идентифицировали множество вирусов, которые населяют наши ротовую полость и кишечник. В 2013 г. были обнаружены вирусы, обитающие на коже и в дыхательных путях, в крови и моче. Позже их нашли в более

экзотических местах. Так, в сентябре 2019 г. сотрудник моей лаборатории Чандрабали Гхош (Chandrabali Ghose) с коллегами опубликовали результаты тщательного исследования вирусов, которые мы обнаружили в спинномозговой жидкости взрослых пациентов, проходивших диагностическое обследование. Эти вирусы относились к нескольким разным семействам и не были связаны ни с какими известными нам заболеваниями. Такие же вирусы мы нашли в плазме крови, синовиальной жидкости и грудном молоке. Было известно, что довольно редко болезнетворные вирусы, в первую очередь вирус простого герпеса, проникают в спинномозговую жидкость, но обнаружение нейтральных вирусов стало для нас сюрпризом. Оказалось, что центральная нервная система, считавшаяся стерильной субстанцией, населена пестрым вирусным сообществом.

По-видимому, виром человека начинает формироваться еще во время его появления на свет: в кишечнике новорожденного уже обнаруживаются разнообразные вирусы. Возможно, они попадают туда непосредственно из организма матери,

а затем — с материнским молоком. Некоторые из этих вирусов исчезают через несколько недель или месяцев, но вместо них с воздухом, водой и пищей в организм младенца проникают другие вирусы. Их численность и разнообразие постепенно увеличиваются, они инфицируют клетки организма-хозяина и находятся там многие годы. Виром младенцев и детей старшего возраста изменчив, а у взрослых относительно стабилен. Семейство анелловвирусов, насчитывающее 200 видов, присутствует в организме почти каждого из нас.

Многие вирусы внедряются не в клетки организма-хозяина, а в бактерии, составляющие наш микробиом. Их называют бактериофагами, или просто фагами. Они тоже используют для размножения аппарат клетки-хозяина. Когда вирусных частиц становится слишком много, клетка лопается под их напором, фаговые частицы выходят во внеклеточную среду и инфицируют другие бактерии. Вирусы — вездесущие микроорганизмы. Они есть в почве, воде, будь то вода из океана или из чашки с чаем, в местах с экстремальными условиями, например водоемах с высокой

Что такое вирус?

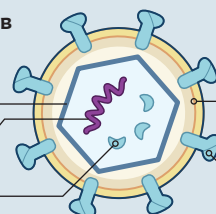
Вирусы — мельчайшие микроорганизмы, состоящие из одной молекулы ДНК или РНК, которая упакована в белковую оболочку. Размножаются только внутри клетки, которую инфицируют. Различаются по форме **A**, типу клетки-хозяина **B** и природе нуклеиновой кислоты **C**.

Форма вирусных частиц чрезвычайно разнообразна.

Строение вирусов

Есть у всех вирусов

Белковая оболочка (капсид)
Геном (нуклеиновая кислота)
Ферменты

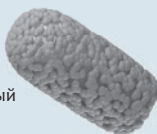


Есть у некоторых вирусов

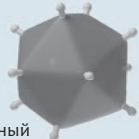
Наружная мембрана (липидный бислой)
Белковые выросты

A Наиболее распространенные вирусы.

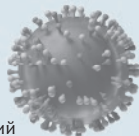
Спиральный



Многогранный



Сферический



Сложный



B Организмами-хозяевами могут быть животные, растения или бактерии. Большинство вирусов инфицируют только один из перечисленных видов.

Вирусы животных могут циркулировать в пределах определенного класса или семейства либо пересекать эти границы. Так, полиомавирус инфицирует млекопитающих и птиц, а вирус простого герпеса — человека и обезьян.

Вирусы растений обычно переносятся насекомыми. Большинство из них имеют сферическую форму и липидную оболочку.

Фаги заражают бактериальные клетки, где они либо размножаются, либо просто укрываются.



C Геном вирусов представлен одной молекулой ДНК или РНК. Упаковка этих молекул внутри вирусной частицы варьирует.

РНК-содержащие вирусы

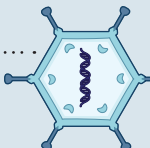
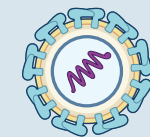
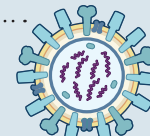
Геном вирусов гриппа A, B и C представлен молекулой РНК; ее длина у вирусов разного типа различается. Основная трудность, с которой сталкиваются иммунная система инфицированного организма, а также разработчики вакцин, — склонность вирусов этого типа к мутированию.

Флавивирусы — возбудители желтой лихорадки, лихорадки Западного Нила и лихорадки Зика. Все они переносятся комарами.

ДНК-содержащие вирусы

Аденовирусы вызывают широкий круг заболеваний, но их используют в генной терапии. Геном представлен короткой линейкой двухцепочечной ДНК.

Редондовирусы, идентифицированные сравнительно недавно, образуют группу из 19 разновидностей. Содержат кольцевую одноцепочечную ДНК.



кислотностью, в водах и льдах Арктики, в горячих источниках. И везде они находят бактерии, без которых не могут размножаться.

Человек в этом смысле стоит особняком. В 2017 г. Софи Нгуен (Sophie Nguyen) и Джереми Барр (Jeremy Barr) из Государственного университета Сан-Диего показали, что многие фаги на пути к месту «постоянной дислокации» в нашем теле проходят через слизистые оболочки различных органов — кишечника, легких, печени, почек. Но когда фаги оказываются, например, в центральной нервной системе, где нет никаких бактерий, они погибают, поскольку размножаться им негде.

Ваш личный вирусный профиль

Виром в разных частях нашего тела может существенно различаться. Мы с Гхошем обнаружили, что в ротовой полости преобладают другие вирусы, нежели в кишечнике, а вирусом последнего, в свою очередь, отличается от виroma мочи или крови. Мы знаем, что такая ситуация характерна для бактерий, но относительно вирусов подобные данные отсутствовали. Найти волонтеров, согласившихся сдать слюну для проверки на наличие вирусов, не составляет труда. Другое дело — уговорить их посетить университетскую лабораторию, чтобы там у них взяли кал, мочу или кровь с той же целью. Когда нам это удастся, мы отфильтровываем из полученного образца бактерии и в нем остаются еще более мелкие частицы — вирусы, различимые только под электронным микроскопом. Мы выделяем из фильтрата генетический материал, секвенируем его и таким образом идентифицируем вирусы, которым он принадлежал.

Вместе с Мелиссой Ли (Melissa Ly) из Калифорнийского университета в Сан-Диего мы показали также, что сравнение виромов людей, не состоящих в кровном родстве, позволяет выяснить, проживают они вместе или нет. Виromы людей значительно различаются, но если они постоянно контактируют друг с другом, их виromы на 25% совпадают. Вирусы передаются от одного члена семьи другому не только при чихании и кашле, но и через водопроводные краны в ванной или на кухне, через посуду, пищу, полотенца и многое другое. Пока мы обследовали небольшое число людей, но уже можно сказать, что половые взаимоотношения для передачи обычных вирусов не играют большой роли; достаточно просто совместного проживания.

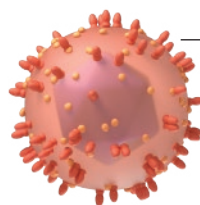
Впрочем, не все так просто. Шира Эйбелс (Shira Abeles), также из Калифорнийского университета в Сан-Диего, обнаружила существенное различие виромов ротовой полости у мужчин и женщин. Возможно, все дело в неодинаковом гормональном статусе, но пока никакой определенности здесь нет. Что доподлинно известно, так это корреляция между виромом и местом проживания членом

Виром человека

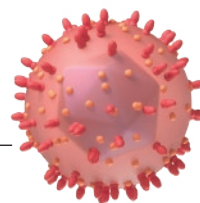
Наше тело изобилует разнообразными вирусами. Одни из них задерживаются в нем на короткое время, другие сосуществуют с нами годами. Некоторые их семейства, например вирусы простого герпеса, вызывают заболевания, но есть и такие (они изучены не столь хорошо), что совершенно безвредны. Среди них, например, вирус *crAssphage*, присутствующий почти у каждого жителя земного шара.

Герпесвирусы: хамелеоны

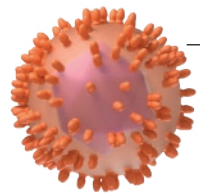
Известно более 100 герпесвирусов; они лишь немного отличаются друг от друга. Девять из них инфицируют людей, в частности следующие.



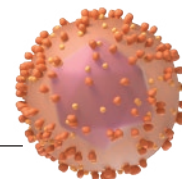
— **ВПГ-1** вызывает большинство видов герпетической лихорадки. Как и другие герпесвирусы, может долгое время находиться в спящем состоянии в нервных клетках.



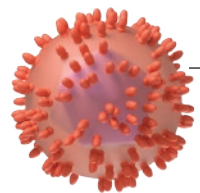
— **ВПГ-2** вызывает герпес гениталий; передается при физическом контакте между людьми.



— **Вирус ветряной оспы** вызывает ветряную оспу и опоясывающий лишай. Против обоих этих заболеваний имеются вакцины.



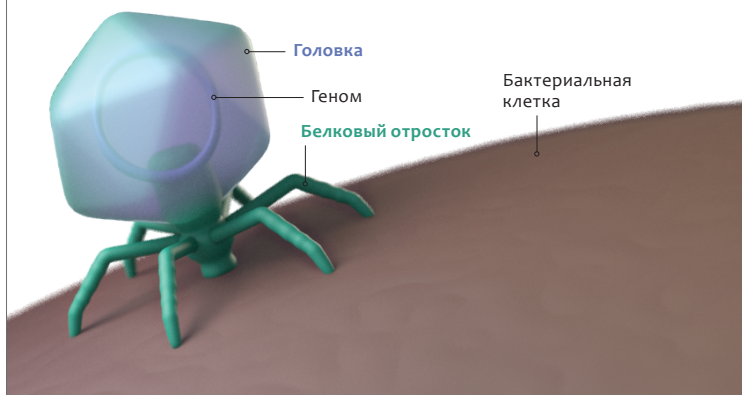
— **Вирус Эпштейна — Барр** может вызывать мононуклеоз; причастен к развитию волчанки и некоторых видов рака.



— **Цитомегаловирус** имеет один из самых длинных геномов среди всех вирусов человека; иногда опосредует развитие пневмонии.

Вездесущий и таинственный: *crAssphage*

Фаги — вирусы, поражающие бактерии. Фаг *crAssphage* присутствует практически у всех жителей Земли, а также у термитов, в корнях растений, грунтовых водах, морских отложениях. Относительно способа проникновения в организм человека единого мнения не существует. Нет никаких данных о болезнетворности. Название происходит от компьютерной программы, с помощью которой был идентифицирован.



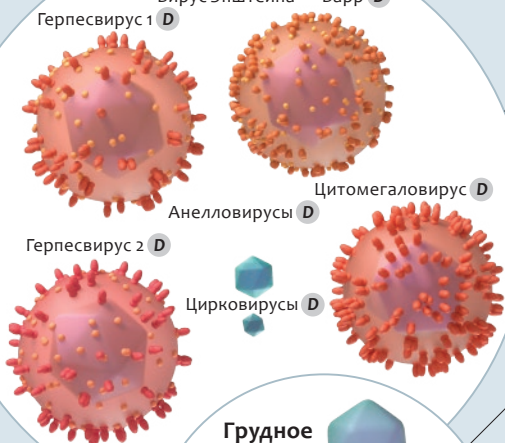
Где обитают вирусы

Вирусы присутствуют практически в любой части нашего тела, но заболевания вызывают лишь немногие из них. Одни вирусы предпочитают находиться только в одном органе или ткани, другие распространяются по всему телу.

● Болезнетворный
 Тип нуклеиновой кислоты
 R РНК
 D ДНК

Ротовая полость

Вирус Эпштейна — Барр D



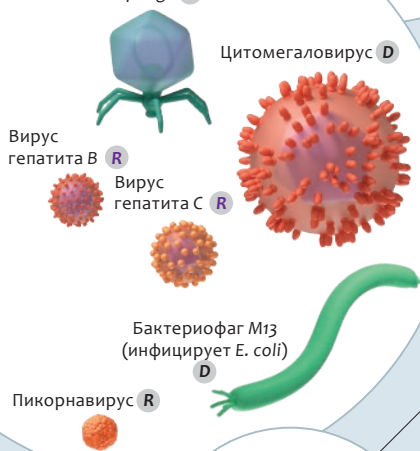
Грудное молоко

Бактериофаги, инфицирующие миовирус D



Желудочно-кишечный тракт

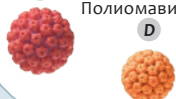
crAssphage D



Мочеполовые пути

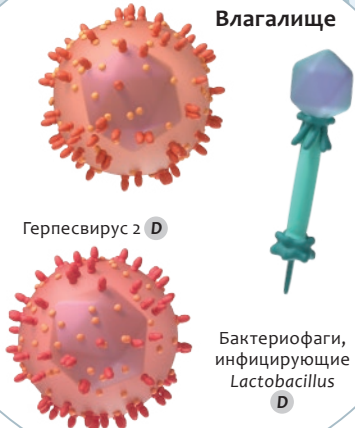
Папилломавирус человека D

Полиомавирусы D



Герпесвирус 1 D

Влагалище



Герпесвирус 2 D

Бактериофаги, инфицирующие Lactobacillus D

Нервная система

Герпесвирус 2 D



Герпесвирус 1 D

Вирус ветряной оспы D

Флавивирусы (желтая лихорадка, лихорадка денге, лихорадка Зика) R

Дыхательные пути



Коронавирусы R

Бактериофаг T12 (инфицирует Streptococcus) R

Редондовирус D



Ортомиксовирус R

Пикорнавирус R

Кожа

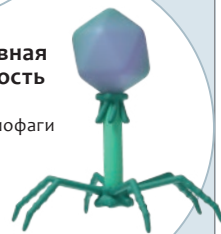


Вирус ветряной оспы D

Папилломавирус человека D

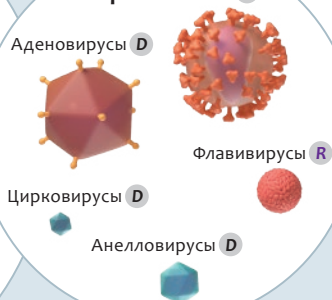
Суставная жидкость

Бактериофаги



Кровь

ВИЧ R



Аденовирусы D

Флавивирусы R

Цирковирусы D

Анелловирусы D

популяций. Так, в странах Запада виromы людей различаются меньше, чем в других частях света. Это может быть связано как с особенностями диеты, так и с состоянием окружающей среды.

Бродяги и домоседы

Многие вирусы человека инфицируют бактерии и лишь некоторые — непосредственно клетки органов и тканей человека. Вероятно, они находятся в меньшинстве потому, что их уничтожает иммунная система. Ивейн Де Вламинк (Iwijn De Vlaminc) из Стэнфордского университета показал, что в тех случаях, когда иммунная система подвергается мощному воздействию, например подавляется с помощью иммуносупрессантов перед операцией по пересадке органов, численность популяции некоторых вирусов резко возрастает, причем это касается и болезнетворных вирусов, и нейтральных. Отсюда следует, что в норме наша иммунная система держит виrom под контролем, но когда контроль ослабевает, вирусы начинают размножаться.

По-видимому, это мы и наблюдаем в ситуации с COVID-19. У тех, кто был инфицирован вирусом SARS-CoV-2, особенно у переболевших в тяжелой форме и тех, чья иммунная система ослабла, могут развиваться сопутствующие инфекции. Чаще всего это вторичная бактериальная пневмония или бактериемия (резкое повышение количества бактерий в крови), вызываемые такими бактериями, как *Staphylococcus aureus* и *Streptococcus pneumoniae*. Менее распространены сопутствующие вирусные инфекции, например опосредуемые вирусами гриппа, респираторным синцитиальным вирусом и аденовирусом. Вирусы, находящиеся в спящем состоянии и до поры до времени безвредные, при определенных обстоятельствах могут активироваться. Таковы, например, вирус Эпштейна — Барр и цитомегаловирус. Когда иммунная система направляет весь свой потенциал на борьбу с COVID-19, организм оказывается более чувствительным к другим вирусам.

Многие фаги долгое время живут в согласии с организмом-хозяином и никогда не провоцируют заболевание. Проникнув в бактериальную клетку, они встраивают свой генетический материал в ее геном и никак себя не проявляют. Возможно, такова их стратегия выживания. Когда бактериальная клетка делится, создавая копию своего генома, происходит удвоение и генома фага. В этом случае выживаемость клетки-хозяина обеспечивает выживаемость фага, так что последний кровно заинтересован в жизнестойкости своего хозяина. Но какая выгода от этого бактерии — неясно. Как бы то ни было, многие бактерии, обитающие в нашем теле, приспособились к совместной жизни с фагами.

При определенных условиях спящие фаги пробуждаются и начинают реплицироваться в бактериальной клетке. В некоторых случаях их потомки

захватывают с собой бактериальные гены. Со временем эти гены могут оказаться в чем-то полезными другим бактериям, которых вирусные потомки инфицируют. Например, я идентифицировал в слюне человека фаги, несущие гены, которые помогают бактериям ускользнуть от иммунного ответа. А в геноме некоторых фагов присутствуют гены устойчивости к антибиотикам. Фагам такие гены не нужны, поскольку антибиотики на фагов не действуют. Зато они повышают жизнестойкость бактерий и тем самым обеспечивают выживаемость фагов.

Вот еще один пример того, как фаги оказывают услугу своим бактериям-хозяевам. Бактерия *Pseudomonas aeruginosa*, известная прежде всего своей причастностью к развитию пневмонии, имеет отношение и к другим патологиям. Люди, страдающие какими-либо легочными заболеваниями, например муковисцидозом, не могут избавиться от этой бактерии даже с помощью самых мощных антибиотиков. У некоторых бактерий в геноме встроены гены так называемых нитчатых фагов. В 2019 г. группа биологов из Стэнфордского университета, в которую входили Элизабет Бергенер (Elizabeth Burgener) и Пол Боллики (Paul Bollyky), обнаружила, что нитчатые фаги могут образовывать белково-углеводную пленку, которая защищает хозяйскую бактерию от антибиотиков. В результате бактерия продолжает свое черное дело — размножается и продлевает болезнь.

Вирусы-помощники

Сам собой возникает вопрос: нельзя ли использовать вирусы, населяющие наш организм, для улучшения состояния здоровья человека? Мы уже сталкивались с подобной их ролью, реализуемой естественным путем. Во время циркуляции фаговых частиц в поисках бактерий некоторым из них попадают клетки, расположенные на слизистой, которая выстилает полость носоглотки, желудка и кишечника. В этих клетках они размножаться не могут и просто находятся внутри в ожидании, когда вблизи окажется подходящая бактерия.

Теоретически этот процесс может защищать нас от некоторых болезней. Предположим, что вы проглотили с пищей бактерии *Salmonella* и они осели на слизистой желудка. Если бы эти бактерии были инфицированы фагом, то он уничтожил бы их до того, как разовьется болезнь. В этом случае фаги выполняют функцию иммунной системы, которая защищает нас от инфекций. Конкретно с такой ситуацией мы не сталкивались, но в 2019 г. одна из групп финских ученых показала, что фаговые частицы, осевшие на слизистой у свиней и радужной форели, остаются там в течение семи суток и защищают животных от специфических бактерий.

Последнее время большое внимание к себе привлекает фаг *cAssphage*, который в 2014 г. идентифицировал Баз Дютель (Bas Dutilh) из Института

молекулярных наук о жизни им. св. Радбода Утрехтского в Нидерландах. Проведенные с тех пор исследования показали, что этот фаг содержится в организме большинства людей по всему земному шару — за исключением, возможно, членов популяций, традиционно занимающихся охотой и собирательством. Вирусологи полагают, что он причастен к преобладанию широко распространенной кишечной бактерии *Bacteroides*. Если это так, то мы могли бы использовать его для поддержания в норме состояния желудочно-кишечного тракта. Фаг *crAssphage* содержится в фекалиях человека в таком большом количестве, что его используют при тестировании питьевой воды на загрязнение ее сточными водами.

Врачей интересуют больше всего те фаги, которые могли бы способствовать решению проблемы множественной устойчивости бактерий к антибиотикам. Ситуацию несколько не улучшает создание новых препаратов. По оценкам ВОЗ, к 2050 г. жертвами таких патогенов будут ежегодно становиться не менее 10 млн человек, так что альтернативная терапия жизненно необходима. Фаги были открыты более 100 лет назад, и врачи неоднократно пытались использовать их для борьбы с бактериальными инфекциями, но без особого успеха. А в 1940-х гг. с появлением антибиотиков эти попытки вообще прекратились. Сегодня некоторые ученые-медики, например группа исследователей из Рокфеллеровского университета, которые использовали один из фаговых ферментов для уничтожения устойчивой к метициллину бактерии *Staphylococcus*, вновь обратились к фаговой терапии — уже на новом уровне.

Долгое время врачи не решались прибегать к помощи фагов, поскольку не знали, как отреагирует на них иммунная система — не ответит ли она слишком сильным воспалением? Фаги, предназначенные для использования в медицинских целях, выращивают в бактериальной культуре, и если бактерии перед введением фагов больному удалены из препарата не полностью, то в организме может возникнуть мощный иммунный ответ. Сегодня благодаря разработке новых методов очистки фагов можно не опасаться побочных эффектов подобного рода.

Что действительно сдерживает внедрение фаговой терапии в медицинскую практику, так это трудности с поиском эффективных фагов. Исследование возможных естественных мест, где они могли бы находиться, заняло не один год. После того как выяснилось, что излюбленная среда обитания фагов — это фекалии, слюна и мокрота, стало ясно, что искать фаги следует на очистных станциях.

Несколько полученных таким путем фагов апробировали в лаборатории, а в 2016 г. коктейль фагов из сточных вод и других источников помог

вылечить профессора Тома Паттерсона (Tom Patterson) из Калифорнийского университета в Сан-Диего, у которого многие органы были поражены *Acinetobacter baumannii*, печально известной бактерией, нечувствительной ни к одному антибиотику.

Будем здоровы!

Теперь, когда мы знаем гораздо больше о роли виroma человека, можно шире использовать его в терапевтических целях. Александр Рейес (Alejandro Reyes) из Университета Вашингтона в Сент-Луисе показал, что фаги из виroma мышей могут быть связаны с изменением бактериального сообщества, хотя неизвестно, что изменяется в первую очередь — вирусы или бактерии. Если это вирусы, то под их влиянием формируются бактериальные сообщества, а если бактерии, то вирусы адаптируются к ним. Виром претерпевает значительные изменения при периодонтите и воспалении кишечника.

Детальное исследование виroma человека займет немало времени, но уже сейчас стоит оценить, какие успехи в этой области достигнуты за последнее десятилетие. Еще совсем недавно микробиом считался некой пассивной субстанцией, ансамблем крошечных организмов, обитающих в выстилке стенок некоторых органов, прежде всего кишечника. Сегодня мы знаем, что какие-то компоненты микробиома действительно пассивны, но другие весьма активны и изменчивы. Самые динамичные его члены — вирусы. В одном исследовании, проведенном в 2018 г., показано, что в головном мозге человека, умершего от болезни Альцгеймера, содержались в необычайно большом количестве герпес-вирусы. Далее, в мае 2020 г. в Университете Тафтса был поставлен следующий эксперимент: в полученную искусственным путем мозговую ткань инъецировали вирус простого герпеса первого типа (ВПГ-1), и через некоторое время в ней образовалось огромное количество амилоидных бляшек, что характерно для болезни Альцгеймера. Поразительно, как много нового мы узнаем о давно известных и, казалось бы, хорошо изученных вирусах.

Впереди нас ожидает обнаружение новых вирусов, влияющих на состояние здоровья человека, и новых подходов к использованию этих микроорганизмов для манипуляций с нашим микробиомом и защиты нас от различных болезней. Если человек научится контролировать «плохие» вирусы и использовать «хорошие», то приблизится еще на один шаг к тому, чтобы стать суперорганизмом. ■

Перевод: Н.Н. Шафрановская

ИЗ НАШИХ АРХИВОВ

■ Шмидт Ч. Фаговая терапия на пороге // ВМН, № 1–2, 2020.



WELCOME TO

CONSPIRACY UNREST

MIS INFORMATION

COVID 19

We the People

ИСТИННОЕ ЧИСЛО СМЕРТЕЙ *от* COVID-19

Президент Трамп и другие сторонники теории заговора уверяли, что количество смертей от *COVID-19* преувеличено. Но существуют три типа данных, доказывающих, что в США от этого заболевания умерло более 250 тыс. человек

Кристи Ашванден

ПО СОЦИАЛЬНЫМ СЕТЯМ УПОРНО ПРОДОЛЖАЕТ ЦИРКУЛИРОВАТЬ ложное утверждение, что якобы число смертей от *COVID-19* намного меньше того, которое указано в официальных данных, и, соответственно, опасность заболевания сильно преувеличена. В августе президент Дональд Трамп поделился в *Twitter* записью, где сообщалось, что среди всех зарегистрированных смертей только 6% были действительно из-за *COVID-19*. (Автор поста был последователем опровергнутой конспирологической выдумки *@Anon*.) *Twitter* удалил эту запись, поскольку в ней содержалась ложная информация, однако подобные слухи продолжают распространяться. В сентябре Роджер Маршалл, который покинул свой пост члена палаты представителей от Канзаса, чтобы стать сенатором, пожаловался, что *Facebook* удалил его сообщение, в котором утверждалось, что 94% смертей от *COVID-19*, о которых сообщили Центры по контролю и профилактике заболеваний (ЦКЗ), «последовали из-за двух-трех дополнительных тяжелых заболеваний, характерных для пожилых людей».

ОБ АВТОРЕ

Кристи Ашванден (Christie Aschwanden) пишет о науке, автор книги «Полная готовность: что спортсмены могут узнать из странной науки о восстановлении» (*Good to Go: What the Athlete in All of Us Can Learn from the Strange Science of Recovery*, 2019).



А теперь некоторые факты. Исследователи точно знают, что количество летальных исходов *COVID-19* в США к ноябрю 2020 г. превысило четверть миллиона. Эти данные подтверждаются тремя типами доказательств, в том числе выданными свидетельствами о смерти. По словам Роберта Андерсона (Robert Anderson), главного по статистике смертности в Национальном центре статистики в области здравоохранения, заблуждение, что только 6% смертей действительно вызваны коронавирусной инфекцией, возникает из-за «полного непонимания» того, как оформляется свидетельство о смерти.

Масштабы смертности от *COVID-19* известны, даже если точное число жертв немного различается в разных отчетах. «Мы вполне уверены в масштабах и порядке величин, хотя точного количества смертей пока не знаем», — говорит эпидемиолог Школы общественного здравоохранения Блумберга при Университете Джонса Хопкинса Джастин Лесслер (Justin Lessler). Чтобы разобраться, почему подсчеты верны, необходимо понимать, как собираются и обрабатываются данные.

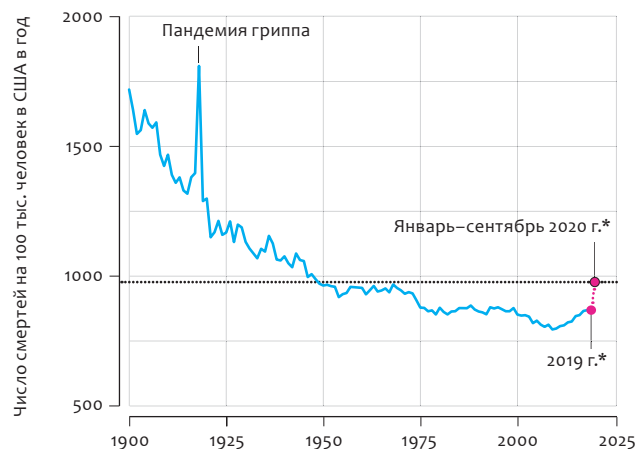
Первый источник данных о смерти — это эпиднадзор за случаями. Медицинские работники обязаны сообщать в департаменты здравоохранения штатов о случаях заболевания и смерти от определенных заболеваний, таких как корь, паротит, а теперь и *COVID-19*. Далее информация поступает в ЦКЗ, говорит Андерсон. Руководительница Национальной ассоциации статистики и информационной службы здравоохранения Шона Уэбстер (Shawna Webster) поясняет, что данные

COVID-19 стал третьей по значимости причиной смерти в США

В 2020 г. это заболевание убило больше людей, чем грипп, а также обогнало инсульт, болезнь Альцгеймера и диабет.

Несколько роковых месяцев свели на нет десятилетия медицинских достижений

В первые девять месяцев в США умерло больше людей, чем за любой такой же период в последние 50 лет, когда в связи с улучшением здоровья наблюдалось снижение смертности.



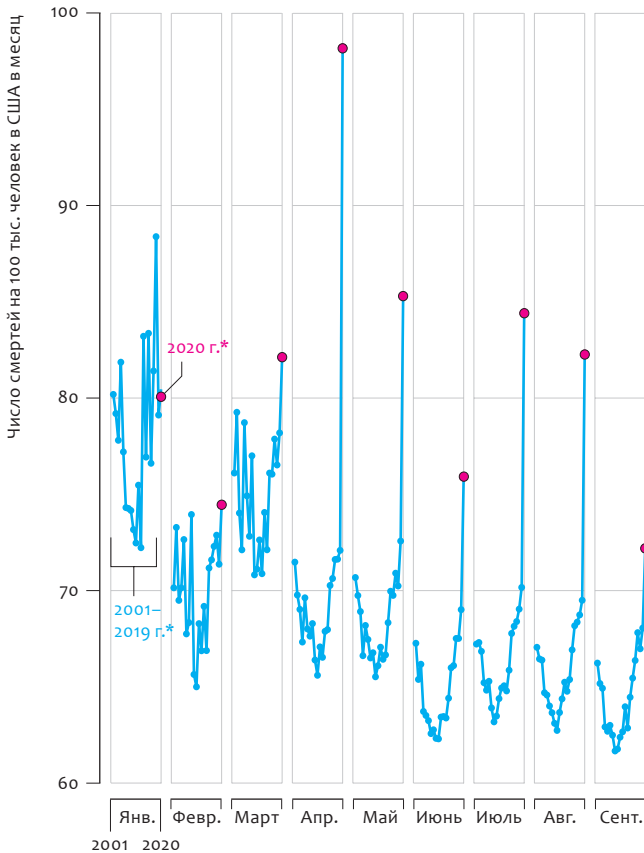
*Показатели 2019 и 2020 гг. — предварительные и, вероятно, неполные по последним месяцам. Смертность 2020 г. пересчитана на год по данным за период от января по сентябрь. Люди пожилого возраста умирают чаще, и *COVID-19* сильнее влияет на эту часть населения, чем на более молодую. Поэтому показатели, выравненные по возрасту, будут ниже, чем приведенные здесь необработанные данные (более 940 смертей на 100 тыс. человек).

эпиднадзора «собраны на скорую руку». Она говорит, что штаты накапливают всю возможную информацию об этих заболеваниях, но это лишь первичные данные, которые никто не перепроверяет и не учитывает потерянные лабораторные анализы. Поэтому надо смотреть на следующий источник данных — записи актов о смерти.

Эта вторая группа данных поступает от Национальной системы учета актов гражданского состояния, которая выдает свидетельства о рождении и смерти. Когда кто-нибудь умирает, свидетельство о смерти заполняется в том штате, где случилась смерть. После регистрации на уровне штата данные отправляют в Национальный центр статистики в области здравоохранения, который на государственном уровне учитывает случаи смерти. Свидетельства о смерти не заносятся в систему до тех пор, пока не будут получены

Апрель был самым жестоким месяцем, когда заболеваемость COVID-19 стала расти по экспоненте

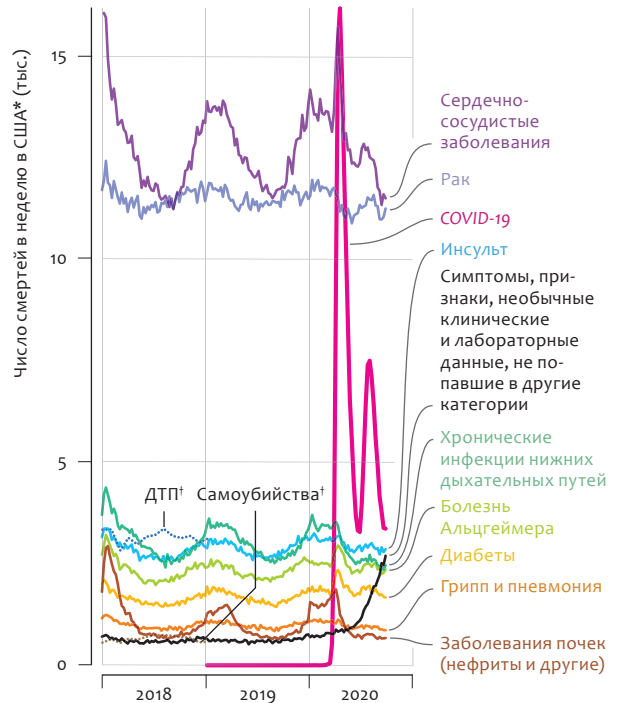
За последние два десятилетия максимальная смертность в США была отмечена в апреле 2020 г. Показатель снизился в мае и июне, но начал снова расти в июле.



*Показатели 2019 и 2020 гг. — предварительные и, вероятно, неполные по последним месяцам.

В 2020 г. COVID-19 обогнал семь главнейших причин смерти

На этом графике показаны смерти за неделю по десяти самым распространенным причинам, согласно рейтингу 2017 г., а также данные по COVID-19 и условная категория для необычных клинических и лабораторных случаев (в нее попали случаи, ожидающие подтверждения анализа на COVID-19, которые впоследствии могут быть пересмотрены органами здравоохранения). За последние две недели апреля от COVID-19 умерло больше американцев, чем от сердечно-сосудистых заболеваний.



* Показатели 2019 и 2020 гг. — предварительные и, вероятно, неполные по последним месяцам. Частота смертей, связанных с заболеваниями кровеносной (в том числе и сердца) и дыхательной систем, зависит от времени года и повышается в холодные зимние месяцы. † Смертность в дорожно-транспортных происшествиях и вследствие самоубийства приведена по ежемесячным отчетам. Данные за 2019–2020 гг. недоступны.

результаты всех текущих анализов и не будет собрана максимально возможная информация. По словам Уэбстер, к тому моменту, как эта запись попадает в систему учета актов гражданского состояния, «она настолько точна, насколько это вообще возможно».

В свидетельстве причину смерти заполняет врач, патологоанатом или судмедэксперт. По словам Андерсона, сотрудник должен указывать только те состояния, которые вызвали смерть или способствовали ей. В одной графе надо перечислить всю последовательность событий, приведших к смерти. «Мы пытаемся действительно разобраться, как определенное расстройство или заболевание запустило ту цепочку событий, которая привела к смерти, — объясняет Андерсон. — В случае COVID-19 причиной смерти может быть, например, острая дыхательная недостаточность,

резвившаяся из-за пневмонии, вызванной коронавирусом». По его словам, во второй части свидетельства перечисляют другие болезни, которые тоже могли способствовать смерти, хотя и не попали в последовательность событий, приведших к ней. Их называют сопутствующими заболеваниями, и их можно рассматривать как дополнительные факторы, непосредственно не участвующие в цепочке причин и следствий, вызвавших в итоге смерть. Часто такими сопутствующими заболеваниями при коронавирусной инфекции бывают диабет и болезни сердца, которые могут сделать человека более уязвимым перед вирусом SARS-CoV-2, но на самом деле, как утверждает Андерсон, «люди умирают не от хронических заболеваний».

Лесслер говорит: «Когда мы задаемся вопросом, убил ли человека COVID-19, это означает: "Умер бы этот кто-то так же рано, если бы не заразился

вирусом?"» Даже если у человека есть расстройство, сокращающее продолжительность жизни, он мог бы еще прожить пять, десять и более лет, если бы не заболел *COVID-19*.

Значение (6%), которое распространяют Трамп и *QAnon*, взято из еженедельного отчета ЦКЗ, где указано, что в 6% случаев смерти от коронавирусной инфекции в свидетельстве о смерти *COVID-19* был указан в качестве единственной причины. По словам Андерсона, такое наблюдение вероятнее всего означает, что документы не были заполнены должным образом, потому что в них написана только изначальная причина и не указана вся последовательность событий, приведших к смер-

Даже если человек умирает от коронавирусной инфекции, не имея никаких других заболеваний, у него все равно должны быть отмечены сопутствующие нарушения, такие как, например, вызванная *COVID-19* дыхательная недостаточность. Присутствие в свидетельстве о смерти сведений о других заболеваниях кроме *COVID-19* не исключает смерть от вирусной инфекции

ти. Даже если человек умирает от коронавирусной инфекции, не имея никаких других заболеваний, у него все равно должны быть отмечены сопутствующие нарушения, такие как, например, вызванная *COVID-19* дыхательная недостаточность. Андерсон подчеркивает: ошибочно думать, что присутствие в свидетельстве о смерти других заболеваний кроме *COVID-19* означает смерть не от вирусной инфекции.

Данные эпиднадзора и записи актов гражданского состояния дают довольно точную картину смертности от *COVID-19*, но не охватывают все связанные с ним смерти. Последняя группа данных — это избыточная смертность. Как объясняет врач

и исследователь здоровья населения Медицинской школы Университета Содружества Виргинии Стивен Вульф (Steven Woolf), так называется количество смертей, превышающее исторически характерное число для этого периода времени. В своей статье, опубликованной в октябре 2020 г. в журнале Американской медицинской ассоциации (*JAMA*), Вульф с коллегами проанализировали реальное количество смертей, произошедших в период с 1 марта по 1 августа, и сравнили их с ожидаемыми значениями. Они обнаружили, что по сравнению с прошлым годом число умерших выросло на 20%. Это 225 530 избыточных случаев.

В двух третях таких случаев в свидетельстве о смерти указан *COVID-19*. У Вульфа есть два объяснения оставшейся трети. Некоторые из таких смертей были вызваны *COVID-19*, но это не было задокументировано (например, потому что человек умер дома и никогда не делал анализ на коронавирус) или в свидетельстве была допущена ошибка. А некоторые из смертей, возможно, произошли вследствие пандемии, но не из-за вирусной инфекции непосредственно. В качестве примера Вульф предлагает представить человека с болью в груди, который боится ехать в больницу, потому что не хочет подхватить там вирус, и поэтому умирает от сердечного приступа. Вульф называет это «побочной смертностью». Он говорит, что «подобные смерти вызваны не вирусом напрямую, но произошли из-за пандемии».

Показатели в исследовании Вульфа взяты из предварительных данных о смертности, которые ЦКЗ еще не проверяли на предмет ошибок в записях или других проблем. Однако он уверен в своих результатах, потому что они были многократно воспроизведены как его группой, так и другими исследователями. «Все вдумчивые анализы этих данных свидетельствуют, что цифры смертности, которое мы слышим в новостях, занижены», — подытоживает Вульф.

В настоящее время *COVID-19* — третья по значимости причина смерти в США, и количество жертв продолжает увеличиваться по мере роста числа новых заражений, госпитализаций и летальных исходов по всей стране. Возможно, мы никогда не узнаем точных цифр, даже после окончания пандемии, но уже сейчас количество оборванных жизней ошеломляет. ■

Перевод: М.С. Багоцкая

ИЗ НАШИХ АРХИВОВ

■ Льюис Т. Ложная информация о *COVID-19*, которая не исчезнет / Противостоять дезинформации (Специальный репортаж) // ВМН, № 1–2, 2021.



ИНТЕРНЕТ-ПОРТАЛ

Научная Россия



Взгляд на науку
с пристрастием

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

scientificrussia.ru

ЖИЗНЬ, ПОЛНАЯ СТРЕССА



О стрессоустойчивости и позитивном влиянии стресса беседуем с академиком **Людмилой Павловной Филаретовой**, директором Института физиологии им. И.П. Павлова РАН и руководителем созданного в 2020 г. Научного центра мирового уровня (НЦМУ) «Павловский центр "Интегративная физиология — медицине, высокотехнологичному здравоохранению и технологиям стрессоустойчивости"».





— **«Каждый человек испытывал его, все говорят о нем, но никто не дает себе труда выяснить, что же такое стресс», — эти слова, написанные в середине 1970-х гг., принадлежат великому канадскому ученому Гансу Селье, который посвятил изучению стресса десятки лет и ввел это слово в современный язык. Что изменилось с тех пор в представлениях о том, что же такое стресс?**

— Если проанализировать количество публикаций, связанных с исследованием того или иного аспекта стресса, начиная с 1936 г. — времени появления исторической статьи Ганса Селье в журнале *Nature*, — то можно увидеть, что каждые десять лет количество публикаций удваивается. Собственно, с того момента в современной науке и началось исследование биологического стресса. Ученики Селье — профессора Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе Иветт Таше и Шандор Сабо, профессор Международного института биологических наук (*ILSI*) в Брюсселе Арпад Шомоди — писали в журнале *Stress*, какую волну исследований породила эта небольшая статья, состоявшая из двух колонок и опубликованная в разделе «Письма редактору». Она называлась «Синдром, вызываемый различными повреждающими агентами», то есть тогда Ганс Селье еще не ввел в научную терминологию слово «стресс», а использовал понятие «синдром».

Опубликованные им результаты собственных исследований на экспериментальных животных показали, что стимулы различной модальности могут вызывать один и тот же синдром, который проявляется знаменитой триадой стресса (симптомами с изменением морфологических признаков): гипертрофией коры надпочечников, инволюцией тимико-лимфатического аппарата и образованием язв в желудке. Очень важно обратить внимание на то, что Ганс Селье использовал понятие «общий адаптационный синдром», изначально показав, что его развитие происходит на уровне целого организма и имеет исходно позитивный,

адаптационный характер. Уже позднее он вводит термин «стресс», позаимствованный из физики и означающий напряжение.

Определение стресса, которое дал Ганс Селье и которого в целом и сегодня придерживаются большинство исследователей, звучит так: «Стресс — это неспецифическая реакция организма на любые предъявляемые ему требования». Стоит отметить, что в наши дни допускается и достаточно вольная трактовка этого термина, кроме того, нередко происходит перенос с целого организма на отдельные его части. Подобное, к сожалению, наблюдается и в отношении базового понятия физиологии — гомеостаза. Гомеостаз и стресс взаимосвязаны. Иногда стресс определяется как реакция организма на угрозы гомеостазу.

Упомянутые мной ученики Ганса Селье организовали ежегодную международную Летнюю школу по стрессу для молодых исследователей и студентов. Программа школы аккредитована Калифорнийским университетом в Лос-Анджелесе, она проходит в разных странах. В 2019 г. ее принимал наш институт. Лекторы школы, известные ученые в области стресса, не только освещают современные знания, но и уделяют большое внимание важности правильного использования терминов и определений, понимания стресса. Всегда напоминает о том важном, о чем писал Селье: «Стресс — это соль жизни», «Полное устранение стресса смерти подобно».

Мы ежедневно сталкиваемся с этим термином, и большинство людей воспринимают стресс как исключительно негативное явление, что неправильно. Изначально стресс — очень важная адаптивная реакция, благодаря которой организм, встретившись с каким-то чрезвычайным воздействием (стрессором), отвечает стрессорным адаптационным ответом, который заключается в скоординированной мобилизации многих систем. Благодаря этой содружественной мобилизации функциональная активность этих систем и всего организма повышается и, как следствие, возрастает его адаптационный потенциал.

— **Можно ли задавать малые дозы стрессорного воздействия и использовать их как лекарство? То есть сделать стресс управляемым?**

— Многие люди так и делают, чаще всего даже не осознавая этого. Здоровье определяется очень многими факторами, в том числе и стрессоустойчивостью. Мы говорим, что для здоровья необходима двигательная активность. По сути, бег, ходьба, другая физическая активность — это не что иное, как естественные стрессоры, повышающие адаптационные возможности организма.

Наша лаборатория (в рамках выполнения гранта РФФИ) проводит исследования влияния двигательной активности, в частности бега, добровольного и принудительного (исследование проводится

на крысах), на состояние организма и прежде всего на чувствительность желудка к язвобразующим (язвообразующим) стимулам. Мы показали: если умеренный бег предшествует такому стимулу, чувствительность к нему уменьшается. Это яркий пример позитивного влияния бега. Конечно, мы интересуемся механизмами этих эффектов, прежде всего ролью глюкокортикоидных гормонов.

— То есть та группа, которая бегала, оказалась более защищенной?

— Совершенно верно. У этой группы наблюдалось значительно меньше эрозивных повреждений слизистой оболочки желудка. Причем бегали они в течение 15 минут в умеренном режиме. Однако у нас есть и модели интенсивного бега, при котором этот позитивный гастропротективный эффект трансформировался и становился негативным. То есть при интенсивном и более длительном режиме бега количество эрозий слизистой увеличивалось. Есть данные о позитивном и негативном влиянии бега, полученные и на человеке. В частности, бегуны-марафонцы нередко подвержены образованию эрозивных повреждений в желудке, что свидетельствует о чрезмерной интенсивности нагрузок.

— Вопрос в том, как не перейти эту грань. Кто-то ходит в баню, кто-то окунается в прорубь, кто-то голодает... Как правильно использовать эти стрессорные факторы на благо организма?

— Восприимчивость к стрессорам — мы хорошо видим это в экспериментах на животных — не бывает абсолютно одинаковой. Поэтому первое, о чем нужно сказать: использование естественных стрессоров принесет пользу организму, укрепит здоровье — и, соответственно, есть большая надежда на то, что оно увеличит продолжительность жизни. Однако при этом очень важен индивидуальный подход к выбору режима этой активности. Скорость и степень увеличения первоначальной нагрузки должны варьировать для каждого

человека в зависимости от его состояния здоровья и степени подготовленности. Главный критерий здесь — ответная реакция организма. Она нужна для запуска позитивного адаптационного ответа. Организму необходимо почувствовать нагрузку, но она не должна быть чрезмерной.

— Каков здесь механизм?

— Стрессорная нагрузка должна простимулировать ключевые гормональные системы, только тогда мы получим адаптационное, полезное влияние. Прежде всего, это так называемые симпатoadреналаовая и гипоталамо-гипофизарно-адренортикальная системы. Первая отвечает за экстренный, более быстрый ответ организма, который выражается в выбросе физиологически активных веществ — катехоламинов (например, адреналина), а вторая — за следующий за ним выброс в кровь глюкокортикоидных гормонов.

Вклад симпатoadреналаовой системы и роль катехоламинов, образующихся прежде всего в надпочечниках (в его мозговом слое), в ответ организма на чрезвычайные воздействия открыл американский физиолог Уолтер Кеннон еще в начале прошлого века. Он назвал этот ответ «реакцией борьбы или бегства»: «бей или беги». Вслед за ним Ганс Селье показал, что глюкокортикоидные гормоны, продуцируемые в коре надпочечников в ответ на действие стрессора, — это ключевые «гормоны стресса».

На самом деле мы говорим не только о корковом веществе надпочечников. Ганс Селье сделал революционное открытие — экспериментально доказал ключевую роль оси «гипофиз — кора надпочечников» (гипофизарно-адренортикальной оси), ответственной за продукцию глюкокортикоидных гормонов при стрессе, в реализации стрессорного ответа. В переднем гипофизе выделяется адренортикотропный гормон (АКТГ), который поступает в кровь и стимулирует синтез и выброс глюкокортикоидных гормонов в коре надпочечников.



Начиная с 1936 г. — года появления исторической статьи Ганса Селье «Синдром, вызываемый различными повреждающими агентами» в журнале Nature — каждые десять лет количество публикаций о стрессе удваивается (справа); Ганс Селье в 1970-е гг. (вверху)



Что еще очень важно, Селье поставил вопрос о первом медиаторе стресса, предположив, что это некая субстанция гипоталамического происхождения. А уже его ученик, французско-американский нейроэндокринолог Роже Гиймен (в 1977 г. он стал нобелевским лауреатом «за открытия, связанные с секрецией пептидных гормонов мозга»), начал заниматься непосредственно поиском этой субстанции и в 1955 г. дал ей название, которое используется и сейчас: «кортикотропин-релизинг-фактор» (КРФ). Структуру КРФ расшифровал в 1981 г. его ученик Вилли Вейл.

Именно КРФ играет ключевую роль в реализации координирующей роли стресса, этот нейропептид можно сравнить с дирижером большого оркестра. В ответ на разные входы в гипоталамус активируется вся система, осуществляется последовательное высвобождение КРФ, АКТГ и глюкокортикоидных гормонов и система регулируется по механизму обратной связи.

Ведь что происходит во время стресса? Быстрый выброс катехоламинов и, чуть позднее, иногда на пятой, десятой, 15-й минуте, выброс глюкокортикоидных гормонов, основной из которых у человека — кортизол. Нормальный, здоровый стрессорный ответ состоит в том, что вслед за выбросом (увеличение продукции в зависимости от стимула может быть в пять, десять, иногда в 20 раз по сравнению с исходным) происходит восстановление системы и уровень гормонов возвращается к норме именно за счет включения в действие механизмов отрицательной обратной связи.

— Какие в этой области остались невыясненные вопросы? В чем состоит главная загадка стресса на сегодня?

— Как и в любой области знаний, здесь нет предела; получая ответ на один поставленный вопрос, наука ставит новые. Изучение стресса — не исключение.

Если говорить о том, что еще не исследовано, то центральная проблема, с моей точки зрения, — механизмы трансформации исходно физиологических, адаптивных эффектов стресса в патологические последствия. Как следствие — «управляемый стресс». Эта проблема занимает центральное место в наших исследованиях и в планах вновь созданного НЦМУ по интегративной физиологии.

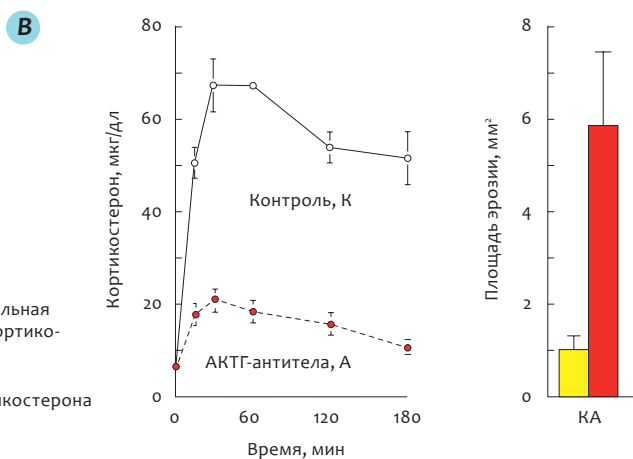
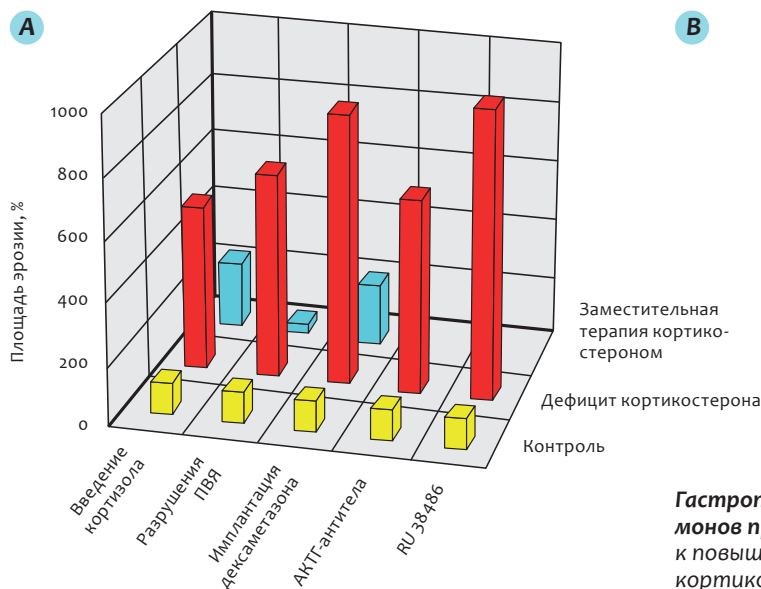
Отвечая на вопрос, хочу привести еще один пример — как в результате наших исследований удалось опровергнуть и пересмотреть устоявшиеся многолетние догмы и прийти к совершенно новому знанию. Это связь между стрессом и образованием язвы желудка, о чем слышал, наверное, каждый. Я упомянула о триаде стресса, открытой Гансом Селье, в которой фигурирует гипертрофия коры надпочечников. Теперь мы понимаем, что гипертрофия — это отражение усиленной продукции глюкокортикоидных гормонов. В триаде

стресса — и стрессорные язвы желудка. Конечно, у нас не на любой стресс образуются язвы, но сильное стрессорное воздействие, хронический стресс все-таки могут способствовать их образованию наряду с другими факторами. Когда Селье объединил в одну триаду эти два симптома, многие связали увеличенную продукцию глюкокортикоидных гормонов и образование язвы желудка в единую цепочку и очень быстро пришли к выводу, что именно эти гормоны, которые в больших количествах продуцируются при стрессе, становятся причиной стрессорного язвообразования. На самом деле Селье этого не показал, но задавался этим вопросом и сделал вывод, что глюкокортикоидные гормоны, наверное, не выступают причиной язвы желудка, хотя и могут вызывать ее при определенных условиях.

Ошибочная точка зрения, что именно глюкокортикоидные гормоны — причина язвообразования при стрессе, господствовала в течение нескольких десятилетий и основывалась прежде всего на клинических данных. В 1950 г. американские исследователи Филипп Хенч, Эдуард Кендалл и Тадеуш Рейхштейн получили Нобелевскую премию за открытие противовоспалительных свойств АКТГ и глюкокортикоидных гормонов, показав, что эти их свойства помогают пациентам с ревматоидными артритами. На самом деле это Ганс Селье впервые открыл противовоспалительные свойства глюкокортикоидных гормонов, получив соответствующие данные в экспериментах на крысах и опубликовав результаты в известнейших американских журналах еще в начале 1940-х гг. Хенч не мог не знать об этих работах, однако даже не сослался на них в своей нобелевской речи. Но это уже другая история. С середины прошлого века глюкокортикоидные гормоны начали широко применяться в клинике как противовоспалительное и противоаллергическое средство и в этом качестве остаются незаменимыми до сих пор, особенно сейчас, на фоне пандемии, когда их (прежде всего, синтетический гормон дексаметазон) активно используют при цитокиновом шторме.

Однако очень быстро пациенты и клиницисты столкнулись с побочными эффектами гормональной терапии глюкокортикоидными гормонами, и одним из них стала язва желудка. Исследователи решили, что раз экзогенные гормоны, которые вводятся в больших дозах извне, вызывают язвы, то, соответственно, глюкокортикоидные гормоны, которые в больших количествах продуцируются в организме при стрессе, виноваты в стрессорном язвообразовании. Это заблуждение воспринималось как догма в течение четырех десятилетий, вплоть до наших исследований, и в целом не подвергалось критике.

Моя наука началась в лаборатории экспериментальной эндокринологии нашего института в самом конце 1970-х гг. с исследования гипо-



галамической регуляции гипофизарно-адрено-кортикальной системы. Этому была посвящена кандидатская диссертация, основные результаты которой были опубликованы в *Brain Research*. Когда встал вопрос, чем заниматься дальше, я вспомнила свои ранние студенческие мечты, связанные с интересом к язвообразованию в желудке, чему были особые причины. С самого начала я критически смотрела на обсуждаемую догму.

— Почему?

— Потому что наша лаборатория фокусировалась на исследовании ключевой гормональной системы стресса, принципах ее регуляции и закономерностях ее функционирования. Мне было известно об адаптационных эффектах глюкокортикоидных гормонов, которые продуцируются при остром стрессе. Поскольку я занималась механизмами отрицательной обратной связи, то хорошо понимала, что при введении больших доз гормонов извне происходит торможение выработки собственных глюкокортикоидных гормонов в организме и система часто подавляется на длительный срок. Я предположила, что язву вызывают не вводимые, экзогенные гормоны, а наоборот — дефицит собственных, эндогенных.

На основании этого частного предположения у меня возникла гипотеза, что глюкокортикоидные гормоны, продуцируемые при остром стрессе, не вызывают повреждений слизистой оболочки желудка, а, напротив, ее защищают (оказывают гастропротективное действие). Сначала была задумана и выполнена серия экспериментов на животных, которая подтвердила эту гипотезу. Мы вводили большие дозы кортизола крысам и через семь дней (что очень важно), когда введенный ранее гормон уже был выведен из организма, а дефицит собственной продукции сохранялся, предъявляли различные язвообразующие стимулы —

Гастропротективное действие глюкокортикоидных гормонов при стрессе. Ульцерогенный стрессор приводит к повышению уровня кортикостерона (основного глюкокортикоидного гормона у крыс) и образованию эрозивно-язвенных повреждений в желудке. У контрольных крыс — высокий уровень гормонов и небольшие по площади эрозии (А и В). У крыс с дефицитом стрессорной продукции кортикостерона, созданным с использованием разных моделей, площадь эрозий, индуцированных стрессом, увеличивается (А и В). Заместительная терапия кортикостероном устраняет этот эффект (А). Полученные данные свидетельствуют о гастропротективном действии глюкокортикоидных гормонов при стрессе.

и у животных усугублялось язвообразование. Если мы вводили этим животным, у которых не было собственной выработки гормонов, заместительную терапию (кортикостерон), тогда этого усугубления не происходило. То есть подтвердилось гастропротективное действие глюкокортикоидных гормонов, продуцирующихся при стрессе. Это были первые шаги, вслед за которыми развернулась большая работа на разных экспериментальных моделях, направленная на проверку гипотезы, ее дальнейшее развитие.

Наши результаты очень тяжело воспринимались клиницистами, и критики было очень много. В течение первых десяти лет мы в основном публиковались в отечественных журналах, а в 1998 г. вышла статья в *American Journal of Physiology*, позже появилось много других статей в международных журналах о механизмах гастропротективного действия глюкокортикоидных гормонов. Кстати, именно развитие этих исследований привело к постановке нами вопроса о важности выяснения механизмов трансформации исходного адаптационного действия стресса в дезадаптационные, негативные последствия. Этим вопросом наша лаборатория занимается уже около десятилетия. Думаю, что и сегодня далеко не каждый клиницист знает о важном гастропротективном действии этих гормонов.

— Сейчас вы произнесли ключевую фразу. Это серьезная проблема для физиологии, для наук о человеке — связь с клиникой. Что в вашем

центре делается в рамках трансляционных исследований, в частности по направлению стрессоустойчивости?

— Механизм взаимодействия науки с клиникой заложен в организации нашего НЦМУ. Центр образован на базе консорциума из четырех институтов — Института физиологии им. И.П. Павлова РАН (инициатор и координатор), Института эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова РАН, Института медико-биологических проблем (ИМБП) РАН и ЛЭТИ. Исследования проводятся по десяти направлениям, одно из них — «Фундаментальные и прикладные исследования стресса». Сформирована сильная команда, очень важно, что это комплексное международное исследование, к которому подключены исследователи из США, Японии, Венгрии, Словакии, стран БРИКС.

Помимо этого отдельного направления, практически каждое из других так или иначе связано с изучением стресса. Например, ИМБП РАН, который входит в наш консорциум, обладает уникальными возможностями для исследований влияния такого злободневного стрессорного фактора, как изоляция. Мы знаем комплекс, который был использован в программе длительной изоляции «Марс-500», сейчас там идет работа по новой программе «Сириус». Мы планируем взаимодействовать с нашими коллегами: наши исследования в основном будут проводиться на животных, они же работают с людьми. Основная задача исследований — изучение влияния на организм важных на сегодня стрессорных факторов, не только изоляции, но и обогащенной среды.

Термин «обогащенная среда» сейчас активно используется. В экспериментальных исследованиях на животных показано ее позитивное влияние на пластичность мозга. А вот данных о ее влиянии на другие системы и на организм в целом немного и они достаточно противоречивы. У нас запланировано комплексное исследование влияния этих двух противоположных состояний на животных и на человека.

— Что понимается под термином «обогащенная среда»?

— Прочитав слова Ганса Селье из предисловия к его знаменитой книге *The Stress of Life*: «Эта книга посвящена тем, кто не боится жизни, полной стресса». По сути, это и есть обогащенная среда — образ жизни человека, наполненной различной активностью, интересами, общением. Это изменения в условиях жизни, когда привычная среда дополняется новыми людьми, предметами, событиями, усложняя и обогащая жизнь, что улучшает работу не только мозга, но и организма в целом.

— Свою книгу «Стресс без дистресса» Ганс Селье разделил на две части. В первой был описан чисто биологический аспект проблемы, а вторая посвящена личностной и социальной

психологии. То есть он пытался перенести биологические законы на внутренний мир человека и на жизнь общества. Тогда его критиковали за то, что во второй части он рассуждал о процессах, в которых разбирался не столь хорошо. Но сегодня его идеи звучат совсем по-другому. Что вы об этом думаете?

— Вы говорите о его идее так называемого альтруистического эгоизма: человек стремится вызвать положительные чувства к себе, побуждая других людей доброжелательно относиться к нему за то, что он для них сделал. Такой кодекс поведения за счет улучшения отношений между людьми нацелен на уменьшение негативного стресса и предотвращение болезней. Если касаться критики, действительно, биологический аспект проблемы стресса у Селье имел под собой более основательный фундамент в виде хорошо воспроизводимых результатов экспериментальных исследований. Тем не менее его рассуждения, связанные с личностной и социальной психологией, сегодня востребованы в современном обществе, где психологический стресс наиболее распространен.

Дело в том, что реакция «борьба или бегство» выработана и в большей степени подходит не для современного человека, а для первобытного, а также для животных на воле. Проблема современного человека в том, что у него стрессорная реакция развивается так же, но он, как правило, не может «бороться или убежать». Гормоны выделяют, но их востребованность организмом в выделяемом количестве не всегда существует, что и происходит при хроническом стрессе. Тогда изначально позитивное влияние стрессора может трансформироваться в негативные последствия. Например, стрессиндуцированное кратковременное повышение уровня глюкозы в крови необходимо для организма при остром стрессе, но продолжительное повышение уровня глюкозы при хроническом стрессе может приводить к развитию диабета.

Сейчас главный стрессор для человека — психологический фактор. Стресс у нас в голове: ситуации — реальные или надуманные, которые мы бесконечно прокручиваем.

— Может ли психологический стресс так же стимулировать организм благоприятным образом, как биологический стресс?

— Конечно! Все наши позитивные эмоции — это мощные благоприятные стрессорные факторы. К счастью, мы все испытываем радостные эмоции, кто меньше, кто больше, даже пессимисты. Но все-таки мне хочется верить, что у большинства людей превалирует оптимистический взгляд на жизнь, который важен для здоровья.

Неслучайно Селье ввел два понятия: «эустресс» и «дистресс». В обществе доминирует представление о том, что стресс — это «убийца номер один» современного мира, стресс всегда со знаком минус.

А все потому, что негативные последствия стресса видимы, а позитивные нет, мы их, как правило, даже не осознаем. Это подобно тому, как мы специально не осознаем здоровье, — мы же не говорим себе «я здоров», — а вот нездоровье замечаем сразу. В своих лекциях я всегда стараюсь представить стресс как источник здоровья и доказываю это на примерах результатов наших исследований.

Люди, живущие насыщенной жизнью, находят себя в тонусе, их защитные силы мобилизованы, что может хорошо отражаться на их здоровье и внешнем виде. Например, сама я не раз в начале своего директорского пути слышала от окружающих: «Ты стала лучше выглядеть». И это несмотря на особые трудности первых лет директорства, перегрузки. Думаю, это следствие постоянной мобилизации, которая держала организм в тонусе. Конечно, здесь важно не переборщить, не уйти из этой стадии адаптации в стадию дезадаптации, когда снижена стрессоустойчивость. К сожалению, и такой опыт у меня имеется.

— У вас есть собственная система стрессоустойчивости?

— Слова «жизнь, полная стресса» напрямую относятся ко мне. Детство, школа, университет, институт, работа в зарубежных лабораториях — жизнь всегда была очень насыщенной. И сейчас, оглядываясь на пятилетнее директорство, руководство большим, очень сложным институтом с большим хозяйством и большими проблемами, в общем могу оценить свой уровень стрессоустойчивости как достаточно высокий. Думаю, сыграл свою роль мой предыдущий жизненный опыт. Кстати, очень важна личная история, ведь часто психологические проблемы тянутся с детства. Моя устойчивость к стрессу берет начало в моей семье, родителях, детстве — все это было очень позитивно. Считаю, что мне в жизни во многом очень повезло: я получила классическое физиологическое образование в нашем Ленинградском университете, специализировалась на кафедре физиологии человека и животных, которой тогда руководил профессор Н.В. Голиков, ученик А.А. Ухтомского. Нам преподавали такие корифеи, как А.А. Заварзин, Ю.И. Полянский, Б.П. Токин. И, конечно, интереснейшая наука, лаборатория экспериментальной эндокринологии с замечательным коллективом, в которой до сих пор работаю. Мне повезло с научным руководителем, Учителем — им был А.А. Филаретов, последователь классической физиологии, ученик Д.Г. Квасова, который в свою очередь был учеником А.А. Ухтомского. Все это моя «обогащенная среда», в которой, полагаю, закалялась моя стрессоустойчивость. К этому можно добавить интереснейшее и богатое многолетнее вовлечение в международное научное сотрудничество в разных аспектах. И, конечно же, общение с большим коллективом института,

научных и ненаучных сотрудников, которое дарит много разнообразных эмоций, закаляет.

Если кратко сформулировать мою систему стрессоустойчивости, то это насыщенная, полная вызовов жизнь, постоянно повышающая адаптационный потенциал, плюс самовоспитание, определенные правила, которые ты берешь себе в арсенал и которым стараешься следовать каждый день.

«Стресс — не то, с чем ты сталкиваешься, а то, как ты на это реагируешь», — я часто использую эти слова Ганса Селье о мудром восприятии разных жизненных событий. Кстати, впервые их услышала в Монреале во время юбилейного симпозиума, посвященного 100-летию со дня его рождения. Там я познакомилась с Мерси Смит, которая работала с Селье, изучая психологические аспекты стресса. Эта женщина на костылях рассказала мне историю своей жизни: как она попала в аварию, как ее дважды переехала машина, как ее еле собрали. И она, ежедневно повторяя эти слова учителя, смогла выжить, жить, даже выйти замуж.


Заставляю себя чаще смотреть на жизнь с высоты птичьего полета, что помогает уменьшать проблемы, с которыми сталкиваешься, отделять важное от суетного. Напоминаю себе о мимолетности человеческой жизни, что хорошо отрезвляет от всяких страданий, нередко и надуманных. Прибегаю иногда к «Заповеди» Редьярда Киплинга: «Владей собой среди толпы смятенной, Тебя кланущей за смятение всех, Верь сам в себя наперекор вселенной И малочисленным отпусти их грех».

Ну и есть определенные правила, которым я следую. Прежде всего, не допускать реакцию прежде ответа: не принимаю решения в эмоциональном состоянии. А если сделать паузу, пусть даже маленькую, немного спокойно подумать, то приходит более сбалансированный ответ.

Конечно же, за редкими исключениями в каждом дне присутствует физическая активность, так необходимая для укрепления стрессоустойчивости. Минимум — утренняя зарядка. Самый типичный для меня вид физической активности — ходьба, правда, шаги в основном наверстываю в выходные. А еще люблю и пропагандирую танцы, которые больше, чем просто физическая активность: это естественный стрессор, привносящий в жизнь много позитива и здоровья.

Очень важно стремиться к чему-то, всегда иметь мечту. Это не пустые банальные слова. Возьмем наш центр. Это воплощение пятилетней мечты, с которой я начала директорство и которой заразила соратников. Свой доклад на ученом совете, который проходил в декабре прошлого года и был посвящен 95-летию нашего института, я назвала «Мечты сбываются». Впереди 100-летний юбилей института. Мечтаем дальше. ■

Беседовала Елена Кокурина

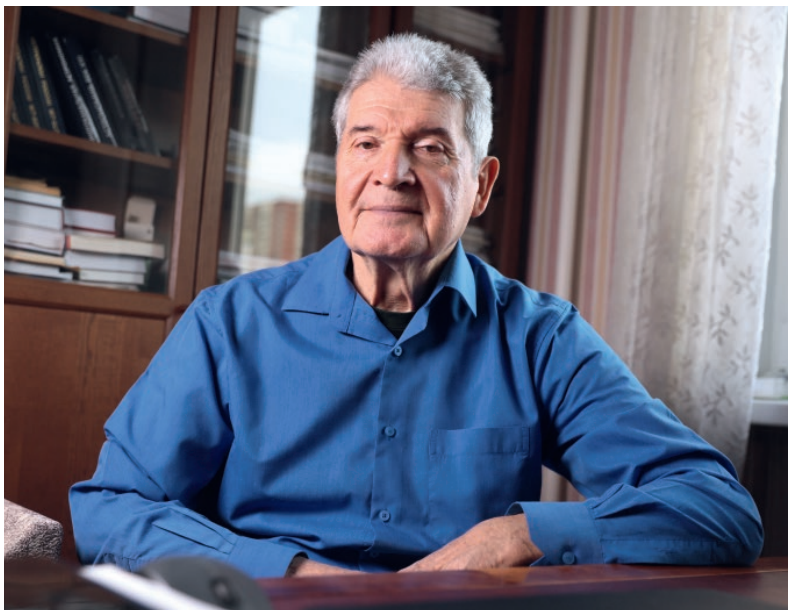


Первая в истории фотография тени сверхмассивной черной дыры, полученная коллаборацией *Event Horizon Telescope* при помощи глобальной сети телескопов (2019)

Магия

ЧЕРНЫХ ДЫР

Черные дыры дают нам новые фундаментальные представления о природе пространства-времени, поэтому их изучению сегодня уделяется так много внимания. Астрофизика, астрономия находятся на переднем крае таких исследований. Об удивительных свойствах черных дыр и о роли астрономии в нашей жизни рассказал известный астрофизик **Анатолий Михайлович Черепашук**, академик, заслуженный профессор МГУ, научный руководитель Государственного астрономического института им. П.К. Штернберга (ГАИШ).



Академик А.М. Черепанук

— Анатолий Михайлович, за последние несколько лет мы стали свидетелями беспрецедентного события: три Нобелевские премии по физике, практически подряд — 2017, 2019 и 2020 гг., — были присуждены за открытия в области астрономии. С чем связан подобный интерес к этой науке?

— Такой интерес к астрономии был всегда, ведь это фундаментальная и очень познавательная наука: всех волнует, есть ли жизнь вне Земли и как родилась Вселенная, что такое загадочные черные дыры и нейтронные звезды и т.д. В последние годы астрономия действительно расцвела, потому что появились новые технологии и средства наблюдений, такие как крупные телескопы, системы приема излучения от астрономических объектов, системы обработки, в том числе искусственный интеллект, большие базы данных, анализ и пр. Накопилось некоторое новое качество изучаемого материала за счет всех этих событий, и в итоге мы имеем три Нобелевские премии за исследования в области астрономии.

В 2017 г. была получена Нобелевская премия за открытие гравитационных волн, в 2019 г. — за космологию и открытие экзопланет, то есть планет вокруг других звезд, в 2020 г. — за изучение черных дыр. Последнюю Нобелевскую премию получили Роджер Пенроуз, Андреа Гез и Райнхард Генцель. Теоретик Пенроуз предсказал существование сингулярности в черной дыре — неизбежное существование сингулярности в любом случае, не только в сферически симметричном, но при самых произвольных начальных условиях.

Сингулярность — это, формально говоря, та точка, в которую сколлапсировало в собственной системе отсчета вещество, ставшее материалом для образования черной дыры. Здесь плотность материи так велика, что известные нам законы физики уже не работают. Ученые предполагают, что в сингулярности царят законы квантовой гравитации, которая пока не разработана. Именно из-за таких экстремальных и загадочных свойств материи в сингулярности многие ученые, в том числе и великий Альберт Эйнштейн, не верили в существование черных дыр. Считалось, что сингулярность есть некий артефакт общей теории относительности, который появляется в случае строго сферически симметричного коллапса. Поскольку в реальном мире всегда имеют место некоторые отклонения от сферической симметрии, ученые надеялись избежать появления сингулярностей. Однако Роджер Пенроуз в 1965 г. в своей замечательной работе доказал, что ее появление неизбежно при произвольных начальных условиях, в том числе при значительных отклонениях от сферической симметрии при коллапсе.

Роджер Пенроуз также доказал существование так называемого горизонта событий у черных дыр, который закрывает эту сингулярность от постороннего наблюдателя. После его работ проблема черных дыр стала не сугубо математической, а вполне реальной, то есть черная дыра стала рассматриваться как реальный объект. Как уже отмечалось, даже сам Эйнштейн, создатель общей теории относительности, не верил до конца своей жизни в существование черных дыр: уж слишком необычны свойства этих объектов.

Андреа Гез и Райнхард Генцель, в свою очередь, были награждены Нобелевской премией за измерение массы «сверхмассивного компактного объекта в центре нашей Галактики». Имеется в виду черная дыра, но, как видите, Нобелевский комитет был очень осторожен с формулировкой и оставил маленькую лазейку на случай, если объект окажется кротовой норой. Гез и Генцель наблюдали движение отдельных звезд вблизи центра галактики Млечный Путь. Это очень трудная задача, потому что центр Галактики скрыт от нас межзвездной средой, пылью, газом, то есть он практически невидим в оптических лучах, для его изучения можно использовать только инфракрасный диапазон.

Кроме того, чтобы заметить звезды вокруг сверхмассивной черной дыры в центре Галактики, нужно иметь очень высокое угловое разрешение, ведь звезды вращаются весьма близко к сверхмассивной черной дыре, а земная атмосфера при этом все искажает. Чтобы избавиться от этих атмосферных искажений, ученые применили оригинальную технологию наблюдений, что помогло им изучить орбиты звезд вблизи нашей черной дыры. То есть Гез и Генцель смогли буквально увидеть, как вокруг некоторого абсолютно темного объекта крутятся по почти замкнутым орбитам звезды со скоростями в тысячи километров в секунду. Это стало очень наглядным определением массы сверхмассивной черной дыры, потому что, зная период вращения и размеры орбиты, можно по третьему закону Кеплера точно вычислить значение центральной массы. Оказалось, что для нашей черной дыры она составляет 4,3 млн солнечных масс.

— А за что конкретно были присуждены премии предыдущих лет, за 2017 и 2019 гг.?

— Нобелевская премия 2017 г. за открытие гравитационных волн подвела итог 50 лет исследований. Гравитационные волны очень трудно зарегистрировать, для этого необходимо использовать новейшие технологии. В этом случае использовались даже разные принципы детектирования гравитационных волн.

Вначале гравитационные волны измеряли с помощью алюминиевых болванок. Затем профессор физического факультета МГУ член-корреспондент АН СССР В.Б. Брагинский выдвинул идею лазерной гравитационно-волновой антенны. Она была опубликована в 1962 г. в работах советских ученых М.Е. Герценштейна и В.И. Пустовойта, учеников В.Л. Гинзбурга. То есть основные идеи были заложены, как часто это бывает, в нашей стране. Но экспериментальная реализация проекта, а она очень

дорогостоящая (порядка миллиарда долларов), была осуществлена в США. Экспериментаторам пришлось преодолеть огромные трудности, потому что нужно было измерить очень маленькие смещения пробных тел, зеркал с очень высокой точностью, при этом сильно мешали помехи в виде сейсмологической активности, температурных флуктуаций и т.д. И только высочайшие новые технологии позволили наконец осуществить задуманное. Реализация такого проекта — это вершина человеческих технологий.

С помощью американской Лазерно-интерферометрической гравитационно-волновой обсерватории (*LIGO*) были открыты гравитационные волны от слияния черных дыр в двойных системах. Кстати, сотрудники нашего института В.М. Липунов, К.А. Постнов и М.Е. Прохоров еще в 1997 г. предсказали, что гравитационно-волновая антенна *LIGO* должна открыть слияние не нейтронных звезд, как ожидалось, а черных дыр. Сегодня это новое направление — изучение черных дыр и нейтронных звезд в момент их последнего вздоха, когда они за счет потери энергии при излучении гравитационных волн сближаются и, наконец, сливаются. Это позволяет проверить общую теорию относительности Эйнштейна во всей ее полноте, в динамике.

Нобелевская премия 2019 г. была присуждена за предсказание неоднородности реликтового фона и за открытие экзопланет. Оказалось, что вокруг далеких звезд движутся планеты, подобные нашим. Уже сейчас открыто несколько тысяч планетных систем вокруг звезд, и среди них встречаются системы, схожие с нашей Солнечной. Открыто несколько десятков планет с температурным режимом, который благоприятствует существованию жизни, там есть жидкая вода и другие подходящие для возникновения жизни условия. Это очень важный подход к проблеме поиска внеземной жизни и внеземных цивилизаций.

Вот за эти гигантские достижения и была присуждена Нобелевская премия по физике за 2019 г., и мы надеемся, что астрономия и дальше будет у всех на слуху, потому что сейчас эта наука переживает самые продуктивные свои годы за всю историю. Например, в нашей стране, в Институте космических исследований РАН, полтора года назад была запущена рентгеновская обсерватория «Спектр-РГ» (СРГ), которая уже два раза отсканировала все небо в рентгеновском диапазоне. Ни у кого в мире сегодня таких данных нет. И она осуществит сканирование еще пять раз, чтобы составить самую богатую и надежную карту

рентгеновского неба, на которой будут миллионы источников, миллионы объектов. Надеемся, что будет проверена в том числе и модель загадочной темной энергии, обладающей отрицательной гравитацией.

— Астрономия была исключена из школьной программы в 1990-е гг., в 2017 г. ее снова вернули. Почему, на ваш взгляд, важно преподавать астрономию в школе?

— Астрономия имеет огромное мировоззренческое значение. Убирать ее из школьной программы, я считаю, было грубейшей ошибкой. Спустя несколько лет после этого опросы ВЦИОМ показали, что 33% населения России считают, что не Земля вращается вокруг Солнца, а Солнце вокруг Земли. Причем когда людей спрашивали, почему они так считают, те отвечали, дескать, мы же видим, как Солнце вращается, значит, оно вращается вокруг Земли. Вот до какого средневекового убожества было доведено наше общество из-за того, что астрономия исчезла из школ!

Восстановление преподавания астрономии в школах было важнейшей задачей, и ученые приложили к этому большие усилия. На тот момент министром науки была О.Ю. Васильева, она пошла нам навстречу и дала указание восстановить астрономию в школе. Но поскольку предмет не преподавался в течение 15 лет, то пропали и учителя астрономии! В педагогических вузах прекратилась подготовка учителей астрономии для школы, все учебники устарели. Поэтому нам пришлось создавать учебники заново. Профессора ГАИШ А.В. Засов, К.А. Постнов, В.Г. Сурдин написали ряд учебников нового поколения для школ и университетов. И только сегодня,

несмотря на то что астрономию в школе возродили несколько лет назад, мы можем говорить о том, что ее преподавание достигло должного качества. Мы надеемся, что это приведет к повышению культурного уровня нашего населения, и слова о том, что Солнце вращается вокруг Земли, будут восприниматься лишь как шутка.

— В последние годы очень много астрономических данных приходит из самых разных обсерваторий — наземных и космических. Успевают ли теоретики обрабатывать весь этот массив информации, хватает ли сегодня теоретических моделей, чтобы описать получаемые наблюдательные данные?

— Это актуальный для нас вопрос. Еще в начале 2000-х гг. нобелевский лауреат Риккардо Джаккони, открывший рентгеновский источник Лебедь X-1, говорил, что главная проблема сегодняшней астрономии — не получение наблюдательных данных, а их физическая интерпретация; не хватает мозгов, чтобы осмыслить тот огромный объем информации, который приходит от новейших телескопов.

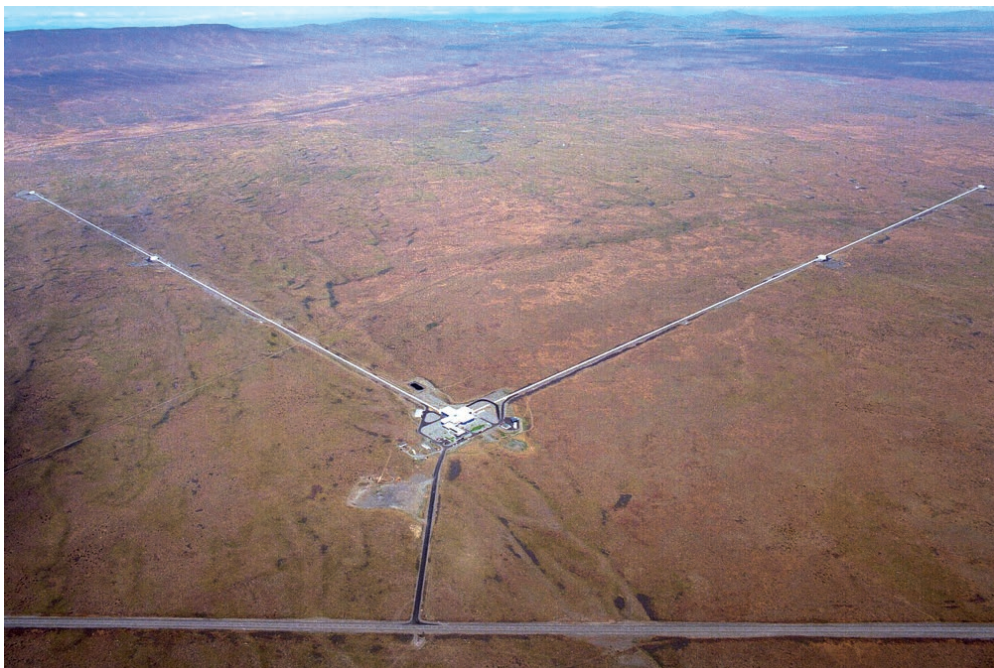
В нашем институте работает система под названием «Мастер». Руководит ею профессор В.М. Липунов. Это восемь двойных телескопов, расположенных в разных частях земного шара, в том числе за границей. Такая система обозревает небо буквально за несколько суток — это миллионы объектов, за которыми нужно следить, сигналы от которых нужно обрабатывать; и только современные мощные компьютеры с возможностью параллельного программирования позволяют справляться с этими наблюдательными данными. Это

Черная дыра — область пространства-времени внутри горизонта событий, которую ничто не может покинуть, даже свет.

Когда-то черные дыры существовали только на бумаге как следствие общей теории относительности, и даже сам Альберт Эйнштейн не верил в их существование, утверждая, что «темные звезды» не могли бы образовываться естественным путем. В 1939 г. Роберт Оппенгеймер и Хартланд Снайдер доказали, что умирающие массивные звезды, которых в одной только нашей Галактике миллиарды, могут сколлапсировать в черную дыру. С этого начался длинный путь, который пришлось проделать ученым, чтобы перевести темные звезды из статуса сугубо фантастического в реальный.



Кадр из фильма «Интерстеллар» (2014): наиболее реалистичное изображение черной дыры за всю историю кинематографа



Интерферометр LIGO,
Хэнфорд

так называемая наука о больших данных (*big data*), где используется искусственный интеллект. Сегодня в ГАИШ молодежь занимается именно разработкой программ ИИ, потому что из миллионов астрономических объектов выбрать вручную объекты с искомыми свойствами просто невозможно. Для этого нужно подключать обучающийся компьютер, который по некоторым заданным признакам ищет те или иные пекулярные объекты и параллельно совершенствует методику поиска. Именно благодаря компьютеризации тот гигантский объем информации, который сейчас мы получаем на современных астрономических телескопах, может быть обработан. Тем не менее физическая интерпретация сильно отстает от объема наблюдательных данных. Это дело будущей молодежи.

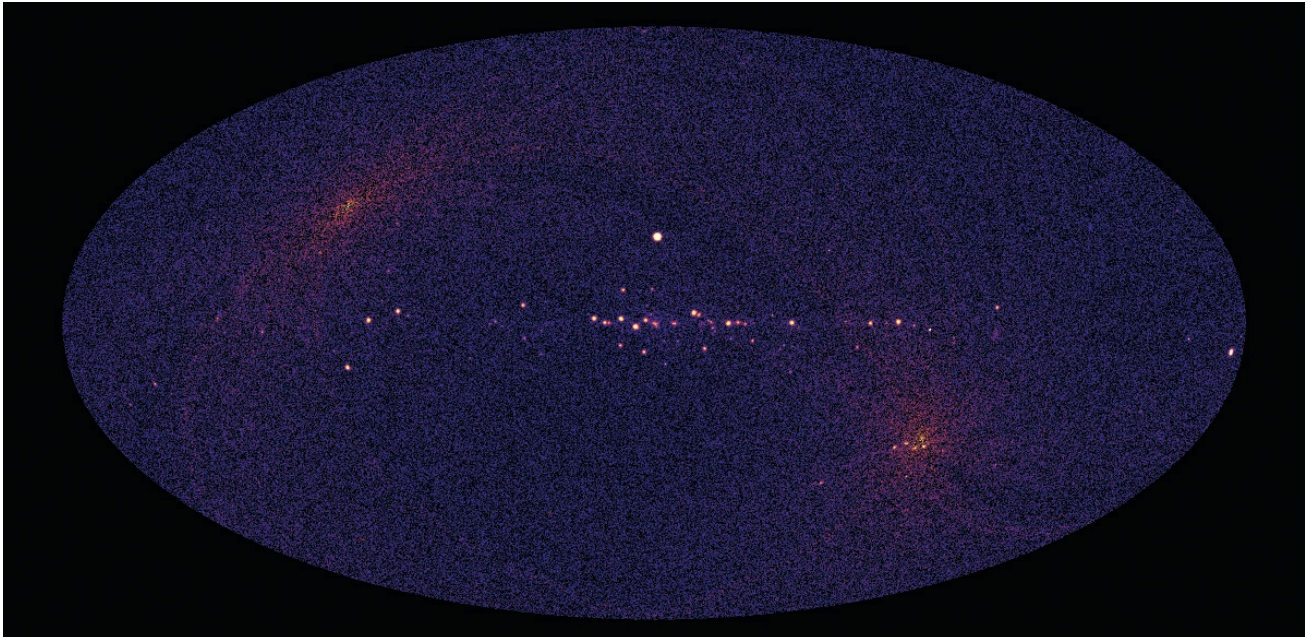
— **Сейчас очень много внимания уделяется изучению черных дыр. Известно ли, что находится в центре черной дыры?**

— Хороший вопрос, ведь именно за эту работу английский астрофизик Роджер Пенроуз получил Нобелевскую премию в прошлом году. Как мы уже отмечали в начале нашего разговора, он теоретически доказал, что когда происходит неограниченное сжатие большой массы вещества, это приводит к сингулярности, то есть к точке, где формально бесконечно большая плотность. На самом деле там не бесконечно большая плотность, а должна уже работать квантовая гравитация, потому что теория, которой пользовался Пенроуз, — это общая теория относительности, а она не квантовая, а классическая: там есть

классическое понятие траектории и т.д. Зато в квантовой физике понятия траектории нет, там есть только волновая функция. Поэтому квантовая теория и квантовая механика с общей теорией относительности пока еще не совмещены.

С точки зрения общей теории относительности Роджер Пенроуз доказал, что при произвольных начальных условиях неизбежно должна возникнуть вот эта формально бесконечная плотность, сингулярность, где работают законы квантовой гравитации. И мы пока еще не знаем, что творится в этой сингулярности. Но известно, что, согласно общей теории относительности, при любом достаточно сильном сжатии массивного тела должна образоваться сингулярность, которая покрыта так называемым горизонтом событий, то есть она для нас недоступна. Именно поэтому Пенроуз выдвинул идею космической цензуры: природа должна избегать того, чтобы мы могли напрямую наблюдать «голые» сингулярности. Таким образом, каждая сингулярность должна быть окружена поверхностью, называемой горизонтом событий, благодаря которому мы не можем увидеть сингулярность. Повторю: все, что находится под горизонтом событий, недоступно для внешнего наблюдателя. Так что комбинация горизонта событий и сингулярности в центре и есть черная дыра.

Теоретически мы знаем внутренность черной дыры, а практически — нет. Многие теоретики считают, что наличие сингулярности там возможно доказать только теоретически.



Карта, полученная по обзору всего неба российским телескопом ART-XC в рамках первого этапа научной программы обсерватории «Спектр-РГ», с вычтенным фоном заряженных частиц

Что касается горизонта событий, то сейчас мы уже имеем практические доказательства того, что черная дыра, по крайней мере в центре ядра галактики *M87*, имеет так называемую фотонную сферу, у которой радиус всего в полтора раза больше радиуса горизонта событий. Это значит, что уже практически доказано, что черные дыры действительно обладают уникальными особенностями, такими как горизонт событий. Это большой прогресс.

Я думаю, следующая Нобелевская премия может быть присуждена после получения изображения тени от черной дыры в центре нашей Галактики, которое станет доказательством того, что не только у сверхмассивной черной дыры в центре галактики *M87*, но и у нашей черной дыры в центре Галактики имеется фотонная сфера.

— Мы как наблюдатели не способны заглянуть за пределы нашей Вселенной, посмотреть на нее со стороны. Тогда, образно говоря, получается, что с точки зрения внешнего наблюдателя наша Вселенная — это черная дыра? А возможно ли в действительности возникновение жизни в черной дыре?

— Согласно современным представлениям, наша Вселенная возникла из первичного сингулярного состояния. Затем началось сильное экспоненциальное расширение, увеличение масштабного фактора пространства. Буквально за 10^{-36} с радиус Вселенной возрос

в огромное число раз. Потом эта так называемая инфляционная стадия перешла в стадию расширения нашей Вселенной по степенному закону, родилась материя. Если на этапе инфляционной стадии было только скалярное поле, то после нее уже начали рождаться кварки, глюоны, протоны, нейтроны и т.д. Сейчас мы, по-видимому, живем во Вселенной, которая образовалась из сингулярности. Это тоже гипотеза.

В последние годы стала набирать популярность иная гипотеза, согласно которой сингулярности не было, а были периоды расширения и сжатия Вселенной. Так, Вселенная сжимается до очень плотного состояния (но конечного), потом она расширяется, затем опять сжимается. Это уже область исследований теоретиков. Хотя я как астроном больше склоняюсь к гипотезе о том, что все мы произошли из сингулярности. В модели пульсирующей Вселенной есть проблема возрастания энтропии при многократном сжатии, которая пока окончательно не решена. Упомянутый Роджер Пенроуз, а также Стивен Хокинг, предсказавший испарение черных дыр, известны как приверженцы подобной гипотезы: они строили модели формирования Вселенной из сингулярности.

— Если в черную дыру падает слишком много вещества, то она начинает испускать релятивистский коллимированный выброс (джет) — поток материи, несущийся примерно со скоростью света, приводящий

к катастрофическим последствиям для всего, что окажется поблизости. Для черной дыры в центре нашей Галактики такой сценарий возможен или там недостаточно вещества?

— Все верно. Если на черную дыру падает очень много вещества, то энергия, которая выделяется при этом падении, очень велика — пропорциональна темпу аккреции (падения вещества). Чем выше этот темп, тем больше энергия, выше температура, больше рождается излучения. Это излучение начинает отталкивать вещество, происходит авторегулировка: гравитация притягивает вещество, а тот свет, то излучение, которое рождается при высокой температуре, действует на это падающее вещество, останавливая и даже отталкивая его. Поэтому у галактик с большим темпом аккреции, где очень много звезд, газа, пыли в центре около черной дыры, идет мощная аккреция, очень большое энерговыделение. Давление излучения разгоняет газ перпендикулярно плоскости аккреционного диска в виде так называемого звездного ветра. Кроме того, как вы и сказали, рождаются релятивистские выбросы со скоростями, близкими к скорости света. И вся эта масса, несущаяся навстречу внешнему пространству галактики, сметает газ, нагревает его, изменяет его характеристики, плотность и влияет на темп звездообразования в галактике.

Есть такое понятие, как коэволюция — взаимная эволюция ядра галактики и самой галактики. При слабой коэволюции сама галактика поставляет вещество на черную дыру, чтобы обеспечить аккрецию. А при сильной коэволюции не только галактика влияет на черную дыру, поставляя вещество, но и сама черная дыра влияет на эволюцию внешних частей галактики. Такая сильная коэволюция, видимо, имела место и в нашей Галактике, где были обнаружены так называемые пузыри Ферми — некоторые протяженные квазисферические образования, связанные с центром нашей Галактики с двух сторон плоскости Галактики, которые излучают в гамма-диапазоне спектра. Недавно с борта космической обсерватории СРГ подобные пузыри в нашей Галактике были открыты и в рентгеновском диапазоне спектра. Сейчас ядро нашей Галактики спокойное. Рентгеновская светимость ядра нашей Галактики маленькая, вещества там мало, только отдельные звездочки крутятся. Но наличие пузырей Ферми указывает, что ранее в истории нашей Галактики было время, когда на сверхмассивную черную дыру в ее центре падало очень много вещества и она была в активной фазе.

— Есть ли какие-то ограничения по количеству вещества, которое черная дыра может поглотить?

— За счет того, что на черную дыру падает вещество, ее масса растет. При этом радиус черной дыры пропорционален массе, то есть чем больше масса, тем больше радиус. Приведу несколько примеров, чтобы вы представляли себе размеры и массы черных дыр. Чему будет равен размер черной дыры, скажем, массы планеты Земля? Это будет черная дыра размером чуть менее сантиметра. Если бы Солнце было черной дырой, то его радиус составлял бы 3 км. Черная дыра в центре нашей Галактики равна примерно 4 млн масс Солнца и 17 радиусам нашего Солнца. Поэтому если на черную дыру идет аккреция, то есть выпадение вещества (звезд, газа, пыли), то масса черной дыры и ее размер растут.

Черные дыры — очень непростые, поистине удивительные объекты. Они дают нам новые фундаментальные представления о пространстве-времени, их изучение имеет огромное познавательное значение

Черная дыра может поглотить сколько угодно вещества, причем не только за счет того, что ее размер растет, но и потому, что объем черной дыры равен бесконечности: из-за огромной кривизны пространства-времени. Поэтому если вы попали внутрь черной дыры, то, как предполагают, сможете путешествовать по другим Вселенным, ведь пространства внутри черной дыры бесконечно много! И все вещество, которое в нее попадает, спокойно может там поместиться, но потом оно неизбежно упадет в сингулярность в сопутствующей системе отсчета. Но внешнему удаленному наблюдателю будет казаться, что вещество на черную дыру будет падать бесконечно долго, поскольку для удаленного наблюдателя ход времени на горизонте событий черной дыры останавливается.

Черные дыры — очень непростые, поистине удивительные объекты. Они дают нам новые фундаментальные представления

А.М. Черпацук подготовил 28 кандидатов и пять докторов наук, опубликовал около 500 научных работ. Под его руководством построена новая высокогорная обсерватория ГАИШ МГУ на Северном Кавказе с телескопом диаметром 2,5 м.



о пространстве-времени, их изучение имеет огромное познавательное значение.

— **Анатолий Михайлович, а что еще, помимо необычных свойств черных дыр, вас как астронома с многолетним стажем удивляет в нашей Вселенной?**

— Больше всего меня поражает и даже вызывает ощущение восторга тот факт, что наша Вселенная, несмотря на ее гигантскую сложность, познаваема, и в этом смысле черные дыры — вызов для науки. Сингулярность в центре черной дыры окружена горизонтом событий, и будет ли придуман когда-нибудь эксперимент, позволяющий увидеть эту сингулярность, мы не знаем. Сингулярности в недрах черных дыр кажутся непознаваемыми, но мы, несмотря на эту трудность, уже смогли теоретически проникнуть внутрь черной дыры и предсказать, что там может находиться.

— **А ведь когда-то черные дыры существовали только на бумаге...**

— Именно! Помню, у нас в ГАИШ в 1960-х гг. проходил объединенный астрофизический семинар, руководителем которого был академик Я.Б. Зельдович, известный энтузиаст в области исследования черных дыр, как и И.Д. Новиков — пионер в этой области. Вместе они делали доклад про черные дыры, я тогда был еще аспирантом, и мне на тот момент это казалось некой математической абстракцией, которая не имеет никакого отношения к действительности. Как видите, прошло около полувека — и выяснилось, что все это правда.

Кстати, то же самое можно сказать и про кротовые норы. Сейчас в них большинство физиков не верят, ведь нужна очень экзотическая

материя для того, чтобы создать такой туннель в пространстве-времени. Пока люди убеждены в том, что столь экзотическая материя не может существовать. Но ведь 50 лет назад и черные дыры казались экзотикой! Поэтому не исключено, что через полвека и кротовые норы уже будут считаться классическими объектами Вселенной.

Недавно родилась новая наука, которая называется «демография черных дыр». Она изучает рождение, образование черных дыр, рост за счет аккреции, их эволюционную связь со звездами, галактиками, скоплениями галактик. Как видите, Нобелевская премия 2020 г. увенчала эту науку некоторым признанием. То есть черные дыры наконец завоевали права гражданства среди всех объектов — звезд, галактик и т.д., — даже несмотря на свою чудовищную странность. Сегодня ученые вынуждены мириться с этой странностью и как-то подстраиваться под нее, пытаться ее понять и, возможно, использовать для дальнейшей жизни в далеком будущем. Вы знаете, что из вращающейся черной дыры можно извлекать энергию, что она может служить электрогенератором? Для этого нужно создать вращающуюся черную дыру в лаборатории. Но это, конечно, перспективы далекого будущего, а сейчас — только общая идея. Кстати, впервые такую идею высказал все тот же Пенроуз.

— **Как умирают черные дыры? Или они могут жить вечно?**

— Стивен Хокинг предсказал, что черные дыры должны уменьшать свою массу из-за квантового испарения. О чем идет речь? Вблизи горизонта событий рождаются частицы, и они уносят энергию/массу

в виде излучения, поэтому черная дыра все же уменьшает массу, но очень медленно. Для черной дыры солнечной массы, например, время этого квантового испарения во много раз больше космологического времени, то есть времени жизни нашей Вселенной. Поэтому крупные черные дыры типа звездных черных дыр, сверхмассивных черных дыр в ядрах галактик можно считать практически постоянными, так как у них масса почти не меняется. Однако черные дыры сравнительно малой массы (меньше, чем 10^{15} г, это примерная масса средней горы) успевают испариться за время, меньшее 14 млрд лет, то есть за время, меньшее времени жизни нашей Вселенной. И что останется в конце этого уменьшения в конце их испарения, теоретики до сих пор точно сказать не могут: то ли черная дыра полностью испарится до нуля, то ли останется какой-то экзотический объект, остаток этого испарения. Черные дыры, как я уже говорил, действительно теоретически со временем уменьшают свою массу. Но такая потеря массы существенна лишь для объектов малой массы, порядка или менее массы средней горы. А остальные черные дыры можно считать практически вечными.

— Вы были директором Государственного астрономического института им. П.К. Штернберга более 30 лет. Какие достижения ГАИШ вы можете отметить как самые яркие?

— Наш институт внес большой вклад в космические исследования. Например, именно в ГАИШ был создан первый полный глобус Луны. Известно, что Луна обращена к нам лишь одной стороной, поскольку периоды осевого и орбитального обращения для нее совпадают. В 1959 г. советский космический аппарат «Луна-3» впервые в истории сфотографировал обратную сторону спутника Земли. Тогда же С.П. Королев поручил нашему институту создать глобус с полной картой поверхности Луны. И такая карта была нами выполнена, она имела на тот момент большое научное значение, а сейчас — скорее историческое, популяризаторское.

Важный вклад в космическую науку внес основатель нашего отдела радиоастрономии член-корреспондент АН СССР И.С. Шкловский. Он получил в свое время Ленинскую премию за концепцию искусственной кометы.

Наконец, наша группа небесных механиков — Е.П. Аксенов, Е.А. Гребеников, Г.Н. Дубошин и Ю.А. Рябов — получила Государственную премию СССР за разработку теории движения искусственных спутников Земли. Это было в 1970-е гг.

Еще мы гордимся тем, что у нас в ГАИШ был создан отдел релятивистской астрофизики, которым руководил академик Я.Б. Зельдович. Сейчас вместо него отделом заведует выдающийся ученый Н.И. Шакура — лауреат Государственной премии РФ и один из авторов теории аккреционных дисков, лежащей в основе современной теории рентгеновских двойных систем. Теория аккреции (падения вещества на черную дыру) была развита в нашем институте в упомянутом отделе релятивистской астрофизики.

Список достижений можно продолжать, но лучше поговорим о том, что происходит сейчас. Сегодня для нас очень важно, что в космосе, в точке Лагранжа $L2$ в 1,5 млн км от Земли, работает российская обсерватория SRG. Руководитель этого уникального космического эксперимента — академик Р.А. Сюняев. Обсерватория регулярно открывает миллионы рентгеновских источников, но нужна оптическая поддержка, то есть эти рентгеновские источники нужно идентифицировать с оптическими объектами и их тоже наблюдать. Недавно мы с ректором МГУ академиком В.А. Садовничим добились создания новой обсерватории на Кавказе, вблизи Кисловодска, с телескопом диаметром 2,5 м. Он уже запущен, и на нем ведутся оптические наблюдения рентгеновских источников, которые открыты на обсерватории SRG. Это очень перспективная работа.

Кроме того, группа наших молодых ребят начала включаться в разработку алгоритмов искусственного интеллекта. Суть в том, чтобы не просто писать работы по отдельным объектам, а изучать большие массивы данных и за счет нового качества получать очень интересные астрофизические результаты. У нас уже защищена докторская диссертация на эту тему, есть несколько кандидатских.

Мы участвуем также в международной программе создания виртуальной обсерватории. Все наблюдательные данные, которые получены в мире, унифицированы и выложены в интернет. Вам не нужно вести наблюдения на телескопе — вы можете загрузить компьютерную программу в международную базу данных, провести выборку интересующих вас сведений, осуществить их необходимую обработку и даже интерпретацию, например с помощью алгоритмов ИИ, и скачать окончательные результаты в компьютер, а затем проанализировать их. Это еще одна новая область науки, которая развивается в нашем институте. ■

Беседовала Янина Хужина

АСТРОНОМИЯ

СЛИШКОМ ВЕЛИКИ ДЛЯ ВСЕЛЕННОЙ

Древние скопления галактик, похоже, росли так быстро, что должны были нарушить законы космоса

Арианна Лонг



ОБ АВТОРЕ

Арианна Лонг (Arianna S. Long) — аспирантка физического факультета Калифорнийского университета в Ирвайне, исследует историю скоплений галактик.



ак же как и у деревьев, людей и звезд, у галактик есть свой жизненный цикл. Галактика рождается, когда достаточное количество газа и звезд объединяются, образуя связанную структуру, — по-видимому, она возникает в виде отдельного газового облака и постепенно набирает массу или, возможно, формируется в результате столкновения одного или нескольких таких облаков. В любом случае, образовавшись, галактика всю жизнь рождает звезды, используя свои резервуары газа

для создания крошечных горнов, в которых ядерный синтез сжигает элементы, чтобы генерировать свет и энергию. Галактика, считающаяся «живой», ярко сияет ультрафиолетовым излучением — это сигнал, свидетельствующий о наличии в ней молодых, ярких и горячих звезд.

По мере того как эти звезды стареют, их сияние изменяется, смещаясь с горячего голубого к холодному желтому или красному. Когда галактика состоит в основном из желтых и красных звезд и почти не излучает в ультрафиолетовом диапазоне, мы называем ее угасающей или «красной и мертвой». Если галактика достаточно массивна, в конце концов она превратится в сфероидальный объект, получивший название «эллиптическая галактика», в которой, вероятно, никогда уже не родится новая звезда.

Повсюду вокруг нас в ближайшем космосе — в пределах, скажем, 300–600 млн световых лет — астрономы наблюдают мертвые или умирающие эллиптические галактики, сгруппированные в гигантские ансамбли, называемые скоплениями галактик. Эти скопления содержат «окаменевшие останки» самых массивных из когда-либо образовавшихся галактик — сотни или тысячи их медленно движутся друг вокруг друга в танце, навечно удерживаемые гравитацией в своих неизменных могилах.

Но скопления галактик представляют собой проблему для астрономов. Большая часть

скоплений образовались, по-видимому, к тому времени, когда Вселенная была вдвое моложе, чем сейчас. Это означает, что галактики в этих скоплениях должны были сформировать большинство своих звезд в начале истории космоса. Похоже, эти галактики выросли до размеров Млечного Пути или больше, но на 10 млрд лет быстрее. Молодые скопления галактик, называемые протоскоплениями, в которых эти галактики сформировались, были, должно быть, невероятно яростными и активными областями, заполненными галактиками, порождающими звезды с бешеной скоростью. Наше нынешнее понимание физики не позволяет полностью объяснить, как они могли стать такими большими так быстро.

Лишь недавно у астрономов появились телескопы, необходимые для поиска очень далеких протоскоплений (их свет, чтобы достичь нас, зачастую путешествует 10 млрд лет и более), которые нередко скрывают свои самые массивные галактики за облаками пыли. За последние несколько лет ученые обнаружили два протоскопления, которые открывают беспрецедентную возможность взглянуть на рост



Объединение галактик в скопления. Это скопление галактик RXC J0032.1 + 1808 запечатлел космический телескоп «Хаббл». Астрономы охотятся за прародителями таких групп в ранней Вселенной.

скопления галактик. Последующие наблюдения показали, что они на самом деле активны и огромны — настолько огромны, что ставят под сомнение наши представления о формировании галактик. Если мы сможем разгадать загадку, которую поставили перед нами скопления галактик, то, возможно, изменим наши представления об эволюции Вселенной.

Охота за вспышками звездообразования

В типичной формирующей звезды галактике в год рождается примерно от одной до нескольких десятков звезд типа нашего Солнца. Такие галактики часто называют «нормальными

звездообразующими». Млечный Путь как раз относится к этому классу. Нормальные звездообразующие галактики — эдакие «черепахи» из эзоповой басни, медленно и постоянно рождающие звезды в течение примерно 10 млрд лет, постепенно истощая свои резервуары газа (топлива для новых звезд), при этом оставаясь голубыми и дискообразными.

Галактики, которые ежегодно рожают от сотен до тысяч звезд, — это «галактики со вспышками звездообразования». Со ссылкой на ту же басню Эзопа их можно назвать «зайцами» в эволюции галактик. Приблизительно не более чем за 300 млн лет эти галактики

Как растут скопления галактик






Сегодня скопления галактик состоят из огромных, большей частью мертвых галактик — это означает, что они перестали рожать новые звезды. Недавно астрономы обнаружили несколько далеких «протоскоплений», прародителей современных скоплений, в которых полно молодых галактик, бурно рождающих звезды. Но эти протоскопления настолько велики, а их галактики настолько массивны, что ученые задаются вопросом, как они смогли вырасти до такого состояния столь рано в истории космоса.

Формирование нити

Нити, самые крупные структуры во Вселенной, состоят из скоплений и сверхскоплений галактик, которые образуют сеть взаимосвязанных «прожилок». Вначале космос представлял собой море газа и темной материи. Со временем гравитация заставила это рассеянное вещество сжиматься и объединяться в нити и узлы.

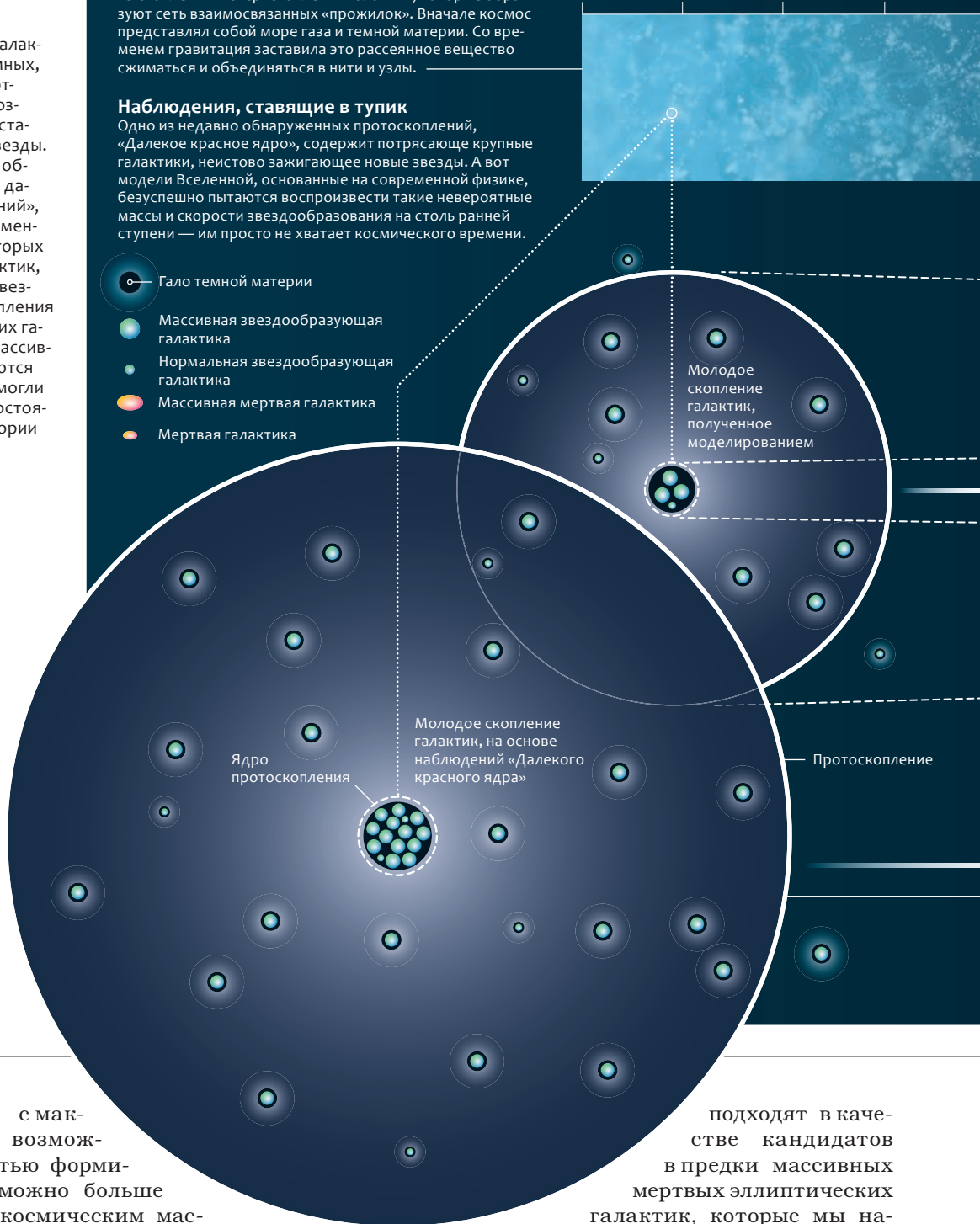
Наблюдения, ставящие в тупик

Одно из недавно обнаруженных протоскоплений, «Дальнее красное ядро», содержит потрясающе крупные галактики, неистово зажигающие новые звезды. А вот модели Вселенной, основанные на современной физике, безуспешно пытаются воспроизвести такие невероятные массы и скорости звездообразования на столь ранней ступени — им просто не хватает космического времени.

-  Гало темной материи
-  Массивная звездообразующая галактика
-  Нормальная звездообразующая галактика
-  Массивная мертвая галактика
-  Мертвая галактика

Миллиарды лет назад

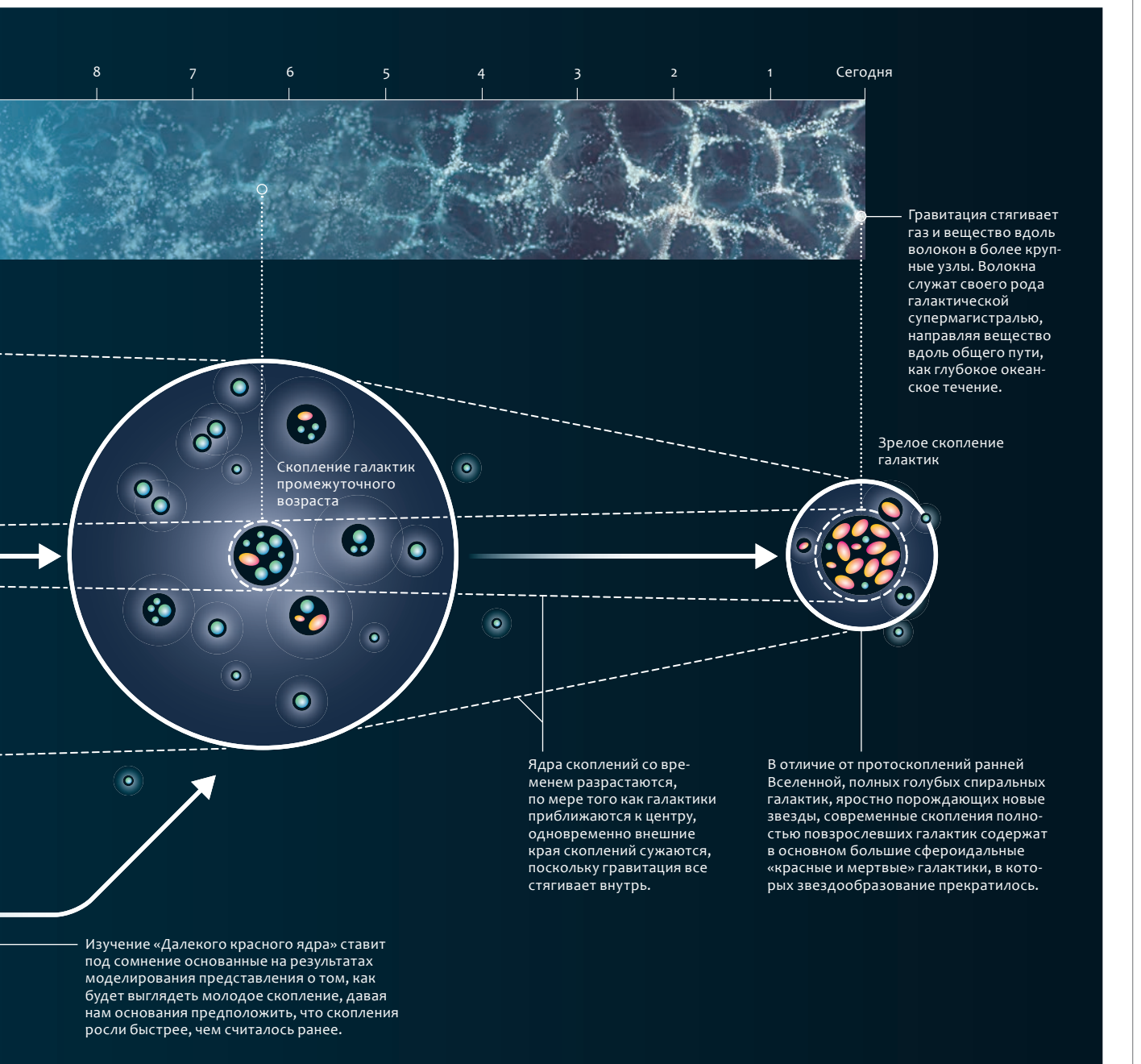
13 12 11 10



возникают, с максимальной скоростью формируют как можно больше звезд и по космическим масштабам в мгновение ока сжигают все свое топливо. Жизнь галактик со вспышками звездообразования пролетает очень быстро, и они умирают молодыми. Астрономы считают, что такие галактики наилучшим образом

подходят в качестве кандидатов в предки массивных мертвых эллиптических галактик, которые мы наблюдаем сегодня в скоплениях.

Естественно предположить, что если мы заглянем достаточно глубоко в космос, то обнаружим протоскопления, заполненные галактиками со вспышками звездообразования, —



завтрашние скопления мертвых галактик. Однако обнаружить галактики со вспышками звездообразования в протоскоплениях оказалось задачей не из легких. До недавнего времени большинство наших методов обнаружения скоплений были приспособлены в первую очередь для поиска умирающих эллиптических галактик или горячего газа, заполняющего пространство между ними. Эллиптические галактики и горячий межгалактический

газ появляются на более поздних стадиях эволюции скопления галактик, поэтому нам нужны новые методы, чтобы найти их более голубые аналоги младенческого возраста, в которых активно идет звездообразование. Дело осложняется еще и тем, что протоскопления часто разбросаны по небу далеко друг от друга, так как галактики еще не полностью сомкнулись в плотные структуры, которые мы видим сегодня. Поскольку ширина поля зрения

фотокамер наших самых известных и точных телескопов не превышает толщины карандаша (например, у космического телескопа «Хаббл»), неудивительно, что мы не можем собрать в единую картину кусочки пазла протоскоплений, разбросанных по небу на расстояния, более чем в 100 раз превосходящие поле зрения наших телескопов.

Другие методы поиска, такие как систематическое фотографирование больших участков неба, как правило, пропускают галактики со вспышками звездообразования, потому что часто они закрыты пылью. Исключительно быстрый рост числа звезд в областях вспышек звездообразования приводит к переизбытку там тяжелых металлов, которые образуются в смертельной агонии сверхновых. Рассеявшись в космосе, атомы тяжелых элементов, та-

**Никакими словами
не описать, каково это —
первой охватить взглядом
часть Вселенной, которую
до тебя никто не видел.
Я чувствовала себя
обязанной воспользоваться
моментом, чтобы
рассмотреть каждую звезду
и галактику, попавшие
в поле зрения**

ких как железо, углерод и золото, сталкиваются и образуют сложные молекулы пыли, которые поглощают ультрафиолетовое излучение и видимый свет. Вспомните краснеющее Солнце во время сезона лесных пожаров: пыль сильнее поглощает более горячие, энергичные фотоны синего света, в то время как пропускает излучение в более красной области спектра. В результате этого галактики со вспышками звездообразования почти невидимы в оптические и ультрафиолетовые телескопы, но сияют, как маяки, если вести наблюдения в более холодной инфракрасной области спектра.

Все это означает, что до последнего времени приборы поиска и изучения протоскоплений обычно упускали из виду ключевых обитателей семейства галактик. С конца 1990-х и до начала 2010-х гг. *SCUBA* (*Submillimeter Common-User Bolometer Array*, «Решетка субмиллиметровых

болометров коллективного пользования»), космические обсерватории «Гершель» и «Спитцер», а также «Телескоп на Южном полюсе» позволили открыть миллионы невидимых ранее галактик, перевернув этим наши представления о скрытой пыли Вселенной. Примерно 15 лет назад астрономы начали изучать процесс формирования скоплений в скрытых пылью вспышках звездообразования и обнаружили, что эти источники энергии располагаются преимущественно рядом с другими крупными и активно рождающими звезды галактиками. Но развитие техники все еще не позволяло реализовать наши замыслы: разрешающая способность инфракрасных телескопов и радиотелескопов миллиметрового диапазона все еще была настолько низкой, что несколько галактик представлялись единым объектом, даже если эти галактики были далеко друг от друга, но лежали на одной линии визирования. Время инфракрасной Вселенной наступило, но нам нужны были более зоркие и чувствительные инструменты, чтобы в полной мере постичь увиденное.

В 2013 г. наконец вошла в строй *ALMA* («Атакамская большая антенная решетка миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов»). Высоко в чилийской пустыне этот набор из почти 70 тарелок радиотелескопов работает согласованно, как единый инструмент, обеспечивая разрешение почти в 600 раз выше, чем у телескопа «Гершель». Радиотелескоп *ALMA* изменил в астрономии многие представления, включая теорию эволюции галактик. (Я знаю несколько человек с татуировками в честь этого телескопа.) Эта радиообсерватория позволяет легко обнаруживать заполненные пылью и газом звездные «инкубаторы» в звездообразующих галактиках. С ее помощью астрономы открыли системы, которые одновременно шокируют и восхищают.

Поразительные громадины

В 2018 г. две независимые группы астрономов использовали радиотелескоп *ALMA* для изучения самых ярких инфракрасных объектов, которые они могли найти в далекой Вселенной. Каждая группа обнаружила конгломераты пыльных звездообразующих галактик, которые до того были неразличимы, видимые как единое целое в наблюдениях, проведенных инфракрасными телескопами первого поколения.

Группа из 14 галактик *SPT2349-56* и группа из десяти галактик «Далекое красное ядро» (*Distant Red Core, DRC*) росли и были в самом расцвете в разных уголках Вселенной, когда ее возраст составлял всего 10% от нынешнего. Мы

видим, что в обоих этих многообещающих протоскоплениях происходит экстремальное число вспышек звездообразования: в каждой группе рождается в год почти в 10 тыс. раз больше звездной массы, чем в Млечном Пути, в объемах, составляющих всего половину нашей Местной группы галактик (включающей нашу собственную Галактику, Андромеду и несколько галактик-спутников меньшего размера). Оценки газовых резервуаров каждого из протоскоплений говорят нам, что если эти галактики продолжают формировать звезды с такой непомерно высокой скоростью, то они исчерпают свои запасы топлива всего за несколько сотен миллионов лет и превратятся в массивные красно-мертвые эллиптические галактики, которые можно встретить в полностью сформированных скоплениях повсеместно. Более того: они завершат этот цикл задолго до настоящего времени.

Обнаружение двух этих скрытых от нас пылью ядер протоскоплений предоставило новый многообещающий инструмент для изучения роста скоплений, но у нас по-прежнему отсутствовала важная часть картины. Лучший способ «взвесить» галактику — измерить излучение всех населяющих ее сформированных звезд, для чего необходимы данные во всем электромагнитном спектре. Но до недавнего времени все наблюдения протоскоплений, живших в первые 2 млрд лет существования Вселенной, велись в узком спектре длин волн (либо в оптическом, либо в инфракрасном). И вот в сентябре 2018 г. мы с моими коллегами впервые смогли зарегистрировать ультрафиолетовое и оптическое излучение, исходящее из пыльного протоскопления с активным звездообразованием, каким оно было 12 млрд лет назад, — из «Далекого красного ядра». Используя космические телескопы «Хаббл» и «Спитцер», а также наземный телескоп «Джемини», мы запечатлели многодиапазонную картину, необходимую для более углубленного понимания прошлого и будущего этой структуры.

Ожидание данных космического телескопа «Хаббл» может быть томительным. Вы знаете, на какой день запланировано наблюдение вашего участка неба, но не имеете ни малейшего представления о том, когда фактически получите свои данные: нужно просто дождаться сообщения по электронной почте с просьбой проверить архив. В день, на который были запланированы наблюдения за нашим протоскоплением, я, как мне кажется, проверяла свою электронную почту каждые две минуты. Я была разочарована: пришло время ложиться спать, а мой почтовый ящик оставался пустым.

На следующее утро, несмотря на протесты моего партнера, я скатилась с кровати и сразу же подлетела к компьютеру, чтобы проверить, пришли ли данные. К счастью, они были доставлены спустя несколько часов после полуночи. Я начала загрузку, нетерпеливо пританцовывая, как ребенок, ожидающий своей очереди распаковывать подарки. Наконец я открыла изображение. Никакими словами не описать, каково это — первой охватить взглядом часть Вселенной, которую до тебя никто не видел. Я чувствовала себя обязанной воспользоваться моментом, чтобы рассмотреть каждую звезду и галактику, попавшие в поле зрения, и только так поверить в их существование. В конце концов я пришла в себя и увеличила картину той части неба, которая меня интересовала. И увидела нечто необычное.

В этой небольшой области космоса идет ожесточенная борьба. По крайней мере половина галактик там настолько беспорядочной формы, что они, должно быть, недавно столкнулись с другими близлежащими галактиками или все еще продолжают теснить друг друга. Когда мы подсчитали число взрослых звезд в этих галактиках, то обнаружили нечто невероятное — настолько невероятное, что это, возможно, создаст проблему в наших нынешних представлениях о Вселенной. Уже в эту раннюю эпоху некоторые из группы галактик «Далекое красное ядро» породили в три раза больше звезд, чем весь наш Млечный Путь, — и гораздо быстрее. А все попытки моделирования Вселенной на основе известных физических процессов испытывают трудности с созданием настолько массивных галактик за такой короткий промежуток времени. Это несоответствие между результатами моделирования и данными наблюдений усугубляет проблему, о которой мы знали с момента открытия пыльных звездообразующих галактик. Моделирование необычайно больших скорости и плотности звездообразования, наблюдаемых в областях со вспышками звездообразования, представляет собой трудную задачу, поскольку физика говорит нам, что галактики, полученные с помощью моделирования, либо разлетаются на части, либо разогреваются настолько, что выбрасывают весь газ, необходимый для дальнейшего роста, и не в состоянии превратиться в то, что мы видим сегодня.

Протоскопление в целом представляет собой другую проблему: оно потрясающе массивно. Когда я впервые измерила его массу, я не поверила цифрам. Я обошла коллег в своем отделе, чтобы удостовериться, что правильно делаю расчеты. Две недели спустя я сообщила результаты на совещании, чтобы продемонстрировать

своим сотрудникам. Один из них сказал: «Должно быть, в вашей программе ошибка». Другой спросил: «Вы уверены, что не учитываете что-нибудь дважды?» (Как оказалось, в моей программе была небольшая ошибка, но этого было недостаточно, чтобы объяснить огромный результат измерения.) В конце концов, после двойной проверки моих расчетов и опробования других методов, измерения были признаны бесспорными. Скопление «Далекое красное ядро» кажется слишком большим для нашей Вселенной. Мы не знаем, как оно могло вырасти настолько за такое короткое время.

Чтобы лучше представить объем и массу его звезд, мы сосредоточили внимание на размере гало темной материи вокруг этого протоскопления. Темная материя — самая распространенная форма материи в любой из галактик и во Вселенной в целом. Считается, что все галактики и скопления окружены сгустками или ореолами этой загадочной материи. И хотя темная материя невидима и природа ее неизвестна, она оставляет четкий гравитационный след. Существует множество способов оценки количества темной материи в том или ином астрономическом объекте; чтобы рассказать об этих методах, потребовалась бы отдельная статья (или пять).

Достаточно сказать, что мы взвесили компонент темной материи скопления «Дальнее красное ядро» и, согласно нашим расчетам, он содержит почти максимум допустимой массы гало на тот период в истории Вселенной. Этот очевидный избыток темной материи означает, что скопление «Далекое красное ядро», возможно, настолько огромно, что это нарушает законы нашей Вселенной, как мы их понимаем. Когда мы быстро прокручиваем течение времени в нашей модели, чтобы посмотреть, как скопление «Далекое красное ядро» может выглядеть в наше время в результате эволюции в течение 12 млрд лет, мы обнаруживаем, что оно может разрастись до размеров самого большого известного скопления галактик «Эль-Гордо». Хотя в наших расчетах массы темной материи есть существенная неопределенность (то есть не исключено, что значение этой величины может быть преувеличено), это несоответствие выглядит еще хуже, если учесть тот факт, что наши наблюдения охватывают лишь небольшой процент возможных членов этого скопления галактик; вероятно, в скоплении «Далекое красное ядро» галактик еще больше, просто они не попали в узкое поле зрения телескопов и поэтому не учитывались в наших расчетах. И несоответствие это, скорее всего, будет расти по мере того, как мы продолжим наблюдения и изучение этого протоскопления.

Пересмотр временной шкалы

Наше исследование скопления «Далекое красное ядро» наряду с открытием других, вероятно, схожих с ним протоскоплений заставляет пересмотреть наши представления о формировании скоплений галактик. Поскольку, по всей видимости, галактики в скоплениях — одни из первых когда-либо существовавших галактик, мы должны понять, каким образом столь массивные объекты могут формироваться так быстро. Это не просто вопрос ограничений на физический механизм и химию звездообразования внутри первых галактик. Это также предмет исследования временных параметров возникновения условий, которые заставили темную материю под действием гравитации сжаться в гало, давшем основу для формирования галактик. Возможно ли, чтобы галактики и структуры во Вселенной начали формироваться раньше, чем мы полагали? Как это повлияет на наши представления об образовании первых элементов? Могли ли эти галактики выковать правильные ингредиенты для построения звезд с обитаемыми планетами вокруг них — и, может быть, дать приют одним из первых форм жизни во Вселенной?

Некоторые из этих вопросов, вероятно, не получают ответа в течение моей жизни, но мы с моими коллегами-астрофизиками упорно работаем, чтобы ответить на другие. Мы уже проводим дополнительные наблюдения этих известных протоскоплений во всем электромагнитном спектре. Мы разрабатываем также новые методы для выявления большего числа возможных пылевых протоскоплений. Имея больше примеров, мы сможем определить, представляют ли собой протоскопления, такие как «Далекое красное ядро», образцы общей, но ранее не наблюдавшейся фазы эволюции галактик, которую проходят все скопления, или они всего лишь редкое отклонение от нормы. Ведущие астрономы-наблюдатели и астрофизики-теоретики создают новые рабочие группы, чтобы выяснить, на сколь раннем этапе истории Вселенной условия были подходящими для формирования протоскоплений, подобных обнаруженным нами, — сверхплотных очагов пространства с невероятной скоростью звездообразования и огромной массой.

Лучший способ проверить наши физические модели — взглянуть на их крайние проявления. В следующие несколько лет эти колоссальные скопления необычных галактик подвергнут испытанию способность человечества охватить разумом тайны космоса. ■

Перевод: А.П. Кузнецов

Всё, всем, всегда ДОСТУПНО



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

ЦИФРОВЫЕ РЕСУРСЫ

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

www.sciam.ru



Google play



**В мире
науки** SCIENTIFIC
AMERICAN

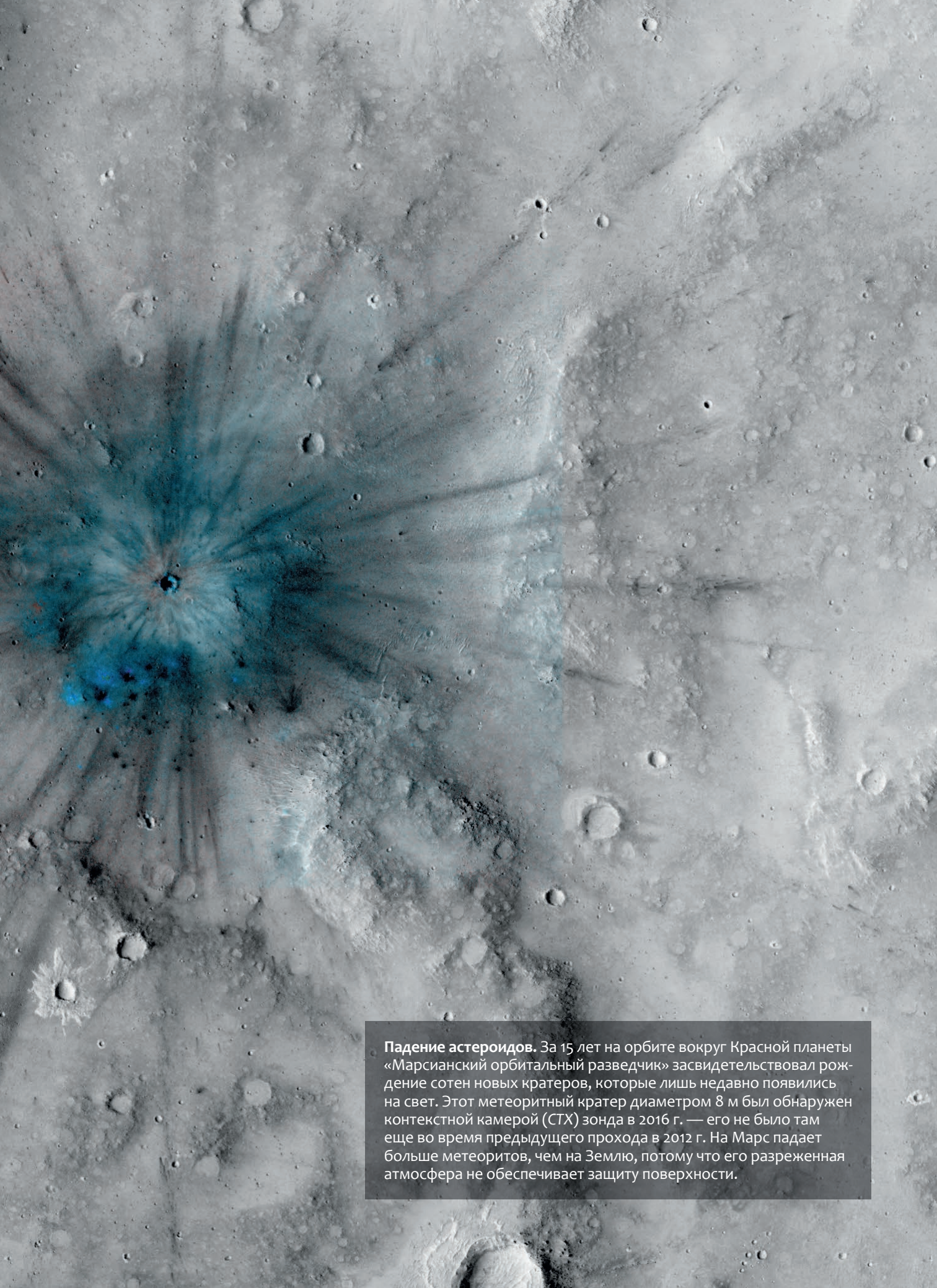
Ежемесячный
научно-информационный
журнал

КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

АКТИВНАЯ ПЛАНЕТА

В течение 15 лет «Марсианский орбитальный разведчик» (*Mars Reconnaissance Orbiter*) изменял наши представления о Красной планете

Клара Московиц



Падение астероидов. За 15 лет на орбите вокруг Красной планеты «Марсианский орбитальный разведчик» засвидетельствовал рождение сотен новых кратеров, которые лишь недавно появились на свет. Этот метеоритный кратер диаметром 8 м был обнаружен контекстной камерой (CTX) зонда в 2016 г. — его не было там еще во время предыдущего прохода в 2012 г. На Марс падает больше метеоритов, чем на Землю, потому что его разреженная атмосфера не обеспечивает защиту поверхности.

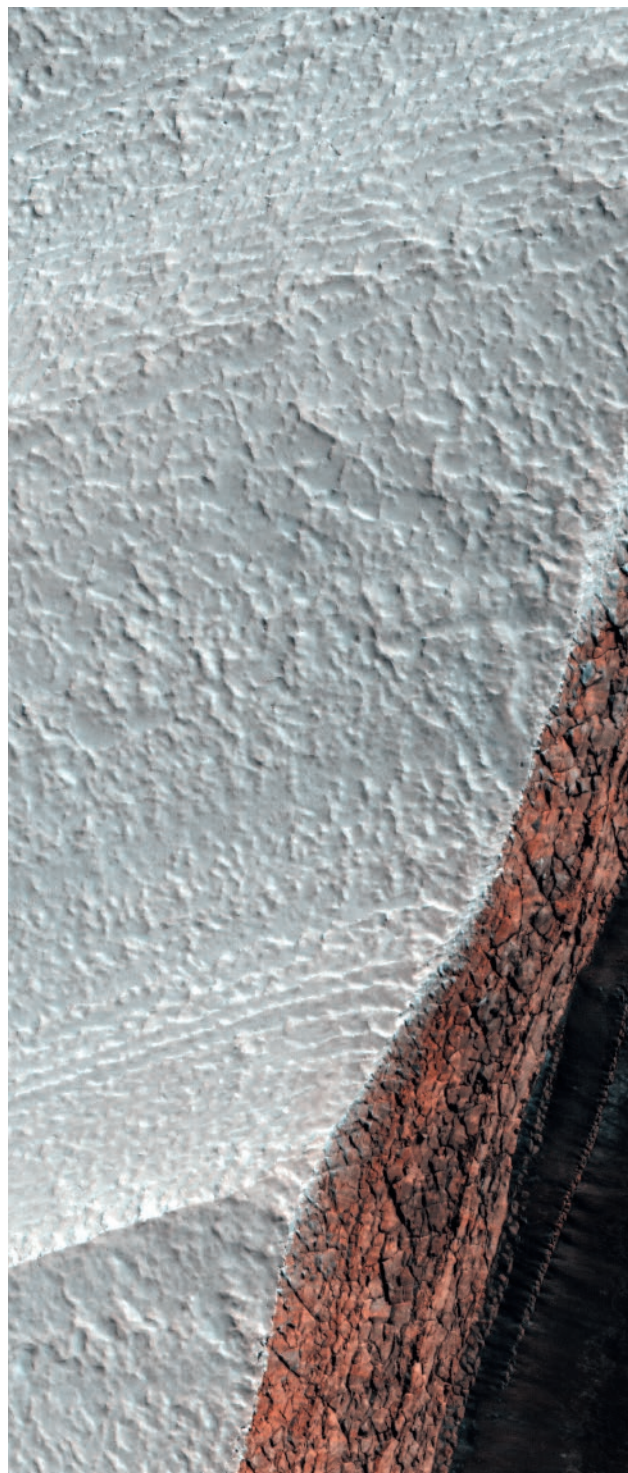


ОБ АВТОРЕ

Клара Московиц (Clara Moskowitz) — старший редактор журнала *Scientific American*, освещает темы космоса и физики.

Марс, когда-то считавшийся статичным небесным телом с пыльным ландшафтом, постоянно меняется. Только когда туда прилетел «Марсианский орбитальный разведчик» NASA, мы увидели перемещение дюн, смену времен года и кружащие над планетой пылевые вихри. Космический зонд недавно отметил 15-летие своего пребывания на орбите вокруг планеты-соседки, где для каталогизации разнообразных геологических объектов он использовал комплект из четырех научных приборов и три фотокамеры. «До этого у нас никогда не было возможности в течение достаточно длительного периода времени наблюдать [Марс] с помощью приборов с достаточным разрешением, чтобы заметить изменения на его поверхности, — говорит Ричард Зурек (Richard Zurek), научный сотрудник проекта «Марсианский орбитальный разведчик» Лаборатории реактивного движения в Пасадине, штат Калифорния. — Сегодня мы видим, что Марс активен».

Орбитальный зонд, запущенный в 2005 г., позволил сделать множество открытий относительно атмосферы Марса, его поверхности и, благодаря радару, даже того, что скрыто под ней, передав за эти годы на Землю в общей сложности 400 терабит данных. К тому же он служил спутником связи, пересылая сообщения от различных спускаемых аппаратов и марсоходов, которые сели на марсианскую поверхность за время его пребывания на орбите. Спустя 15 лет космический зонд по-прежнему в хорошей форме и у него достаточно топлива, чтобы прослужить еще как минимум 15 лет — пока его приборы будут в рабочем состоянии. «Конечно, что-нибудь может неожиданно сломаться, как в старом автомобиле, — говорит заместитель научного руководителя проекта «Марсианский орбитальный разведчик» Лесли Тамппари (Leslie Tamppari) из Лаборатории реактивного движения. — Но такой продолжительный срок службы действительно может углубить наши



представления о Марсе. Есть вещи, которые мы можем выяснить, только имея долгую непрерывную историю наблюдений».

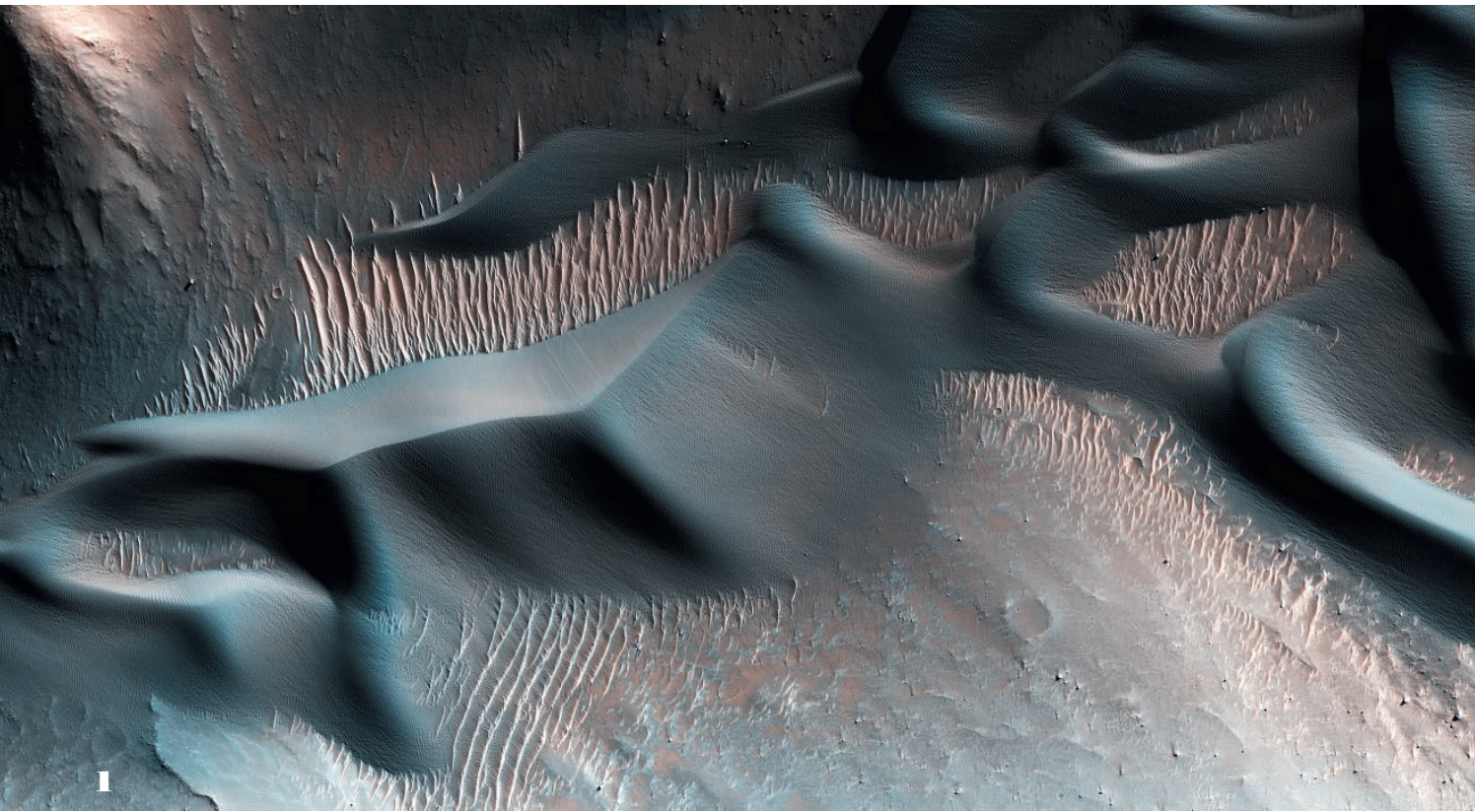
Приборы космического корабля к тому же раскрыли красоту Марса, показав нам чуждый мир, удивительно похожий на наш. Так же как и множество великолепных фотографий, снятых космическим телескопом «Хаббл» и другими обсерваториями, изображения, присланные «Марсианским орбитальным разведчиком», — это не только наука, это еще и искусство. Зурек вспоминает, как Альфред Макьюэн (Alfred McEwen), главный



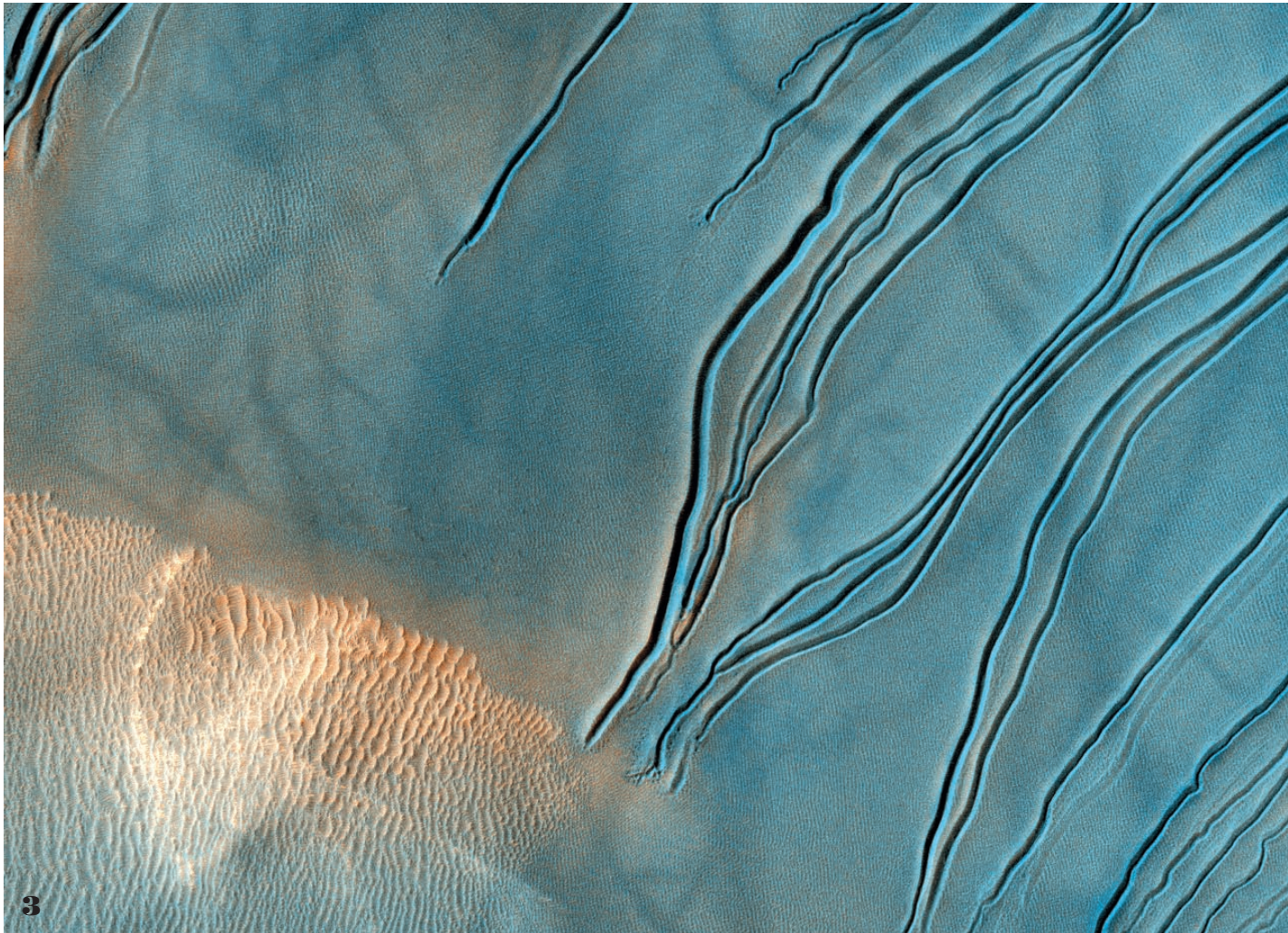
конструктор фотокамеры *HiRISE* (*High Resolution Imaging Science Experiment*, «Научный эксперимент по фотографированию с высоким разрешением»), посетил Лабораторию реактивного движения: «Секретарь сказал ему: "Идите по коридору, а когда подойдете к картине в стиле импрессионизма, поверните налево". Он пошел вдоль коридора и увидел, что импрессионистская картина — на самом деле одна из фотографий Марса, сделанных его камерой».

Перевод: А.П. Кузнецов

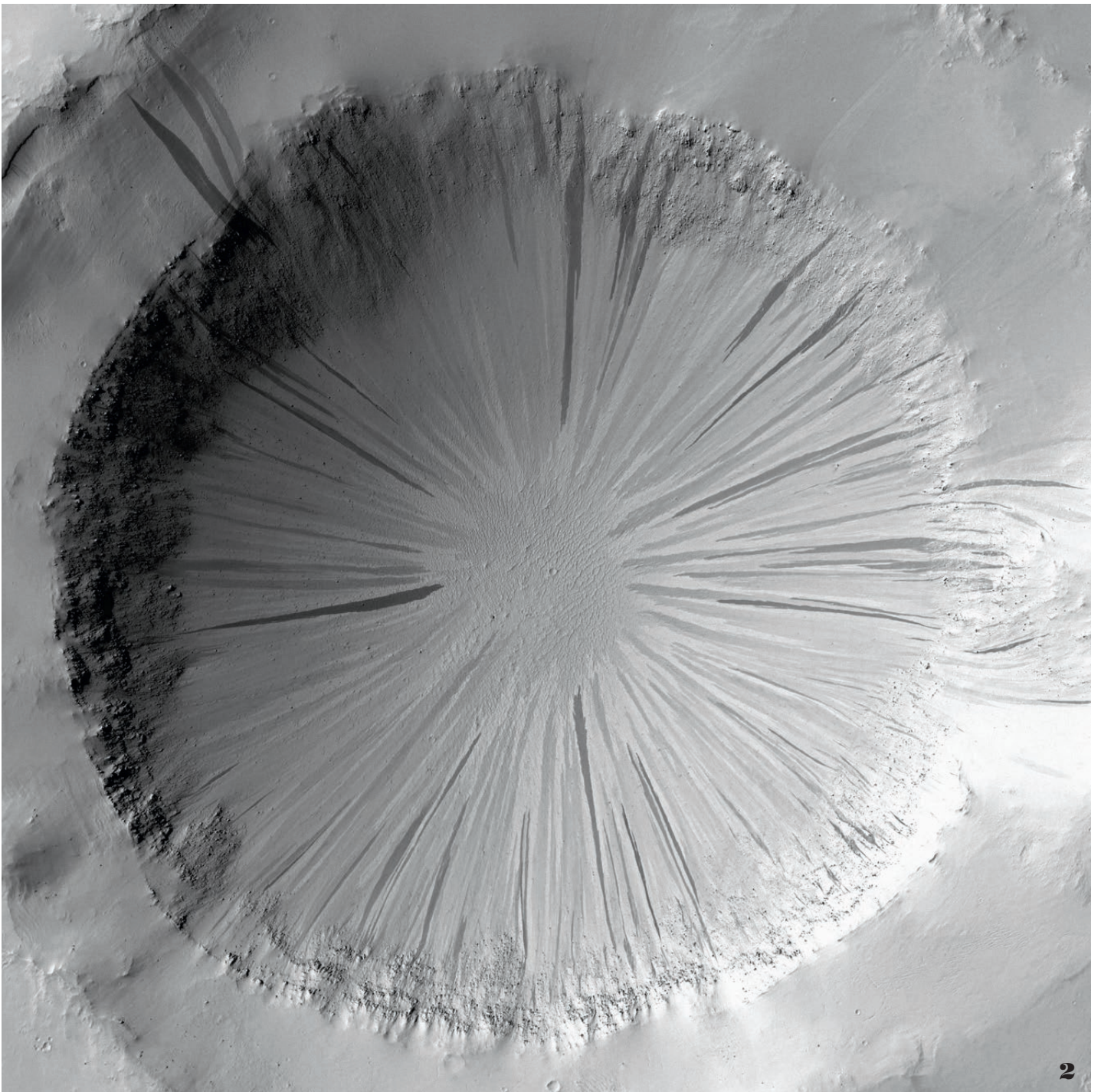
Лавина. На этой фотографии 2010 г., сделанной камерой высокого разрешения *HiRISE* орбитального зонда «Марсианский орбитальный разведчик», запечатлено облако частиц породы, поднявшейся в атмосферу в районе марсианского северного полюса. Скорее всего, это последствия схода лавины, сцена представляет собой крутой склон, состоящий из слоев водяного льда, покрытых сверху ярким белым инеем двуокиси углерода. Такие пейзажи — обычная картина в этой области каждой марсианской весной, что позволяет предположить, что на северном полюсе наблюдается повторяющийся сезон лавин, когда солнечный свет и тепло разрушают зимнюю мерзлоту.



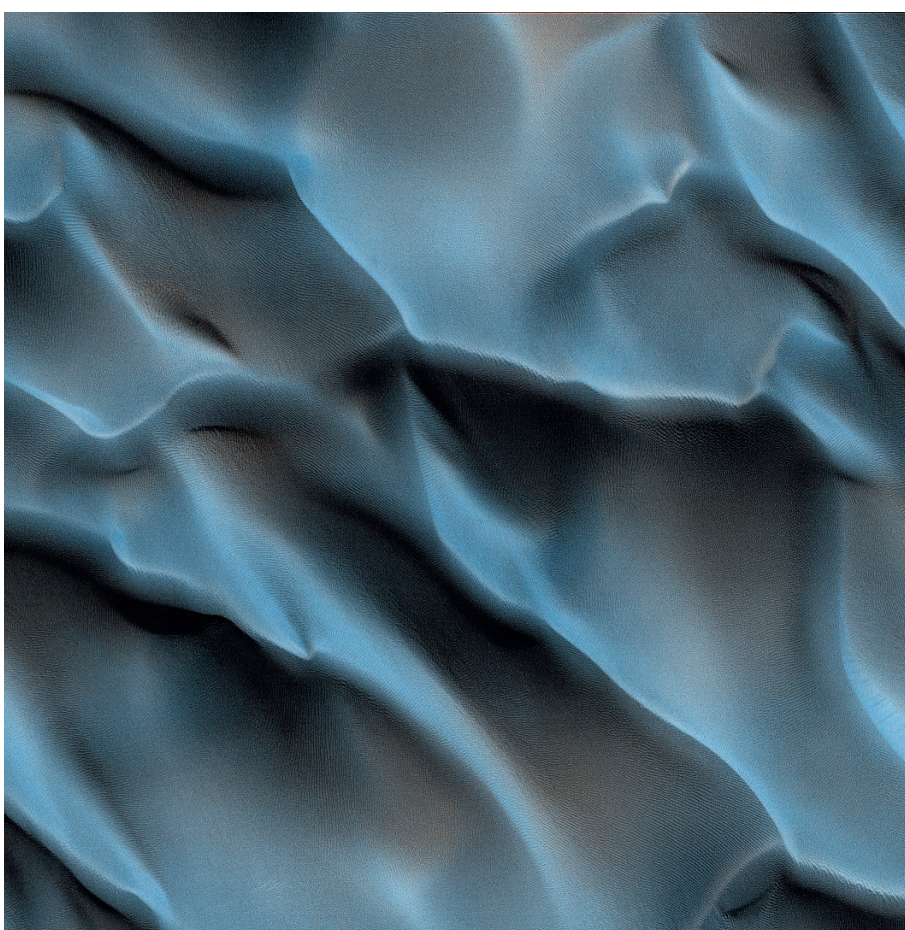
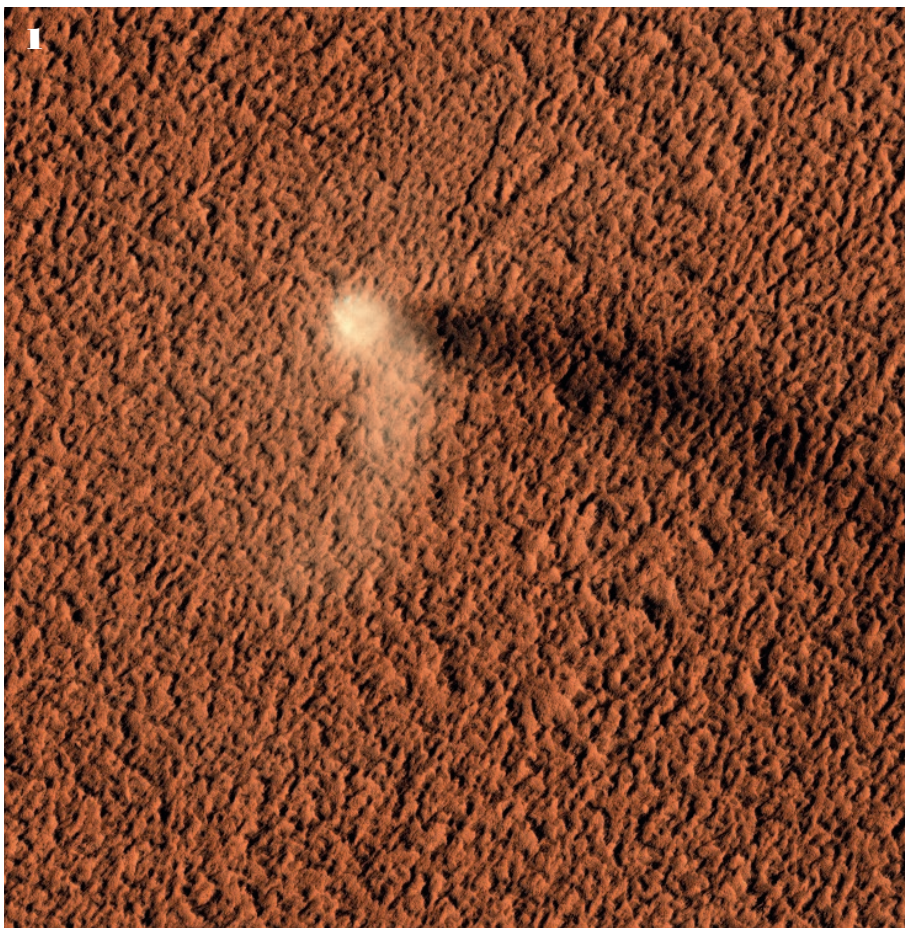
1



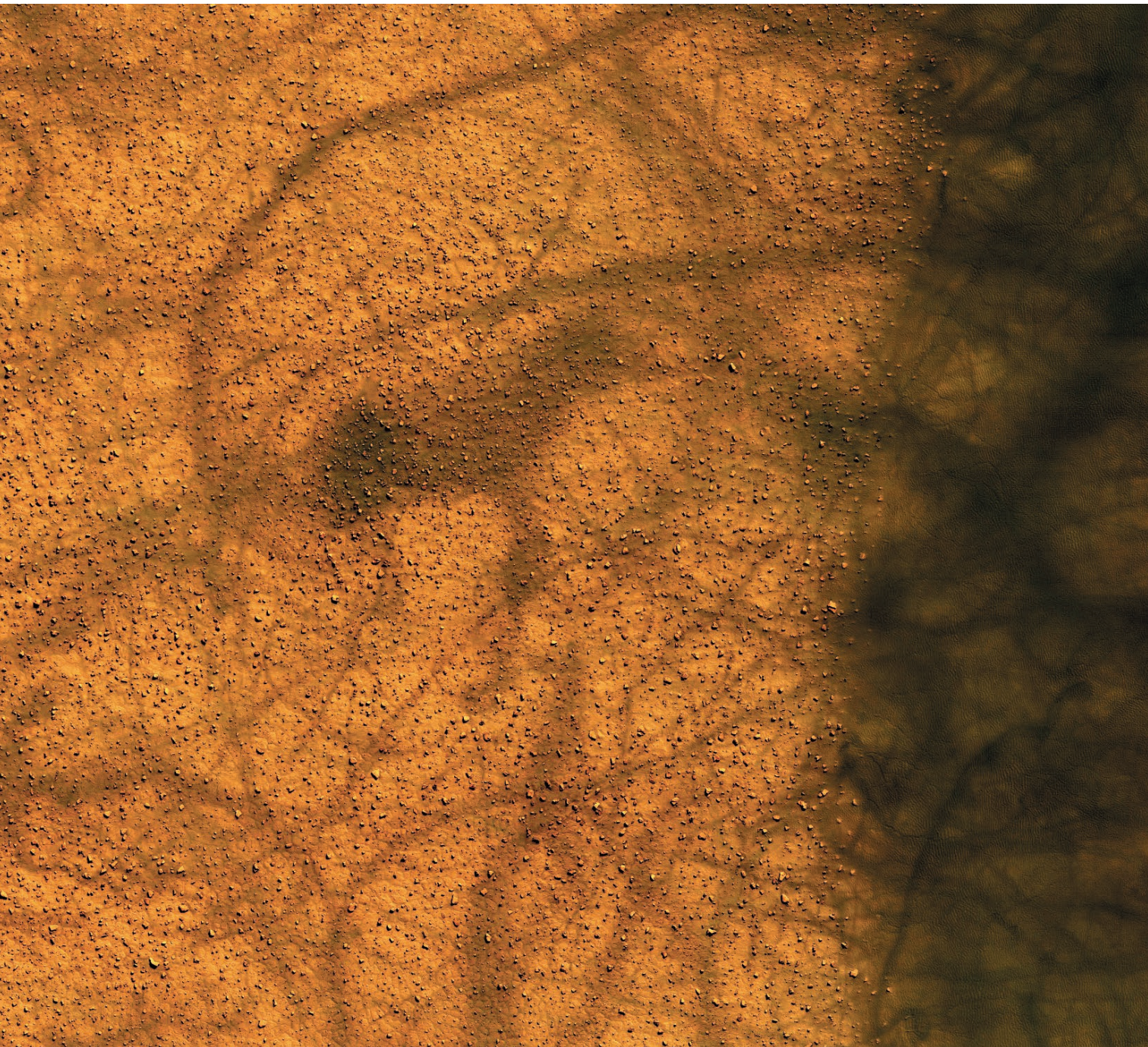
3



Полосы и волны. Изменчивые и изумительные по красоте текстуры покрывают пыльную поверхность Марса. Огромные дюны (1) вздымаются над склонами Нектарных гор в каньоне Копрат. Вдоль дюн в кратере Рассел (2) образуются узкие впадины, когда ледяные глыбы углекислого газа скользят по крутым склонам дюны. По-видимому, темные каналы появляются и трансформируются в зависимости от времени года, образуя разные узоры каждый год, когда орбитальный зонд их фотографировал. Линии другого типа сбегают по склонам кратера в районе Аравийской земли (3). Эти полоски возникают, когда пыль стекает вниз по склонам круглого кратера.



Дюны. Похожие на помятую атласную ткань гребни дюн возвышаются над поверхностью Марса. Ученые изучают формы дюн, чтобы понять геологию Красной планеты. Например, некоторые изогнутые гребни выглядят здесь как барханы, образующиеся, когда ветер постоянно дует в одном направлении, — особенность, характерная для пустынь на Земле. И на Марсе тоже.



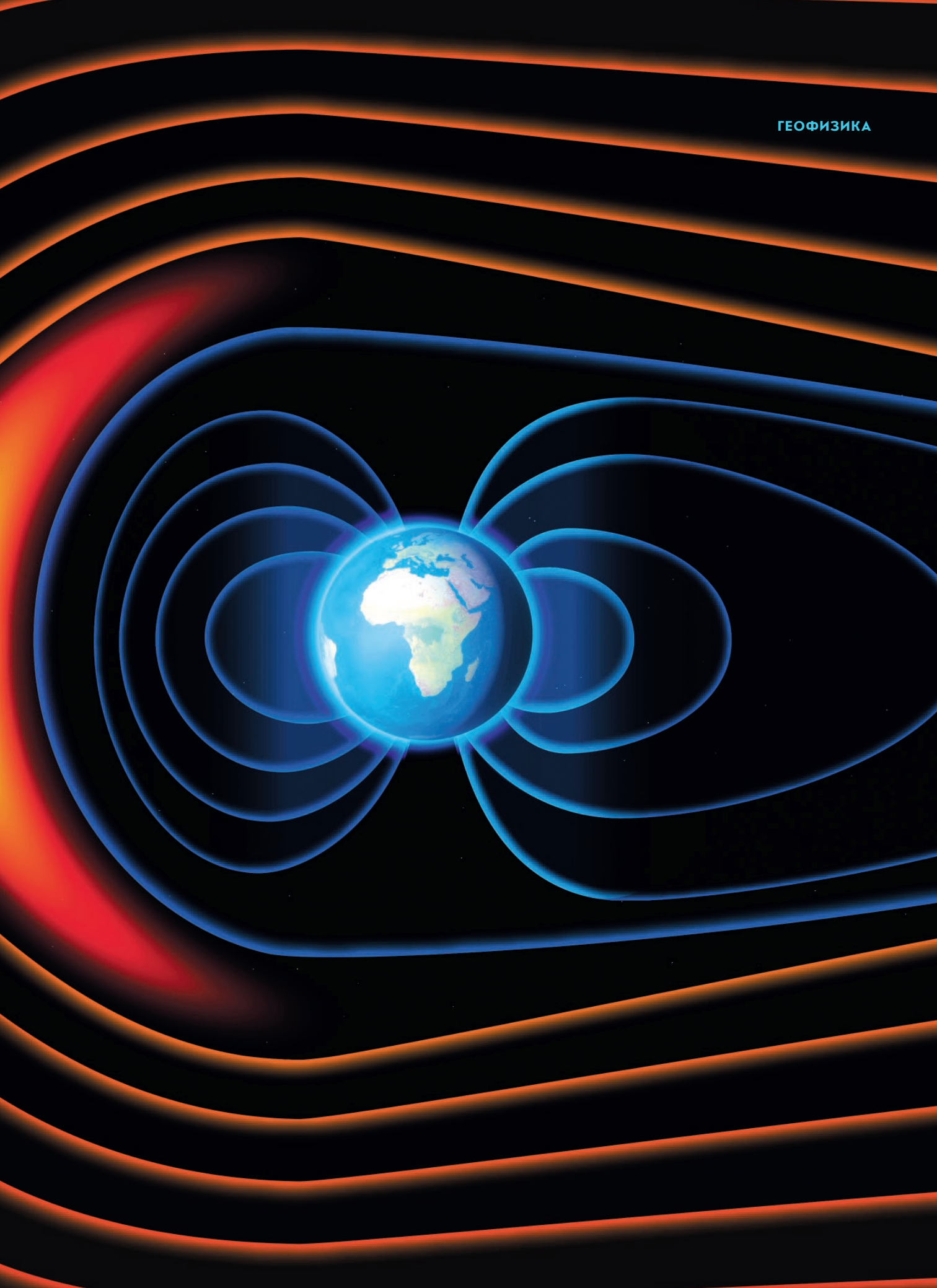
Пылевые вихри. Характерное погодное явление как на Земле, так и на Марсе — пылевой вихрь, вертикальный столб пыли, вздымающийся по спирали вверх вокруг области с более низким атмосферным давлением. Вот этот (1), заснятый камерой HiRISE в 2019 г., взмывает в небо примерно на высоту 650 м, о чем свидетельствует длина его тени, уходящей далеко вправо. Пылевые вихри прорезают извилистые темные следы (2) на поверхности Марса, когда, проходя над ней, поднимают с тверди светлую пыль.

ИЗ НАШИХ АРХИВОВ

■ Макьюэн А. Марс в движении // ВМН, № 7–8, 2013.

ПО ВОЛНАМ ЖИЗНИ

Геофизическая обсерватория «Борок» Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН — огромное заснеженное пространство на севере Ярославской области, где нет шумных автотрасс и больших населенных пунктов. Это удивительное место, где изучают магнитные свойства нашей планеты и саму жизнь как волновое явление. Об истории и исследованиях обсерватории рассказывает ее директор — доктор физико-математических наук Сергей Васильевич Анисимов.





Доктор физико-математических наук
С.В. Анисимов

— **Сергей Васильевич, расскажите об истории возникновения вашей геофизической обсерватории. Почему было выбрано именно это место, удаленное от мегаполисов?**

— Геофизическая обсерватория «Борок» в настоящее время — это филиал Института физики земли Российской академии наук. Обсерватория представляет собой структурное подразделение, которое ведет прежде всего экспериментальные работы в области геофизики. Геофизика — вообще наука экспериментальная. Возникновение геофизической обсерватории «Борок» связано с Международным геофизическим годом. 9 декабря 1955 г. вышло распоряжение президиума Академии наук СССР, которым и была подчеркнута необходимость создания магнитной станции «Борок» на севере Ярославской области.

Почему именно это место в ничем не примечательном с точки зрения науки крае вдруг стало базисом для развития экспериментальной геофизики? Дело в том, что одно из важных направлений Международного геофизического года — организация сети геомагнитных наблюдений. И в нынешнее-то время при достаточно чувствительном оборудовании сложно найти место, подходящее для проведения геомагнитных наблюдений. А в те годы это было совсем непросто, потому что уровень электромагнитных помех был высок в районе крупных городов, а уровень чувствительности аппаратуры для записи полезных сигналов был сравнительно низок. Подмосковье было подробно исследовано на предмет возможности проведения геомагнитных наблюдений: уровень помех,

например от электричек, очень существенно влиял на их результаты, в том числе на регистрацию теллурических токов, которые представляют собой следствие динамики геомагнитного поля.

С выбором именно этой местности связаны имена наших основателей. В первую очередь, это В.А. Троицкая, известный в мире геофизик, которая избиралась президентом МАГА (Международной ассоциации геомагнетизма и аэронавигации) и была секретарем Международного геофизического комитета АН СССР. В то время И.Д. Папанин уже работал в Борке над созданием биологической станции, которая впоследствии превратилась в Институт биологии внутренних вод РАН. Видимо, обсуждая на совещаниях, а возможно и в коридорах, реализацию программы МГГ, Иван Дмитриевич предложил провести пробную запись в районе уже тогда существующей Биологической станции «Борок» в Ярославской области.

Валерия Алексеевна откликнулась на это предложение. Вскоре из Москвы, из Института физики Земли, с Большой Грузинской, состоялась первая экспедиция в эти края. До железнодорожной станции Шестихино ходил пассажирский поезд. А дальше с оборудованием нужно было как-то добираться до Борка, а это около 20 км. Проселочная дорога была, по сути, непроезжей. Добирались на водометном катере по реке Сутке. Организовали полевой геофизический пункт наблюдений и включили первые пробные записи теллурических токов. Для этого два электрода закапывались в землю на глубину примерно 1 м и между ними измерялась разность потенциалов с помощью чувствительных гальванометров. Так было проведено тестирование, и место оказалось вполне благоприятным. Ближайший промышленный центр — город Рыбинск — располагался в 40 км по прямой от Борка. Железнодорожный транспорт не электрифицирован и помех практически не создавал. Именно это послужило отправной точкой для решения о строительстве здесь первой в стране магнитной станции для проведения геомагнитных наблюдений в средних широтах европейской части России.

— **А что эти наблюдения дают? Для чего они нужны?**

— Магнитное поле Земли — одно из важнейших геофизических полей, определяющих жизнь на нашей планете. Земля находится под воздействием энергичных частиц, источники которых расположены

на Солнце, а также в ближнем и дальнем космосе. Кроме того, важна активность Солнца. Если бы магнитосферы — это магнитного щита, панциря Земли — не было, тогда солнечный ветер обдувал бы непосредственно поверхность Земли и жизнь на ней была бы невозможна. Магнитологи чем-то похожи на селекционеров, которые изначально собирают все семена, которые есть на планете, строго их архивируют и не позволяют себе в моменты тяжелых испытаний, таких как голод в Ленинграде во время Великой Отечественной войны, попробовать хотя бы одно зернышко.

Современная магнитология — это квантование и архивирование состояния геомагнитного поля на определенные дискретные временные интервалы. Геофизическая обсерватория «Борок» одной из первых в России вошла в сеть «Интермагнет», мы работаем в Международной сети магнитных станций строго по международному протоколу: регистрируем, например, с частотой 1 с величину напряженности магнитного поля в средних широтах европейской части России, записываем в базу данных и строго сохраняем. Нами движет четкая необходимость регистрации и наблюдения магнитного поля Земли, что обусловлено задачами мониторинга состояния окружающей среды. Магнитное поле — это компонент земного окружения, и наша работа востребована для контроля нормальных приемлемых геофизических условий земного бытия.

— Много говорят и пишут о конце света, связанном в том числе с инверсией магнитного поля. Нет ли угрозы такого явления?

— Инверсия — процесс геологического масштаба времени, в котором жизнь человеческая — маленькая песчинка. Временные интервалы спокойного геомагнитного поля исчисляются десятками миллионов лет. Поэтому даже если такое явление и возможно, то оно не будет мгновенным с нашей точки зрения. Мы это увидим в регистрации полей, и это будут какие-то очень медленные процессы, которые будут говорить нам о постепенном изменении геомагнитного поля.

— Но ведь магнитное поле — это не что-то постоянное, это меняющаяся величина. И, насколько я знаю, скажем, во времена Римской империи оно было значительно выше, чем сейчас. Изменения магнитного поля как-то влияют на судьбы человечества, ход истории?

— Изменение магнитного поля — лишь верхушка айсберга. В основе его, согласно современному представлению о генерации геомагнитного поля с точки зрения теории турбулентного динамо, лежат процессы, происходящие внутри Земли, в жидком ядре, которое расположено между внутренним твердым ядром и литосферой. Мы видим сейчас, и это наблюдательный факт, что, например, Северный полюс смещается. Тем не менее мы не зарегистрировали каких-либо экстремально катастрофических явлений, которые сопровождали бы это движение. Что же касается вашего вопроса о влиянии таких смещений на исторические события — здесь у нас мало достоверных наблюдательных данных. Пожалуй, косвенными доказательствами могут быть временные совпадения инверсий геомагнитного поля с некоторыми серьезными изменениями биосферы, исчезновениями и появлениями новых биологических видов на планете. Хотя в подобных оценках я стараюсь быть осторожным.

— В последние годы много говорят о магнитных бурях. Об этом даже стали предупреждать метеорологи: надвигается очередная мощная магнитная буря, и людям метеозависимым необходимо пить таблетки и всячески беречься. Что вы можете сказать по этому поводу?

— Так уж сложилась, что моя научная судьба напрямую связана с атмосферным электричеством, которое некоторыми рассматривается как некое метеорологическое явление. Я на него смотрю совсем иначе. Это очень интересный природный объект. Для чего вдруг природе понадобилось электрическое поле атмосферы? Тут возможен широкий спектр ответов: например, для того чтобы обеспечить баланс воды в природе между атмосферой и океаном. А магнитная буря прежде всего связана с активностью Солнца. Более конкретно — это активность тех областей, которые принято называть солнечными



В.А. Троицкая (1917–2010) — ученая-геофизик с мировым именем, основоположница изучения геомагнитных пульсаций, слабых по амплитуде короткопериодных колебаний магнитного поля Земли.

Для здорового, нормально развивающегося организма необходим такой компонент внешней среды, как магнитная буря. Они должны происходить регулярно в течение примерно 27-дневного цикла, что обусловлено проявлением периодичности солнечной активности. Если этого нет, организм начинает давать сбой, не понимая, что происходит

пятнами, и активность эта заключается в том, что с поверхности пятна происходит выброс солнечной плазмы, протонов, которые движутся с очень высокой скоростью. При условии если солнечный ветер повышенной плотности и скорости взаимодействует с магнитосферой Земли, возникает так называемая магнитная буря. Это связано с тем, что магнитное поле Земли начинает выполнять свою защитную функцию от этого повышенного фона, в первую очередь радиоактивного излучения, физически обусловленного именно солнечным ветром. При этом защитные свойства этого «экрана» падают иногда значительно — в два раза. Действительно, здесь следует ожидать влияния на биосферу, на все земное окружение.

Но давайте посмотрим на всю историю такого влияния именно с точки зрения геологического масштаба времени. Когда Солнце как звезда начало продуцировать солнечный ветер и изменение его потоков, связанное с активностью различных областей солнечного ветра, на нашем светиле образовались зоны солнечных пятен. Как только солнечные пятна начали попадать в зону, позволяющую воздействовать через солнечный ветер на магнитосферу Земли, на нашей планете появились магнитные бури. Представьте себе, в геологическом масштабе времени у нас всегда были так называемые рекуррентные магнитные

бури. Все живое на Земле начиная с момента зарождения жизни в океане и до выхода ее на берег находилось под циклическим воздействием магнитных бурь.

— Можно ли предположить, что это было необходимым условием формирования и развития жизни?

— По крайней мере, следует точно сказать, что жизнь на Земле развивалась и эволюционировала в условиях магнитных бурь, которые связаны с активностью солнечных пятен на Солнце. Они всегда были, они могли смещаться на самом Солнце, но они были.

Я думаю, что нормальный здоровый организм, какой бы он ни был, простейший или сложнейший, такой как человек, эволюционировал, развивался именно при наличии воздействия рекуррентных, регулярно повторяющихся магнитных бурь. Поэтому считаю, что магнитные бури — это совершенно естественное для нас явление, которого не надо бояться. Магнитные бури были, есть и будут.

Интересно, что в последние два с половиной года солнечная активность значительно упала. Если оценивать по девятибалльной шкале геомагнитной активности, которая выступает следствием солнечной активности, получается, что мы находимся на уровне ниже среднего. Бури бывают очень редко, да и то довольно слабые.

— В последнее время на человечество сыплется масса серьезных испытаний. Так, может быть, это как раз следствие снижения магнитной активности и отсутствия магнитных бурь?

— Тут нельзя дать однозначный ответ, а заниматься спекуляциями я не хочу. Одно можно сказать наверняка: для здорового, нормально развивающегося организма необходим такой компонент внешней среды, как магнитная буря. Они должны происходить регулярно в течение примерно 27-дневного цикла, что обусловлено проявлением периодичности солнечной активности. Если этого нет, организм начинает давать сбой, не понимая, что происходит. Это очень сложная медико-биологическая, биофизическая проблема, изучение которой может дать ответ на ваш вопрос.

Сейчас возникло новое направление — магнитная биология, изучающая на глубоком физико-биологическом уровне влияние магнитного поля на живые системы. Сотрудники обсерватории участвуют в исследованиях по магнитобиологической тематике совместно с учеными Института

биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, используя оригинальные установки для компенсации геомагнитного поля и создания искусственного магнитного воздействия на биологические объекты.

— Но ведь вы не станете отрицать, что есть метеозависимые люди?

— Наверное, они есть, и я в свое время относил метеозависимость к изменению атмосферного давления. Это в каком-то смысле общающиеся сосуды — внешнее давление влияет на внутреннее. Метеозависимость — явление, когда у человека теряется здоровая адаптация к изменению метеорологических условий. Возможно, здесь кроется не определенный пока до конца параметр метеозависимости: нет какого-то строгого набора количественных характеристик, что именно и каким образом у человека изменилось — давление, пульс или частота сердечных сокращений. Здесь пока не существует количественных оценок. А я всегда настаивал и настаиваю на том, что такие цифры и есть наука. Если мы говорим о каком-то явлении, давайте охарактеризуем его количественно. Если мы этого сделать не можем, значит у нас пока нет никаких научных фактов, подтверждающих достоверность того или иного явления.

— Сергей Васильевич, вы часто употребляете термин «турбулентность», говорите об этом как о важном физическом явлении. Что она собой представляет с вашей точки зрения, какие перспективы открывает для науки ее изучение?

— Я иногда говорю, что физика будущего в значительной части будет наукой о турбулентности и хаосе. Что такое турбулентность? Что представляет собой хаос — строительный материал порядка? Всякое движение реальной геофизической среды — например, течения в океане, которые образуют гигантский конвейер, определяющий климат на планете, или течение Волги, русло которой находится в 2 км от нашей обсерватории, — это все течения турбулентные. Исследования турбулентности геофизической среды активно развиваются во всем мире. Создаются научные центры, особенно в передовых университетах США, где занимаются турбулентностью, в том числе математическим и лабораторным моделированием турбулентных процессов различных пространственно-временных масштабов.

Уникальность исследований, проводимых в геофизической обсерватории «Борок», заключается в том, что мы занимаемся турбулентной электродинамикой, изучая электрическое состояние атмосферного пограничного слоя. Атмосферный пограничный слой в районе среднеширотной геофизической обсерватории «Борок» имеет высоту от нескольких сотен метров до одного километра. Верхнюю границу этого слоя можно представить как некую крышку над котлом, регулирующую перенос тепловой энергии от земной поверхности в свободную атмосферу. Это область, которая очень важна для формирования погоды и составления ее прогноза. Последние работы говорят о том, что влияние подстилающей поверхности, неоднородность этой



Акустический доплеровский локатор (содар) — регистрация вертикальных профилей скорости ветра

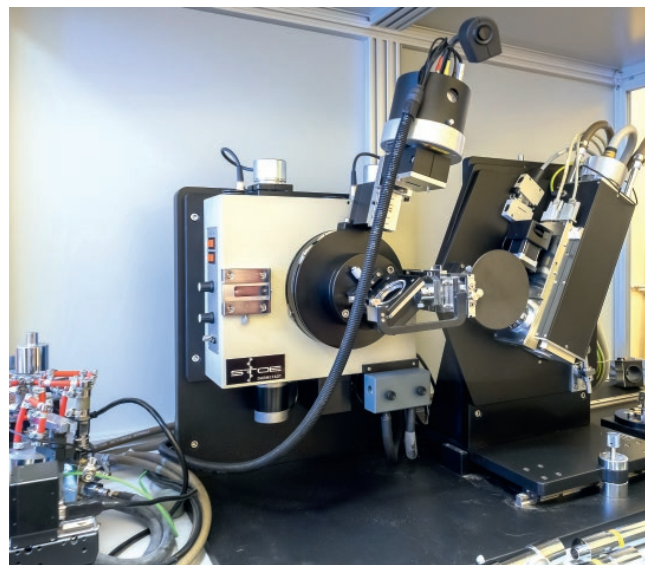
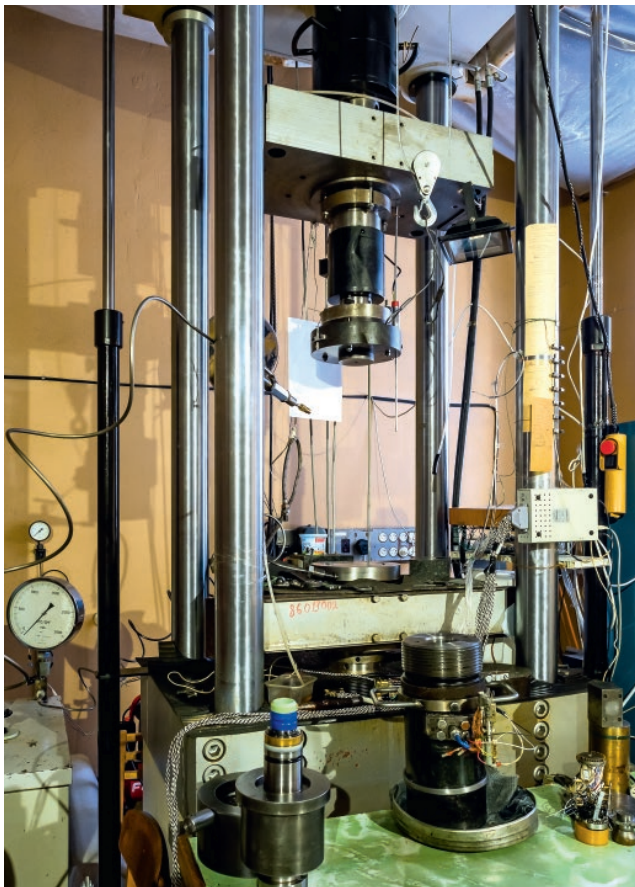
поверхности, следовательно и турбулентность, которая будет порождаться этими неоднородностями, влияют на формирование погодных условий. При этом не только природная среда, но и среда городская неоднородна, рождает турбулентность на границе горизонтального ламинарного потока. В любом городе, где мы живем, нас окружают турбулентные вихри, определяющие перенос тепла и пассивных примесей.

Атмосферный пограничный слой — важное звено не только с метеорологической точки зрения, но и с электродинамической. В глобальной электрической цепи — замкнутом распределенном токовом контуре, образованном нижними слоями ионосферы, верхними слоями океана и земной коры, — это участок с самым большим электрическим сопротивлением, который определяет величину тока из ионосферы на земную поверхность или водную гладь, в океаны. Основные природные ионизаторы атмосферы над континентами — альфа-, бета- и гамма-излучение содержащихся в грунте радиоактивных элементов, поступающие из земной коры в атмосферу изотопы радона и продукты их радиоактивных распадов, а также космические лучи.

И вот что интересно. Если мы говорим об ионизации, то речь идет о размерах атомного уровня. Если мы говорим о глобальной электрической цепи, то речь идет о земном радиусе, а это уже 6,37 тыс. км как минимум. А если мы будем рассматривать галактические космические лучи как источник ионизации, то мы должны учитывать космические масштабы. Мы изучаем весь этот скэйлинг геофизических процессов — от атомарных до галактических масштабов.

— Что еще уникального в вашей геофизической обсерватории?

— Ответ на этот короткий вопрос может быть слишком длинным: все, что мы здесь делаем, обладает элементами уникальности. Например, для изучения электричества атмосферного пограничного слоя нами создана не имеющая аналогов установка. Это аппаратная аэростатная платформа, содержащая блок электростатических флюксометров для измерения напряженности электрического поля, датчики электрической проводимости атмосферы, метеорологические датчики, а также радонметр и прибор для измерения концентрации аэрозолей. Имеются системы передачи и предварительной обработки данных. Привязной аэростат, на который крепится аппаратная платформа, поднимается до высоты 500 м. Вес платформы — около 25 кг, что для аэростатных наблюдений представляется значительной величиной. В течение суток установка может



Пресс «Инова-1000» — лабораторное моделирование процессов разрушения горных пород (слева); электронный сканирующий микроскоп Tescan Vega II LMU (вверху)



Регистрационный корпус Геофизической обсерватории «Борок»

непрерывно работать, будучи фиксированной на определенной высоте. Мы можем управлять аэростатом, поднимать его, опускать, осуществлять измерения на разных высотах и снимать высотные профили, изучать электричество атмосферы и турбулентность. Это совершенно уникальное оборудование. Исследования проводятся при финансовой поддержке Российского научного фонда. Результаты наблюдений опубликованы в ведущих зарубежных и отечественных журналах, статьи находятся в открытом доступе.

— Читала о том, что странные завихрения на картинах Ван Гога — это не что иное, как изображение турбулентных вихревых потоков. Якобы это может помочь физикам изучать турбулентность. Это правда или чьи-то выдумки?

— Я слышал об этом. С большим интересом отношусь к творчеству Винсента Ван Гога. Знаю его биографию, этапы жизни. Был в Музее Ван Гога в Амстердаме, перелистываю и перечитываю книги о нем. Люди подобного масштаба находятся в гармонии с природой. Он не просто видел свое мир — он еще и чувствовал его

движение, изменения этого мира не в привычных для нас масштабах типа «день — ночь» или «лето — зима», а в других, неподвластных обычному взгляду. Я говорил о секундном разрешении многих наших измерений. А здесь у человека проявляются подобные способности. Гармония — это означает, что не только сам человек чувствует природу, но и природа начинает что-то ему отдавать, открывать для него. Поэтому зачастую я оцениваю ученых именно по тому, что же им нового открыла природа, какую она дала им возможность. Ведь наша основная цель — новые знания о природе.

— Вы имеете в виду интуицию в науке?

— Можно и так сказать. Но интуиция — только первый момент, необходимое условие, направление. А будет ли еще хватать природного ума, образования, знаний для того, чтобы понять, осознать этот объект? И позволит ли сама природа взять эти знания о себе? Может быть, мы еще должны дорасти до каких-то знаний о природе? Думаю, нам всем еще многое предстоит на этом пути. ■

Беседовала Наталья Лескова





ПРИРОДНЫЕ РЕСУРСЫ

ПИК ВОДЫ

Данные, полученные с самых высоких гор земного шара, показывают, что ситуация с водоснабжением 2 млрд человек меняется

Уолтер Иммерзил

Как же длинны ночи, проведенные в палатке на высоте 5,3 тыс. м над уровнем моря у подножия ледника Яла в Непале.

В 20:00, после традиционного непальского дал-бата, пряного кушанья из чечевицы и риса, десять членов нашей экспедиции укрываются от холода в спальнях мешках в маленьких палатках, составляющих наш временный лагерь. Засыпать трудно, потому что нехватка кислорода вызывает увеличение частоты сердечных сокращений. В результате я провожу много ночей, прислушиваясь к отзвукам грохочущих отдаленных лавин и раскалывающегося льда и составляя план действий на следующий день. С восходом солнца лагерь оживает и мы поднимаемся по крутому склону ледника, чтобы установить специальные приборы на высоте 5,6 тыс. м.

Наша команда, в состав которой входят коллеги из Международного центра комплексного горного развития в Непале, с 2012 г. дважды в год проводит полевые исследования в данной местности, называемой водосбором Лангтанг. Мы установили автоматизированные гидрометеостанции в базовом лагере и на высоких точках, чтобы измерять осадки, высоту снежного покрова, радиацию, температуру, относительную влажность и параметры ветра, благодаря чему Лангтанг становится одним из самых контролируемых высокогорных водосборов в Азии. Каждые шесть месяцев нам нужно бывать на станциях для проверки приборов и сбора данных; здесь нет сотовой сети, чтобы автоматически передавать показания, — ведь горы, как правило, не пропускают спутниковых сигналов. Во время восхождения мы поставим новые датчики на металлический каркас высотой в 3 м, который вкручивается в толщу льда. Чувствительные приборы будут измерять сублимацию — фазовый

ОБ АВТОРЕ

Уолтер Иммерзил (Walter Immerzeel) — физико-географ, профессор Утрехтского университета в Нидерландах, возглавляет группу по горной гидрологии. С 2002 г. он жил в Непале и проводил измерения запасов снега и льда высоко в Гималаях.



переход льда непосредственно в водяной пар, отбирая показатели температуры и пробы пара десять раз в секунду.

Наши экспедиции помогают собрать материал, необходимый для понимания высотного круговорота воды: снег падает на горные вершины и постепенно превращается в глетчерный лед, который медленно спускается по склону и тает. Вода устремляется вниз, пополняя реки, которые питают многочисленные высокогорные селения, сельскохозяйственные угодья на террасах, гидроэлектростанции, леса, поля в долинах, а также крупные города и промышленные предприятия, расположенные ниже по течению. Когда мы только начинали работу, круговорот воды на большой высоте был в значительной степени неизвестен. Мы не знали, сколько на самом деле выпадает осадков в виде дождя и снега, каков водный баланс снежного покрова или почему ледники, покрытые обломками с окружающих склонов, как кажется, тают столь же быстро, как и те, что свободны от наносов. Нам необходимо знать эти детали, чтобы определить, сколько воды в конечном итоге дают снежный покров и ледники и как объем стока и режим рек могут измениться в будущем.

Водосбор Лангтанг представляет собой небольшой речной бассейн, куда стекает вода с нескольких горных вершин и ледников. Здесь протекает река Трисули — важный источник воды для плотин гидроэлектростанций, недавно построенных посередине горных склонов, и для орошения полей, лежащих ниже по течению. Суммарный сток поступает в дельту Ганга в сотнях километров от нас, которая обеспечивает водой 400 млн человек, пока река не вольется в Бенгальский залив к востоку от Индии. В Гималаях есть сотни водосборных бассейнов, похожих на Лангтанг.

Аналогичная динамика процессов характерна и для многих других горных цепей, таких как Альпы, Анды и Скалистые горы. Исследование, которое мы опубликовали в журнале *Nature* в декабре 2019 г., показало, что 78 из подобных «водонапорных башен» от Тарима в Китае до Пуны в Перу



Ученые устанавливают метеостанцию на высоте 5,6 тыс. м на леднике Яла в непальских Гималаях, чтобы выяснить, как накапливается и тает снег. Талая вода начинает стекать тонкими струйками вниз по склону, собираясь во все более крупные реки, которые снабжают водой фермы, плотины гидроэлектростанций и миллионы людей на пути к дельте Ганга и Бенгальскому заливу.

Господство муссонов

Горы похожи на водонапорные башни, потому что на больших высотах выпадает больше дождей и снега, чем внизу на прилегающих территориях, и потому что большая часть осадков временно там сохраняется в виде масс снега и льда. Эти запасы снега и льда тают медленно и непрерывно, обеспечивая надежное и предсказуемое водоснабжение и выступая в роли естественного буфера, смягчающего засухи.

Вода, хранящаяся высоко в горах Непала, принципиально важна для людей, которые живут ниже, потому что муссонные ветры, дующие с июня по сентябрь, приносят 70–80% годовых осадков в Гималаях. Данные наших метеостанций вместе с моделями погоды отображают, как муссоны взаимодействуют с горами. Даже в пределах такого небольшого водосборного бассейна, как Лангтанг, дождевые осадки весьма переменчивы. Изучаемая нами долина протянулась с востока на запад, поднимаясь в том же направлении. Большая часть осадков, приносимых теплым влажным воздухом, выпадает на участке между началом долины, что на высоте 1,35 тыс. м, и деревней Лама-Отель на отметке 2,48 тыс. м. Наши измерения показали около 250 см годовых осадков в данном месте, самом

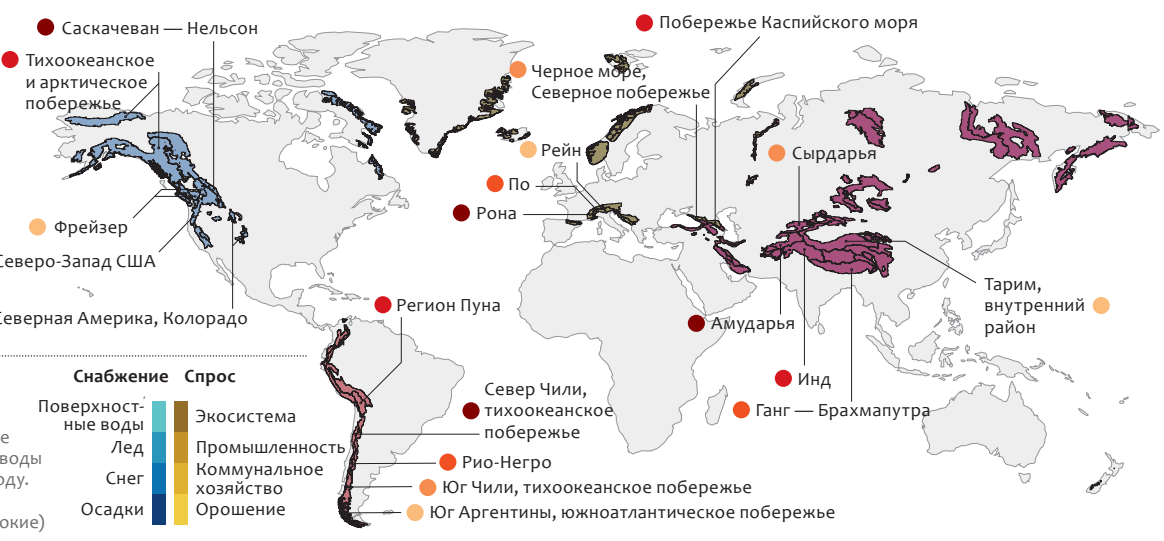
обеспечивают основные потребности в пресной воде около 2 млрд человек во всем мире. Компьютерные модели показывают, что изменение климата может поставить под угрозу эти жизненно важные ресурсы воды. Изменения температуры, характера выпадения осадков, накопления и таяния снега, а также распределения взвешенных в воздухе твердых частиц — все эти данные помогают определить, сколько воды приходит с высот. Однако следует сказать, что большинство планов и мероприятий, связанных с изменением климата и устойчивостью систем, не учитывают роли горных вод. Теперь, когда мы провели систематическое изучение высочайших «водонапорных башен» мира, все может измениться.

Горы, питающие водой мир

Ресурсы воды в виде льда, снега и дождя, сосредоточенные в 78 региональных горных системах, или «водонапорных башнях», обеспечивают водой почти 2 млрд человек и окружающие экосистемы. Ранжирование башен на каждом из континентов показывает, какие из них имеют большую важность, доставляя много воды для многих людей. Самые жизненно значимые башни оказываются также и наиболее уязвимыми к изменению климата, росту населения и экономическому развитию, что свидетельствует о необходимости принять меры защиты водоснабжения и снижения потребностей.

78 мировых водных систем на базе ресурсов льда
Отмечены пять систем высшего порядка на регион

Степень важности
Высокая → Высшая

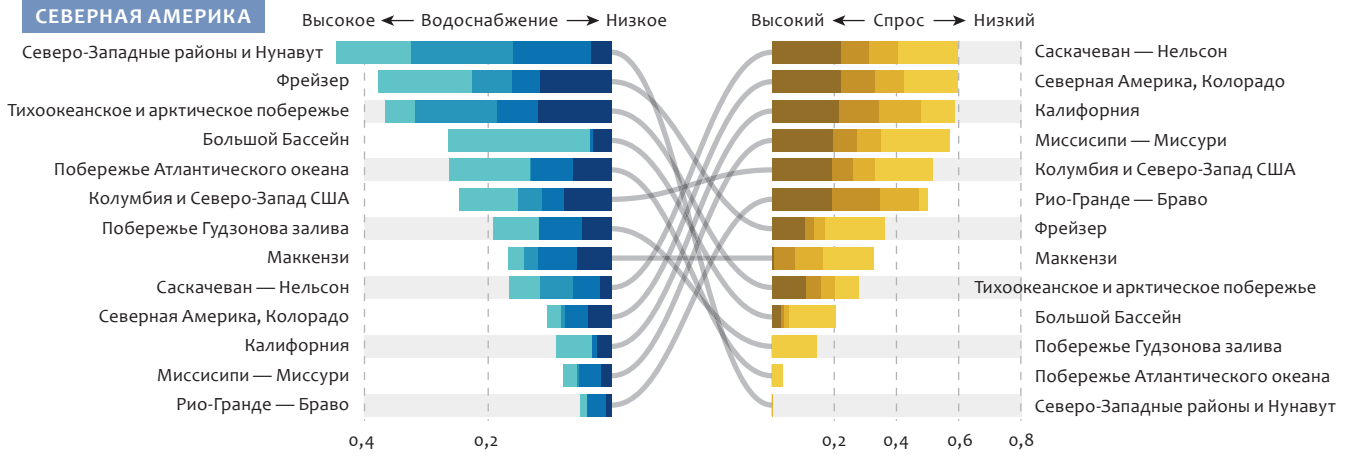


ДИАГРАММА

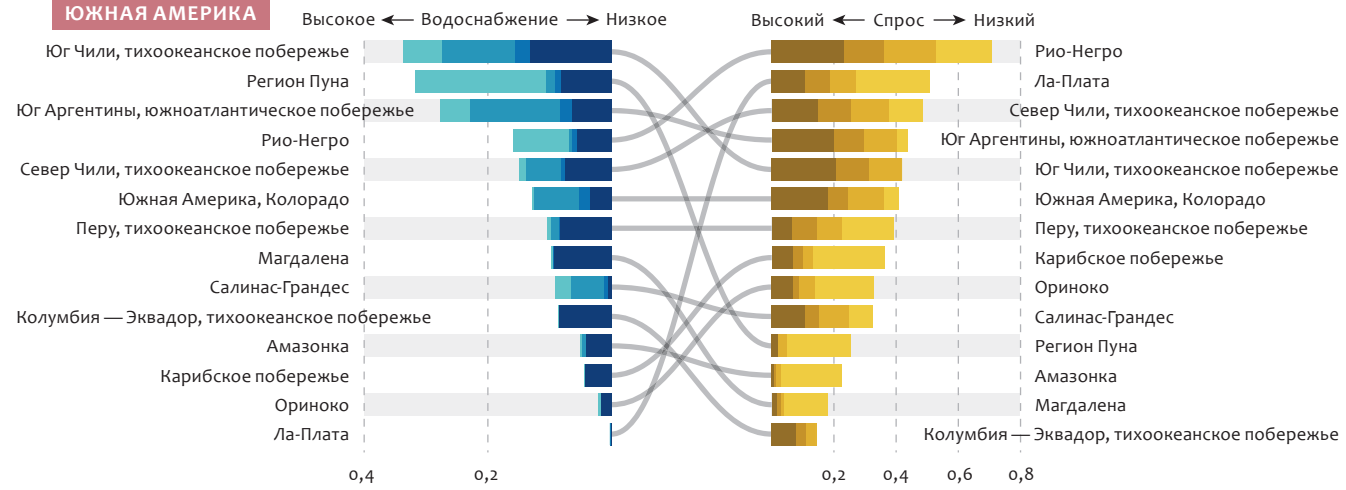
Высокие показатели указывают на большое количество доставки воды и большой спрос на воду. Условные показатели от 0 (низкие) до 1 (высокие)



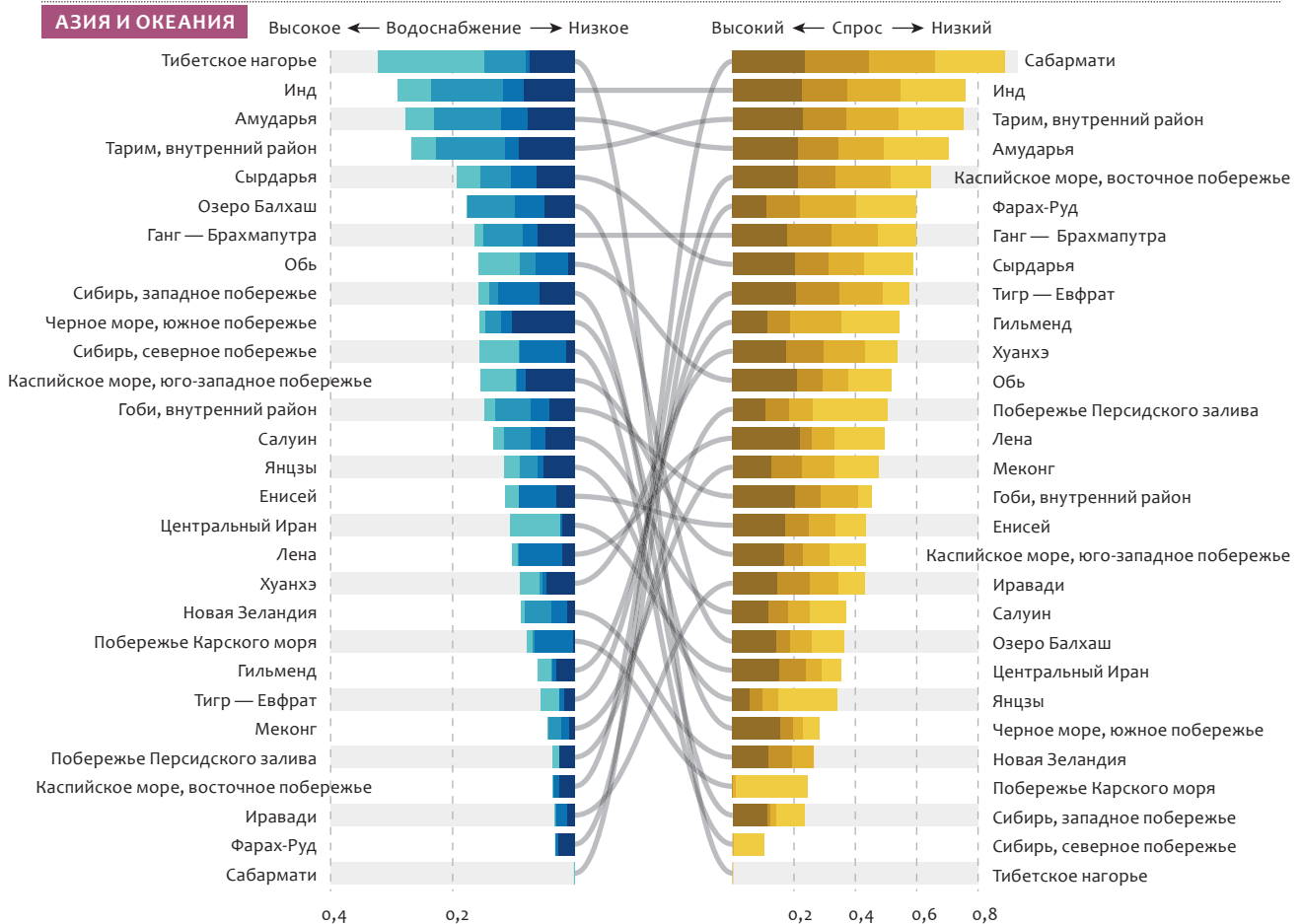
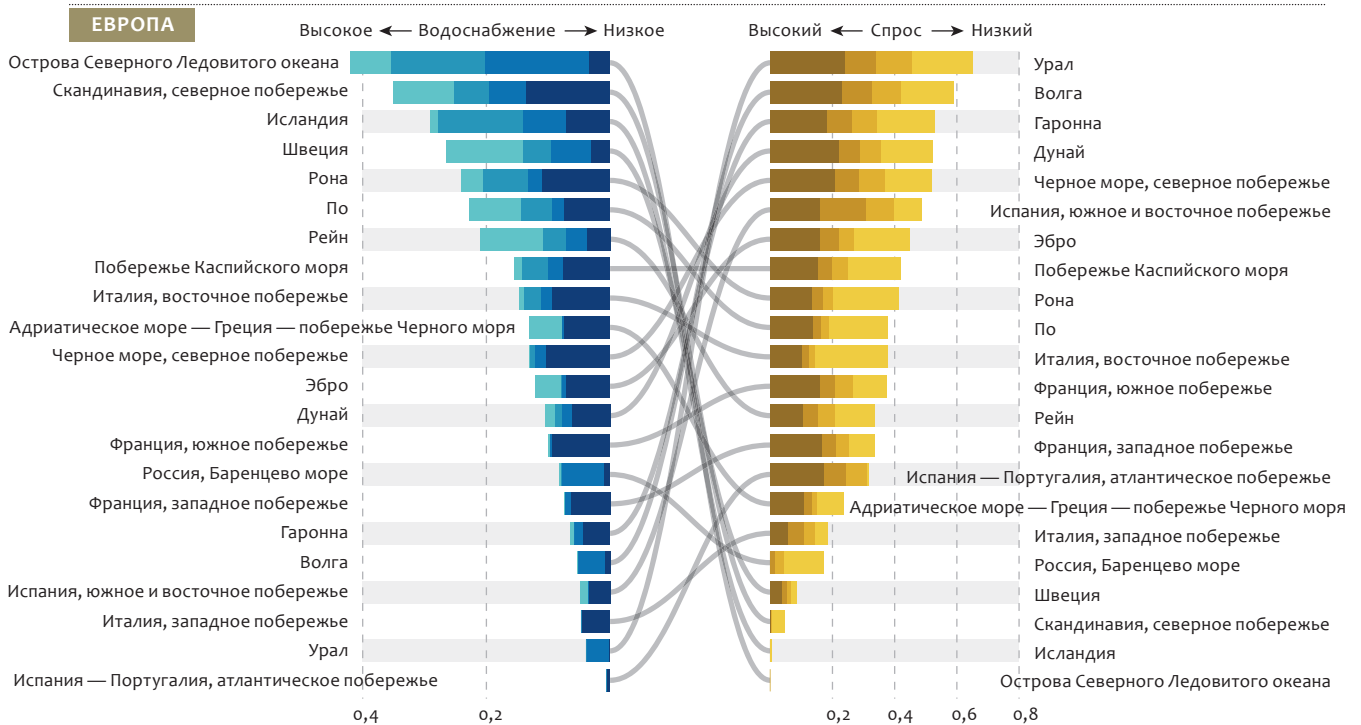
СЕВЕРНАЯ АМЕРИКА



ЮЖНАЯ АМЕРИКА



Graphic by Pitch Interactive



SOURCE: "IMPORTANCE AND VULNERABILITY OF THE WORLD'S WATER TOWERS," BY W. W. IMMERZEEL ET AL., IN NATURE, VOL. 577, JANUARY 2020



влажном в долине. Деревня Кянджин на высоте 3,9 тыс. м находится всего в 15 км к востоку, но, согласно показаниям, годовое количество осадков составляет в ней около 80 см. Хотя деревня расположена так близко, в ней суше более чем в три раза.

Расположение и форма гор создают разные локальные эффекты. Если мы поднимемся от Кянджина к леднику Яла на высоте 5,3 тыс. м, количество осадков снова увеличится в среднем на 40%. Объединяясь, крупномасштабные, средние и долинные процессы вместе взятые определяют распространение дождя и снега по всему региону. Если, например, основная часть осадков выпадает в виде дождя на нижних высотах, реки внизу будут течь иначе, чем если бы большинство осадков остались в виде снега на большей высоте.

Чтобы понять динамические свойства «водонапорных башен», мы тщательно исследовали общее количество воды, запасанное в снеге недалеко от ледника Яла. Рассчитанное как эквивалентный слой воды, это количество зависит от того, сколько снега выпадает, сколько тает и повторно замерзает, сколько испаряется и разносится ветром. Наши приборы в базовом лагере на высоте 5,3 тыс. м измеряют многие из этих переменных. Условия, однако, могут быть суровыми: так, на сильном холоде взорвались батареи, сильный ветер погнул датчики, а лавины опрокинули леса, на которых держалось наше оборудование.

Особенно сложно измерять сублимацию — турбулентный процесс, который происходит в холодных, солнечных, ветреных и засушливых условиях, столь характерных для гималайской зимы. Приборы, подобные тем, что мы установили на высоте 5,6 тыс. м, дают количественную оценку сублимации посредством измерения переменных влажности и температуры воздуха. Мы выяснили, что в ветреных, открытых местах приблизительно 21% снегопада никогда не попадает в реку, потому что он испаряется в атмосферу. Это явление свидетельствует, что даже при температуре ниже 0° С снежный покров может сжиматься.

Мы установили также, что если температура воздуха ниже нуля в 2 м выше снежного покрова, то на снежной поверхности достаточно энергии для таяния снега. Эта энергия — конечный результат воздействия коротковолнового излучения Солнца, длинноволнового излучения, испускаемого поверхностью и атмосферой, а также турбулентных тепловых потоков. Внутри снежного покрова происходят интересные процессы. По крайней мере 30% снега, который превращается в воду днем, снова замерзает ночью. Таким образом, для таяния снежного запаса требуется гораздо больше энергии, чем можно было бы предположить, исходя исключительно из его массы.

Мы ставим еще один прибор над снежной поверхностью, чтобы измерить изменения гамма-



Из базового лагеря на леднике Яла на высоте 5,3 тыс. м исследователи каждые шесть месяцев отправляются для установки оборудования и получения данных с приборов, разбросанных по горным хребтам. Ученые, в том числе автор (в синей куртке на установке), также должны обслуживать датчики, которые повреждаются в экстремальных температурных и ветровых режимах.

излучения, дающие представление об эквивалентном слое воды. Горная порода под снегом естественным образом излучает гамма-лучи, и степень затухания их сигнала зависит от того, сколько воды фактически хранится в снежной толще.

Иногда мы находим и применяем неожиданные способы сбора информации. Приблизительно восемь лет назад один наш коллега, работающий в Тасмании, запустил там дроны над оползнем и затем вернулся с интересными данными о размерах и скорости движения оползня. Мы поняли, что можем использовать тот же подход к получению данных о труднодоступных и покрытых обломками ледниках. Наша первая вылазка на язык ледника над Кянджином произошла в 2013 г.

С помощью дрона делаются снимки поверхности ледника с частичным их перекрытием. Программное обеспечение позволяет определять неровности рельефа с замечательным разрешением около 10 см. До 2019 г. мы повторяли изыскания примерно каждые шесть месяцев. Мы выяснили, что край ледника отступает примерно на 40 м в год, на поверхности лед истончается примерно на 80 см в год, а сам истощенный лед теряет способность течь. Недалеко то время, когда вся холодная масса перестанет считаться ледником. Вместо этого останется кусок мертвого льда, медленно растекающегося, как грязная куча взрыхленного снега на краю автостоянки. Теоретически покрытый обломками ледник должен таять гораздо медленнее непокрытого на одной высоте, потому что обломки действуют как тепловая защита. Однако мы определили горячие точки таяния, которые усилили весь процесс. Мы бы никогда не нашли их на традиционных спутниковых снимках, разрешение которых слишком грубо.

Все эти части головоломки мы вносим в наши модели, чтобы узнать, сколько воды будет течь

в реках в будущем. Отметим важность одного заключительного показателя — количества текущей сегодня воды в реках. Одна лишь высота толщи воды не может выражать весь объем потока. Нам нужна так называемая кривая расхода — зависимость между уровнем воды и расходом рек. И эта кривая должна давать представление как о течении рек, срывающихся с гор в сезон муссонов, так и о незначительном зимнем стоке. Собрать надежные данные в данном районе сложно. Мы либо монтируем датчики давления в стальной трубе на дне реки, либо укрепляем радарные датчики на подставках, выступающих на несколько метров над поверхностью воды. Мы также бросаем соль в реку выше по течению от гидрометрических установок и контролируем изменения электропроводности на месте замера; степень растворения соли может помочь определить расход воды. Несмотря на то что условия на реке гораздо лучше, чем на высоте 5,3 тыс. м, паводки в сезон муссонов сносили датчики. Но надо сказать, что после многих лет напряженной работы теперь у нас есть неплохие знания о течении рек.

Лавины и наводнения

В течение ряда лет мы интегрируем данные, полученные о разных водосборных бассейнах, в модель, которая описывает все процессы, влияющие на реки в Гималаях; другие ученые делают то же самое, изучая другие горные районы мира. Ввиду изменения климата вступают в силу некоторые осложняющие факторы.

Во-первых, это зависимость потепления от высоты, когда горы нагреваются быстрее, чем расположенные ниже равнины, поскольку действуют атмосферные обратные связи, как то: образование облаков, повышенная влажность и повышенное альbedo ввиду отступления снежных масс. Глобальное потепление на 1,5° С означает потепление на 2,1° С в Гималаях.

Во-вторых, сезонность. В более теплых атмосферных условиях содержится больше влаги, чем объясняется увеличением количества осадков в горах. И основная их часть выпадает в виде не снега, а дождя на каменистые поверхности, ранее покрытые льдом, откуда они быстро стекают в реки. Согласно исследованию, опубликованному в июле прошлого года, в большинстве моделей предполагается более влажный климат, при этом условия в регионе могут сильно отличаться друг от друга. По сравнению с ледниками в устойчивом состоянии тающие ледники будут давать больше воды рекам в краткосрочной перспективе, но меньше в долгосрочной, когда ледники, отступая вверх, становятся тоньше. По нашим оценкам, Лангтанг достигнет максимального уровня водоснабжения примерно в 2060 г., а затем обеспеченность водными ресурсами будет постоянно падать.

Мы придем к лучшему пониманию, как только установим больше датчиков, тем самым уплотним сеть, особенно на большой высоте, и введем данные в чрезвычайно подробные модели. Дистанционные измерения со спутников также могут способствовать лучшей количественной оценке характера выпадения осадков на участках между датчиками, охватывая всю территорию бассейна, что позволит точно отладить работу наших моделей. С таким же успехом работают научные сотрудники в разных горных странах. Например, по Альпам и Андам собраны хорошие массивы данных. Расширяется область исследований в Гималаях, где ученые из Университета Катманду и Трибхуванского университета переключают свое внимание на высокие площадки, проводя измерения на горных хребтах Аннапурны и Эвереста.

Исследования кругооборота воды высоко в горах уже дают понимание важности источников горной воды для миллиардов людей во всем мире

Моя команда также проанализировала водообеспечение по всему миру, применяя гидрологическое моделирование. В нашем исследовании в *Nature* оцениваются в порядке важности горные «водонапорные башни», разбросанные по всему миру. Мы считаем такую башню важной, если она отличается изобилием ледников, запасами снега или озерами и если потребность в воде людей, живущих внизу, велика. К знаменитым «водонапорным башням» относятся Колорадо, Фрейзер в канадской провинции Британская Колумбия и Рио-Негро в Аргентине, а также европейские Альпы, питающие реки Рейн и По.

Из наших моделей очевидно, что горные хребты Азии, питающие такие крупные реки, как Амударья и Инд, — самые важные в мире. Они также входят в число наиболее уязвимых: по прогнозам моделей, им грозят высокие темпы потепления, а также ожидается быстрый рост населения и экономики, что значительно увеличит потребность в воде. Средняя водообеспеченность вряд ли снизится до середины века, отчасти из-за увеличения объема муссонных дождей, но долгосрочный прогноз остается мрачным. Мы прогнозируем, что к концу века будет потеряно от 50% до 60% объема ледников, если мир радикально не сократит выбросы парниковых газов.

В недалеком будущем высокогорной Азии предстоит справиться с серьезной проблемой

изменения режима речного стока и стихийных бедствий. В некоторых водосборных бассейнах таяние снега может начаться на несколько недель раньше, чем это было прежде, поэтому фермерам придется менять состав сельскохозяйственных культур или время посевных. Поскольку снежный покров обеспечивает меньшую часть буферной защиты, вздувшиеся реки будут увеличивать паводки в районе, который уже ежегодно сталкивается с сильными наводнениями.

Катастрофические ливни в горах также вызывают увеличение оползней, особенно во время сезонных дождей. Усиление таяния приводит к наполнению ледниковых озер до краев, вызывая бедственные наводнения, когда нагромождения камней, подпирающие озера, обрушиваются и вода прорывается под огромным давлением сверху. За последние два десятилетия стихийные бедствия, такие как лавины, оползни и внезапные наводнения, стали причиной тысяч жертв и принесли экономический ущерб на миллиарды долларов. Увеличение количества экстремальных осадков и потепление в будущем усугубят аварийные ситуации. Ущерб также будет возрастать, поскольку умножающееся население строит города и плотины гидроэлектростанций на все больших высотах.

Хотя эти общие тенденции очевидны, каждый район необходимо подробно изучать, чтобы предоставить людям нужную информацию. Одна из аномалий — это Центрально-Азиатский регион, где хребты восточного Памира и Каракорума сходятся с западным Куньлунем. В отличие от всего мира в этом регионе ледники стабильны или даже набирают массу. Данные, собранные приблизительно за последний год, показывают, что взятые в более широких масштабах земледелие и орошение в близлежащем Таримском бассейне могут сыграть свою роль. Вода, забираемая для нужд ирригации из подземных и поверхностных источников, испаряется в атмосферу, а транспирация сельскохозяйственных культур добавляет еще больше влаги. Образующийся туман конденсируется над горами и выпадает в виде снега — важное напоминание о том, что человеческая деятельность может изменить природные системы.

Горная стратегия

Исследования кругооборота воды высоко в горах уже дают понимание важности источников горной воды для миллиардов людей во всем мире. Ответственные лица должны начать действовать прямо сейчас, чтобы защитить природный цикл.

Первый шаг — включить проблемы гор в более широкие дискуссии о сохранении природных ресурсов Земли. На местах руководители могут создавать национальные парки в целях защиты горных пиков от разработок. Необходимо принять

стратегию по сокращению выбросов загрязняющих веществ и сажи, дабы уменьшить количество приносимого по воздуху мусора. Кроме того, важно построить водохранилища для дождевой воды и снежных запасов, которые весной быстро тают, пока проводится анализ того, как размеры конструкции и влияние на сток воды могут неблагоприятно сказываться на экосистемах. Прекрасный пример — долина Лангтанг. В высокогорном селе не было электричества еще два года назад, когда неправительственная организация и селяне построили гидроэлектростанцию, которая теперь обеспечивает жителей деревни электричеством и, следовательно, интернетом.

Соседние страны могут объединить усилия, чтобы сократить потребность в воде; договоры могут включать проблемы конкуренции в заборе воды из рек, стекающих с высоких вершин и часто пересекающих национальные границы. Министры из восьми стран, которые расположены в регионе Гиндукуш — Гималаи, подали убедительный пример в октябре 2020 г., когда они встретились на саммите горных стран и подписали декларацию, в которой обязались использовать научные подходы для улучшения проводимых в горных районах мер, прислушиваться к сообщениям самых

разных групп населения региона и выступать единым фронтом на глобальных переговорах. Миллионы людей в Афганистане, Бангладеш, Бутане, Китае, Индии, Мьянме, Непале и Пакистане зависят от региона Гиндукуш — Гималаи как центра водоснабжения, а режим выпадения осадков и урожаи там уже подвергаются изменениям.

Вершины мира быстро преобразуются. В течение следующих нескольких десятилетий многим людям, живущим на склонах и в долинах, придется приспосабливаться к более экстремальным погодным условиям, опасным природным ситуациям и изменениям в водоснабжении. Ученые, инженеры и политики должны объединить усилия и действовать сейчас, чтобы гарантировать, что водные ресурсы гор будут доступны будущим поколениям. ■

Перевод: В.И. Сидорова

ИЗ НАШИХ АРХИВОВ

■ Элли Р. Антарктида исчезает? // ВМН, № 4, 2019.

Выходит 6 раз в год

Познавательный журнал для хороших людей

Ослабление природной антиоксидантной защиты хрусталика глаза вызывает развитие катаракты из-за необратимого повреждения белков-кристаллинов

Монокристаллы из молекулярных магнетиков способны «дышать», менять свою окраску и даже прыгать при изменении внешних условий

Мощный современный метод исследования сложных химических веществ, включая биомолекулы, основан на явлении электронного парамагнитного резонанса, открытом в 1944 г. Е. К. Завойским

Риск летального исхода при клещевом энцефалите наиболее велик при заражении сибирским и особенно дальневосточным субтипами вируса

Причиной популяционного краха сокола-балобана стала древняя традиция соколиной охоты на дроф в странах Персидского залива

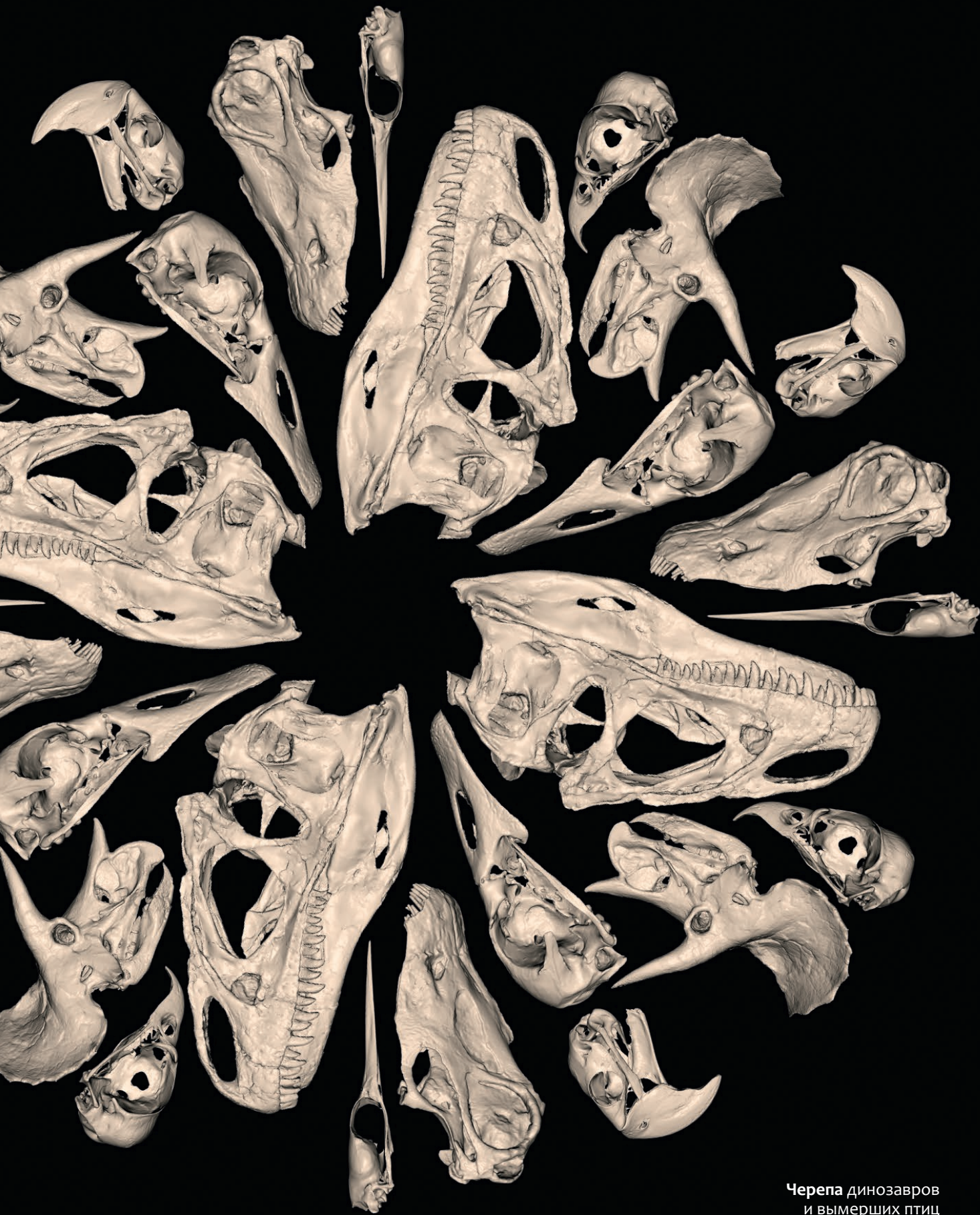
www.scfh.ru

Как ПТИЦЫ расправили КРЫЛЬЯ

Современные птицы невероятно разнообразны. Недавнее исследование показывает, каким образом пернатые существа достигли потрясающего эволюционного успеха

Кейт Вонг





Череп динозавров
и вымерших птиц

ОБ АВТОРЕ

Кейт Вонг (Kate Wong) — старший редактор журнала *Scientific American*, куратор разделов «Эволюция» и «Экология».



В минувшем мае, окончательно свыкшись с мыслью о том, что из-за пандемии мне долго-долго придется безвылазно сидеть дома, я вдруг вспомнила о занятии, которое меня никогда особо не привлекало, — наблюдении за птицами. Вычистив давно забытую птичью кормушку и наполнив ее семенами, я нашла в подвале старенький бинокль и уселась на веранде с чашкой утреннего кофе и определителем птиц, начав медленно постигать искусство распознавания пернатых по их размерам, окраске оперения, форме клюва и пению.

В общей сложности я зарегистрировала в своем пригородном саду 39 видов пернатых. И за долгие часы, проведенные за созерцанием птиц — слетавшихся к кормушке чижей, долбящих стволы деревьев дятлов, расхаживавших по газону индеек, зависавших в воздухе колибри и парящих над головой ястребов, — я снова и снова поражалась фантастическому разнообразию пернатых существ. Сегодня на Земле обитает свыше 10 тыс. видов птиц, составляющих наиболее разнообразную группу наземных позвоночных животных. Как же птицам удалось стать такими разными?

По сути дела, птицы — это динозавры, единственная сохранившаяся до наших дней ветвь древних ящеров. Они возникли в юрский период, в интервале времени между 200 и 150 млн лет назад, и ведут происхождение от тероподов — группы двуногих хищных динозавров, к которой относились громадный тираннозавр и более грациозный велоцираптор. На протяжении десятков миллионов лет птицы эволюционировали бок о бок с другими динозаврами и в конце концов превратились в небольших и легких оперенных рептилий, способных к полету (хотя среди древнейших птиц были и крупные существа, не умевшие летать). Одна из групп этих животных, так называемые веерохвостые, или новые птицы (неорнитины, *Neornithes*), отличалась от сородичей сросшимися друг

с другом ступнями и «лодыжками», а также некоторыми особенностями строения костей, поддерживавших крылья. Эти существа со временем и дали начало современным птицам.

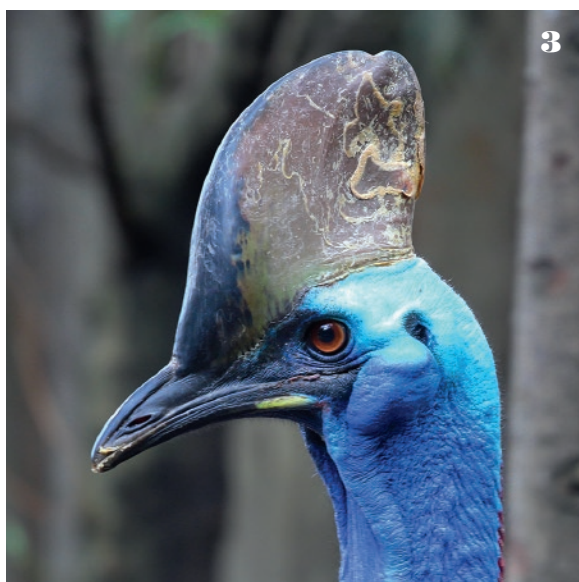
Ученые обычно рассматривают современное разнообразие птиц как результат эволюционного взрыва, последовавшего после роковых событий 66 млн лет назад, когда на Землю обрушился огромный астероид, обрекший на вымирание 75% видов обитавших на планете растений и животных, включая всех динозавров и большинство групп птиц. Трудно сказать, почему этот апокалипсис удалось пережить только веерохвостым птицам, хотя некоторый свет на данный вопрос проливает недавняя находка в Бельгии ископаемого веерохвостого существа, получившего название астериорниса (*Asteriornis*). Эта птица, жившая 66,7 млн лет назад и состоявшая в родственных отношениях с современными утками и курами, обладала небольшими размерами и обитала в прибрежной морской зоне, что, возможно, и помогло ей уцелеть во время катастрофы. Как бы там ни было, массовое вымирание видов, по мнению ученых, расчистило путь для бурной эволюции неорнитин. Освободившись от конкуренции с динозаврами, крылатыми рептилиями птерозаврами и многими другими позвоночными животными, которые также вымерли после астероидной катастрофы,



1



2



3



4

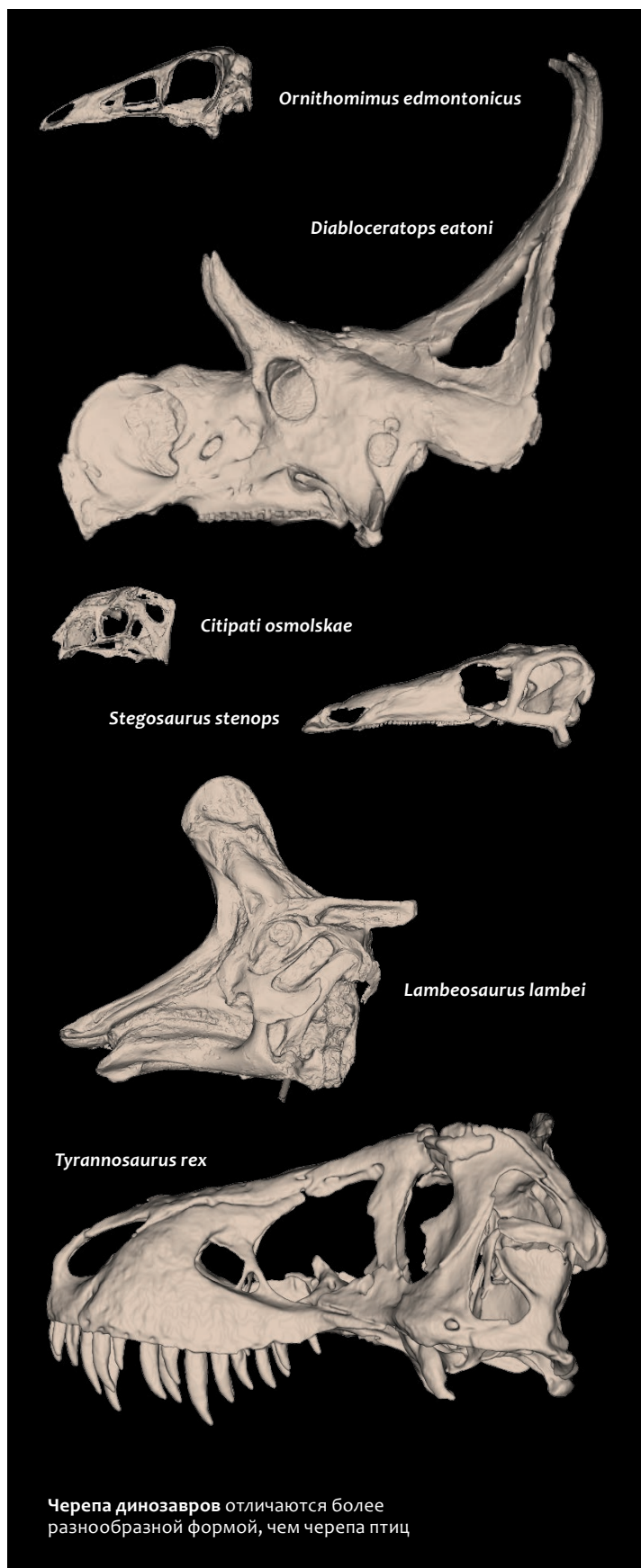
Группа птиц включает свыше 10 тыс. видов пернатых существ, поражающих невероятным разнообразием форм. Они населяют все крупные массивы суши и водоемы планеты и занимают широчайший спектр экологических ниш. На снимках внизу запечатлены красноплечий канюк (1), колибри-герцог (2), казуар (3) и фламинго (4).

птицы в мгновение ока породили множество новых форм, быстро заполнивших опустевшие экологические ниши.

Последние данные, однако, указывают на то, что фантастическое разнообразие пернатых возникло совсем не так. Изучив сотни черепов птиц и динозавров, Райан Фелис (Ryan Felice) из Университетского колледжа Лондона, Анджали Госвами (Anjali Goswami) из лондонского Музея естественной истории и их сотрудники обнаружили, что после массового вымирания видов темпы птичьей эволюции фактически замедлились по сравнению со скоростью эволюции их предшественников-динозавров,

а не ускорились, как ожидали ученые. Это сообщение, опубликованное в журнале *PLOS Biology*, иллюстрирует темпы развития основных групп позвоночных во время эволюционной радиации и указывает на факторы, которые, возможно, играли ключевую роль в этом процессе.

Поскольку полные ископаемые скелеты вымерших организмов встречаются крайне редко, ученые проводили сравнительное исследование окаменелостей, сфокусировавшись на определенных частях тела животных, в первую очередь на черепях, так как эти структуры выполняют множество



функций — от защиты головного мозга и органов чувств от повреждений до кормежки и привлечения партнеров. «Птицы отличаются невероятным разнообразием формы черепа», — замечает Фелис. Сравните, например, черепа ястреба, колибри, голубя и пеликана. «Не связана ли огромная вариативность птичьих черепов с тем, что птицы эволюционировали быстрее своих предков-динозавров?» — спрашивает Фелис. Как бы узок, на первый взгляд, ни был этот вопрос, «он приближает нас к пониманию эволюции биоразнообразия, — объясняет исследователь. — Если какая-либо группа организмов и в самом деле достигла впечатляющей разнородности, естественным образом возникает вопрос: возникло ли это многообразие взрывным порядком или же медленно и постепенно?»

Для выяснения команда ученых провела детальный анализ формы 391 хорошо сохранившегося черепа современных птиц и вымерших динозавров с помощью высокоразрешающего 3D-сканирования образцов. На основе полученных результатов исследователи пытались реконструировать процесс эволюции животных. Обычно для сравнения формы черепов используются определенные анатомические ориентиры (например, швы или бугорки на поверхности костей), присущие всем изучаемым видам. «Наш подход предполагает использование всех этих отметин на черепе для нанесения кривых линий, позволяющих очертить контуры отдельных костей черепа и определить границы между ними, — разъясняет Госвами. — Затем мы берем типовой шаблон ориентиров и кривых и совмещаем его с каждым из образцов в нашей базе данных. Это позволяет получить совокупность точек, равномерно распределенных по поверхности изучаемой кости, — независимо от того, находится ли костная структура под клювом утки или на морде тираннозавра».

Ученые обнаружили, что у динозавров все изученные области черепа эволюционировали в полтора-три раза быстрее, чем у птиц. После массового вымирания видов, завершившего мезозойскую эру и открывшего кайнозой, пернатые разделились на множество линий, давших начало большинству основных современных групп птиц — от колибри и пингвинов до хищных и певчих птиц. Но они формировали это разнообразие гораздо медленнее, чем их мезозойские предшественники — динозавры. «Как только птицы принялись увеличивать свое разнообразие, темпы их морфологических изменений сильно упали», — говорит Госвами.



Разнообразие современных птиц — от хохлатого черного дятла (1) и обыкновенной коллицы (2) до американского чижа (3) и розового пеликана (4) — традиционно считалось результатом эволюционного взрыва, произошедшего после массового вымирания видов в конце мелового периода. Недавнее исследование, однако, показывает, что птицы обрели свое фантастическое разнообразие довольно неспешно.

Откуда такое резкое замедление? По мнению Госвами, оно отражает смещение приоритетов, связанных с функциями черепа. Если черепа динозавров оснащены причудливыми структурами, предназначенными для демонстрации и сражений, а также сложными приспособлениями для кормежки с обширными поверхностями для прикрепления жевательных мышц, то птичий череп в первую очередь выполняет функцию вместилища и защиты головного мозга, объясняет исследовательница.

Специалисты по эволюции птиц, не принимавшие участия в этом новом исследовании,

высоко оценили необычность использованной авторами методологии и отметили большое число охваченных им видов пернатых.

Выявленный в исследовании факт гораздо более высокой, чем у птиц, скорости эволюции черепа у динозавров может показаться удивительным, особенно если учесть огромное разнообразие формы клювов у современных пернатых, говорит сотрудник Музея Брюса в Гринуиче, штат Коннектикут, Дэниел Ксепка (Daniel Ksepka). Это богатство, казалось бы, свидетельствует о высоких темпах эволюции птичьего клюва, представляющего собой существенную часть черепа. Но более

пристальный взгляд заставляет признать, что причудливые клювы некоторых птиц — скорее исключение из правила, говорит ученый. «Известно множество групп пернатых, включающих десятки родственных видов с почти одинаковой формой черепа, — к их числу, например, например, принадлежат семейства славковых и попугаевых. А это указывает на сравнительно слабую эволюцию черепа», — отмечает Ксепка.

Напротив, некоторые группы динозавров обнаруживали фантастические темпы эволюции черепа. Так, в группе цератопсидов, представленной трицератопсом и его сородичами, «каждому виду было свойственно уникальное расположение рогов и гребней на голове. И, похоже, поскольку эти структуры играли важную роль в привлечении партнеров, эволюционировали они очень быстро, — говорит Ксепка. — Подобные причудливые костные украшения на черепе присущи многим динозаврам, но у птиц они встречаются крайне редко; одним из таких исключений служит, например, казуар». Этот крупный нелетающий родственник эму обитает в тропических лесах Папуа — Новой Гвинеи и северо-восточной Австралии и щеголяет высоким костным гребнем на темени. «Вполне возможно, что со временем у птиц главную роль во время демонстрации стали играть перья: среди современных пернатых полным-полно видов с совершенно плоскими черепами, но с красивыми хохолками из перьев на голове. Взгляните хотя бы на кардиналов и голубых соек в своем саду».

Обнаруженный факт неспешной эволюции птичьих черепов «по сути дела, противоречит всему, что мы знаем об остальном скелете пернатых», — говорит авторитетный палеонтолог из Эдинбургского университета Стивен Брюсатт (Stephen Brusatte). Предыдущие исследования Брюсатта и других ученых были посвящены эволюции других, отличных от черепа, частей тела ископаемых животных и показали, что у птиц они эволюционировали быстрее, чем у динозавров. «Мне кажется, все дело в том, что возникновение птиц в первую очередь сопровождалось глубокими и стремительными и изменениями их скелета, связанными с полетом и превращением передних конечностей в крылья, — объясняет Брюсатт. — Голова особого значения для этой трансформации не имела, а потому она попросту отстала от преобразования остального скелета. Птицы, похоже, изобрели свойственный им дизайн головы, оснащенной клювом, большими глазами и крупным мозгом, на самых ранних этапах своей эволюции, и оказалось, что он отлично соответствует

всем их потребностям. Птицам не нужно было радикально менять какие-либо детали этой конструкции, чтобы адаптироваться к различным экологическим нишам. Вместо этого, когда птицы окончательно отделились от динозавров и поднялись в небо, они начали приспосабливаться к новым нишам за счет изменения размеров тела, формы крыльев и стилей полета, а не дизайна головы».

Известно, что подобная «мозаичная» эволюция, при которой различные части тела животных эволюционируют с разной скоростью, была свойственна многим организмам, включая и человека. Как отмечает Ксепка, высокие темпы эволюции черепа у цератопсидов резко контрастируют с едва заметными изменениями костей конечностей. А между тем, отмечает ученый, современные славки и многие другие подобные им певчие птицы почти не обнаруживают каких-либо изменений формы черепа, зато демонстрируют настоящий «калейдоскоп паттернов окраски».

Госвами не исключает, что довольно медленно могли эволюционировать и другие части птичьего скелета. На протяжении своей эволюции динозавры несколько раз меняли четвероногий план строения на двуногий (и обратно) и научились совершать передними конечностями самые разные действия, подчеркивает исследовательница. Достаточно, например, сравнить хилые «ручки» *T. Rex* со столбовидными передними ногами титанозавра. Напротив, птицы, едва превратив свои передние конечности в крылья и освоив полет, сохраняли общий план строения своего тела более-менее неизменным. «Мне кажется, что последующие исследования, где будут использованы большие выборки образцов, также покажут, что птицы, образно говоря, не поспедали за стремительной поступью эволюции своих сородичей — динозавров», — говорит Госвами.

Разумеется, эта «пробуксовка» никак не отразилась на эволюционной судьбе пернатых и их феерической красоте. Они пережили астероидный апокалипсис, покорили небеса и превратились в одну из самых процветающих групп животных на планете. Не зря же говорят: тише едешь — дальше будешь. ■

Перевод: А.В. Щеглов

ИЗ НАШИХ АРХИВОВ

- Брюсатт С. Вставая на крыло // ВМН, № 3, 2017.
- Вонг К. Певчая победа // ВМН, № 1–2, 2020.
- The Origin of Birds and Their Flight. Kevin Padian and Luis M. Chiappe; February 1998.

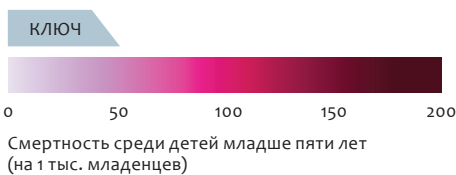
Выживание самых маленьких

Смертность среди детей младшего возраста снижается, однако прогресс в этой области неодинаков в разных странах

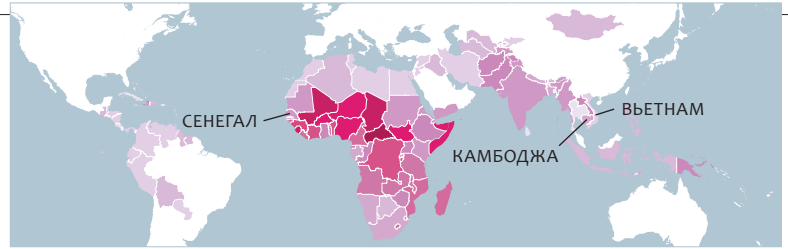
Аманда Монтаньес

Меры, которые были приняты в ответ на цели, поставленные ООН, позволили сократить число смертельных случаев среди детей младшего возраста с 93 (на 1 тыс. рожденных) в 1990 г. до 39 в 2018 г. В странах с низким и средним доходом населения отмечается более высокий уровень смертности среди детей младше пяти лет (*under-5 mortality rates, U5MR*), чем в странах с высоким уровнем дохода, где удалось достичь самой низкой смертности. В статье, недавно опубликованной в журнале *Nature*, высказывается предположение, что в этом вопросе не все так просто. Результаты исследований, авторы которых с 2000 по 2017 г. определяли локальные *U5MR* в районах, округах, штатах и провинциях с низким и средним уровнем дохода, выявили существенную вариабельность этого показателя, особенно в странах с самым высоким и самым низким доходами. Однако в некоторых случаях субнациональные различия *U5MR* значительно уменьшились. Обнаружилось, что в ряде стран соотношение между младенческой смертностью (среди детей до одного года) и смертностью среди детей младше пяти лет возросло — возможно, потому, что бороться с младенческой смертностью сложнее.

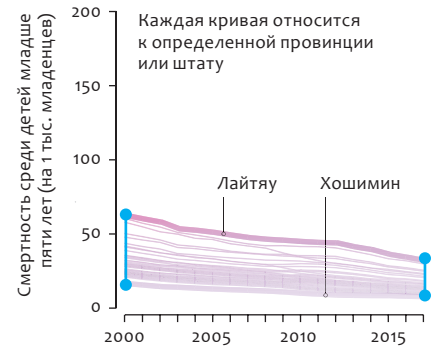
Перевод: С.Э. Шафрановский



Карты отражают оценки *U5MR* за 2017 г. Линейные графики показывают годовые оценки с 2000 г. по 2017 г.

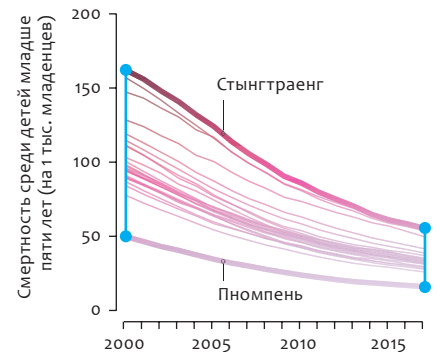


ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ В ПРЕДЕЛАХ СТРАНЫ



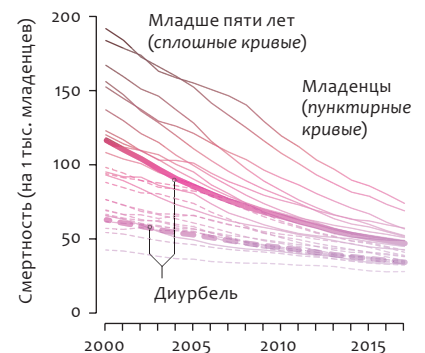
Во Вьетнаме относительно низкий показатель *U5MR*. Однако на субнациональном уровне различие между регионами не позволило существенно сократить разрыв между самыми высокими и самыми низкими показателями. С 2000 по 2017 г. *U5MR* в провинции Лайтяу оставался примерно в четыре раза выше, чем в Хошимине.

СОКРАЩЕНИЕ РАЗРЫВА



U5MR в Камбодже выше, чем в соседнем Вьетнаме, но в пределах Камбоджи региональные различия значительно уменьшились. В период с 2000 г. по 2017 г. разрыв между самым высоким и самым низким *U5MR* в стране сократился почти втрое.

МЛАДЕНЦЫ ВСЕ ЕЩЕ НАХОДЯТСЯ В ГРУППЕ РИСКА



Уровень смертности среди младенцев (младше одного года) снизился, однако происходило это медленнее, чем среди детей в возрасте от одного до пяти лет, что привело к более высокому *U5MR* в процентном отношении. Это наглядно иллюстрирует ситуация в Диурбеле (Сенегал), где соотношение между младенческой смертностью и смертностью среди детей в возрасте до пяти лет выросло с 54% в 2000 г. до 73% в 2017 г.

SOURCE: "MAPPING 135 MILLION NEONATAL, INFANT AND CHILD DEATHS BETWEEN 2000 AND 2017," BY ROLF BURSTEIN ET AL., IN *NATURE*, VOL. 574, OCTOBER 17, 2019



МАРТ 1971

Терапевтическая помощь.

В лечении психических заболеваний в США за последние 20 лет произошли основательные изменения. Одно такое новшество, о котором вне сферы профессиональной психиатрии мало кому известно, — метод лечения, получивший название

«терапевтическая община». Термин описывает способ работы в больнице небольшой психиатрической группы. В идеале группа состоит из 20–40 пациентов; в крупной больнице может быть несколько терапевтических общин. Ключевая составляющая метода — тесная связь между персоналом и пациентами, которые вместе работают и участвуют в принятии решений, касающихся деятельности группы.

Политика открыток. «То, как люди отправляют и получают рождественские открытки, можно <...> объяснить определенными социальными характеристиками, а именно их социальным статусом и карьерными устремлениями». Эта гипотеза, выдвинутая Шейлой Джонсон (Sheila K. Johnson), была проверена ею на практике, результаты опубликованы в журнале *Trans-action*. Она делит все рождественские открытки на три категории: отправляемые и получаемые на взаимной основе; отправленные адресату, но без ответа; полученные, но не отправленные в ответ. Взаимно открытками обмениваются с родственниками или друзьями с близким социальным статусом. Люди отправляют открытки и тем, кто никогда не поздравляет их, но с кем они хотят наладить контакты, а получают они открытки от тех, кому сами никогда не посылают поздравления, но кто хочет установить отношения с ними.



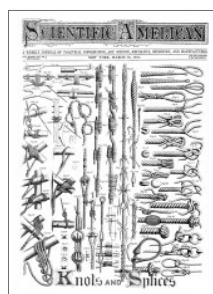
МАРТ 1921

Война с преступностью. Трое грабителей были обращены в бегство с помощью горчичного газа в одном из банков штата Мичиган. За несколько дней до этого баллоны с газом были помещены в хранилище банка в качестве меры предосторожности на случай нападения

бандитов. Когда воры проникли внутрь, взорвав двери, баллоны сдетонировали и злоумышленники разбежались, бросив деньги и инструменты для взлома. Лишь спустя несколько часов в здание можно было войти безопасно.

Возраст Земли. Аббат Теодор Моро (Theodore Morgeaux), директор Обсерватории в Бурже, недавно представил оценки возраста Земли и того, когда

на ней появился феномен жизни. Он считает, что 500 млн лет примерно соответствуют возрасту Земли, и полагает, что до точки, при которой могла существовать жизнь, температура упала около 250 млн лет назад. Человек появился относительно недавно, аббат относит это событие лишь на несколько десятков тысяч лет назад, тем самым доказывая несостоятельность оценки немецкого ученого, который недавно назвал 400 тыс. лет назад вероятным временем появления человека.

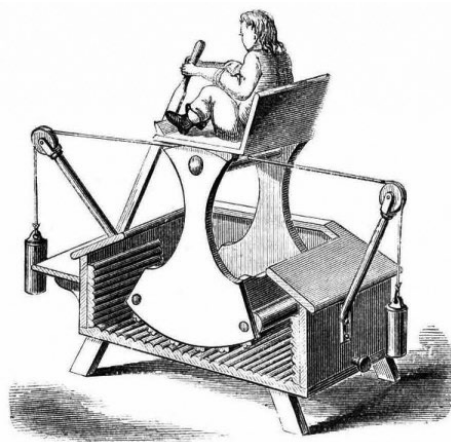


МАРТ 1871

Пиявки для медицины. Повсеместное использование пиявок в хирургии придает большую значимость их выращиванию. Во Франции они стали объектом разведения. В департаменте Ланды, недалеко от Бордо, пиявок разводят сотнями тысяч, а истощенных особей крупного рогатого скота загоняют в болота, чтобы обеспечить их питанием. Для этих целей используют главным образом коров, поскольку когда животное почти обескровлено, его можно перегнать на луг, где оно быстро восстановит силы, чтобы отдать свежую порцию крови, в то время как атакованные пиявками лошади и ослы погибают. Жители побережья красивой лагуны Аркашон ежегодно отправляют в Бордо до 1,5 млн пиявок.

Для этих целей используют главным образом коров, поскольку когда животное почти обескровлено, его можно перегнать на луг, где оно быстро восстановит силы, чтобы отдать свежую порцию крови, в то время как атакованные пиявками лошади и ослы погибают. Жители побережья красивой лагуны Аркашон ежегодно отправляют в Бордо до 1,5 млн пиявок.

Детская сила. Авторство этого изобретения — применение энергии ребенка в стиральных машинах — принадлежит Джону Хайбаргерту (John Highbargert) из Шарпсберга, штат Мэриленд, получившему на него патент. В емкость с ребристыми стенками помещают одежду, мыло и наливают воду. Одежду стирают, раскачивая кресло-качалку, при этом раскачивание осуществляется оператором, который, как показано, держит в руках рукоятку. Эта схема использования энергии детей нова и, без сомнения, будет забавной для оператора. ■



Патентованная стиральная машина, приводимая в действие энергичным ребенком, 1971 г.

Editor in Chief:

Copy Director:

Creative Director:

Managing Editor:

Chief Features Editor:

Chief News Editor:

Chief Opinion Editor:

Senior Editors:

Associate Editors:

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

Editors Emeriti:

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

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

Art Director: Jason Mischka

Senior Graphics Editor: Jen Christiansen

President: Dean Sanderson

Executive Vice President: Michael Florek

Vice President, Commercial: Andrew Douglas

Publisher and Vice President: Jeremy A. Abbate

© 2021 by Scientific American, Inc.

В мире науки

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

Четыре научных приоритета для нового президента США

Первоочередные задачи, которые необходимо решить Джо Байдену и его администрации, — это борьба с COVID-19, перезагрузка климатической политики, восстановление ощущения реальности и повышение значимости науки и ученых.

Космическая головоломка

Странно малое значение космологической постоянной — одна из самых важных неразгаданных загадок физики.

Атака творцов зомби

Нет хуже кошмара для американского таракана, чем изумрудная оса.

На основе тестостерона

Количество этого гормона в организме используется для дискриминации спортсменов.

Загрязнение космоса

Новая индустрия частных запусков может поучиться многому в области устойчивого развития у авиации.

Как COVID-19 влияет на наши чувства

Для неприятного симптома коронавирусной инфекции начинают возникать объяснения на молекулярном уровне.

День, когда умерла музыка

Болотный ясень, из которого делают самые знаменитые в мире гитары, исчезает из-за наводнений и жука-древоточца.





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