

В мире науки

SCIENTIFIC
AMERICAN

Ежемесячный
научно-информационный
журнал

www.sci-ru.org

1/2 2022

12+

ПАРОВЫЕ БУРИ

В результате увлажнения и потепления атмосферы зарождаются разрушительные ураганы и идут проливные дожди

КАРЕЛИЯ: ЗАПОВЕДНИК НАУКИ

НОВЫЙ ТЕЛЕСКОП
ОТПРАВЛЯЕТСЯ В КОСМОС

РАЗГАДАНА ТАЙНА СВЯЩЕННЫХ
ПАВИАНОВ ДРЕВНЕГО ЕГИПТА





4



84

Темы номера

КЛИМАТ

Паровые бури

4

Дженнифер Фрэнсис

Повышенная влажность в теплеющей атмосфере подпитывает сильные ураганы и ливневые дожди

ОХРАНА ПРИРОДЫ

Карелия: заповедник науки

14

Янина Хужина

Республика Карелия славится древними вулканами, чистейшими озерами, богатейшими по своему биоразнообразию лесами. О визитных карточках региона мы говорим с членом-корреспондентом РАН **Ольгой Бахмет**



АСТРОНОМИЯ

Космические столкновения

22

Ли Армус и Аарон Эванс

Новые открытия о том, как сталкиваются галактики, дают представление о будущем Млечного Пути

Первый свет

32

Клара Москович

Долгожданный преемник Космического телескопа «Хаббл», запуск которого много раз откладывался, наконец готов к старту



СОДЕРЖАНИЕ

Январь/февраль 2022

КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Внеземное существование: когда человечество будет жить на других планетах?

44

Анастасия Рогачева

Можно ли воплотить в жизнь идеи научной фантастики? Что нового узнали ученые о планетах? Рассказывает член-корреспондент РАН **Олег Кораблев**



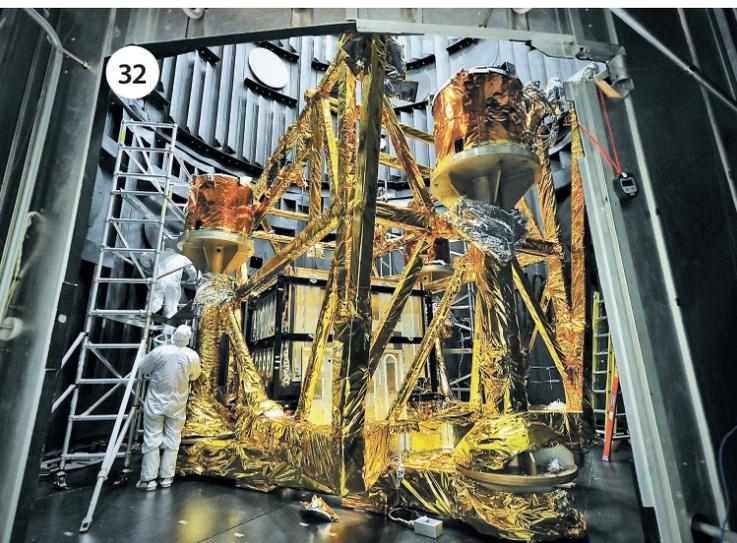
КОСМИЧЕСКАЯ ПОГОДА

Угроза солнечных супервспышек

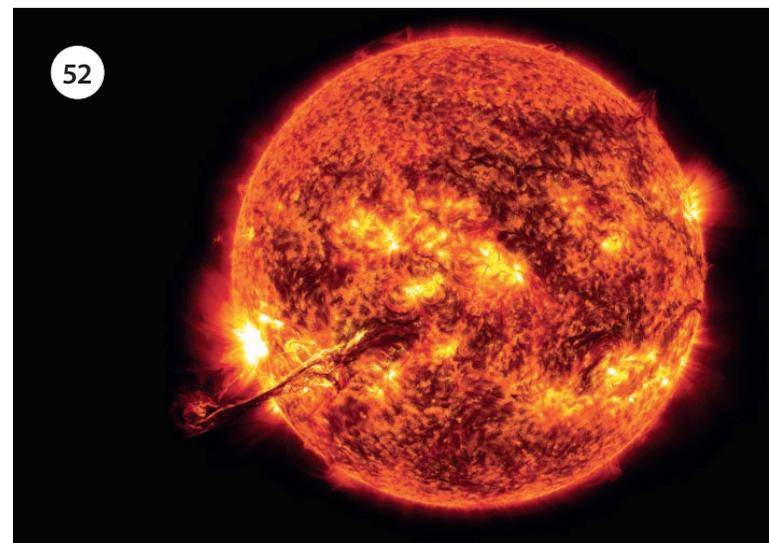
52

Джонатан О'Каллаган

Разрушительные геомагнитные бури, возможно, происходят чаще, чем полагали ученые, и это не предвещает ничего хорошего для нашего в буквальном смысле опутанного проводами глобального сообщества



32



52



102

КОСМИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

Космос на Земле

Александр Бурмистров

Как длительная изоляция может сказаться на психологическом и физическом здоровье человека? Подробности — от научного координатора проекта SIRIUS **Стефании Федяй**

СПЕЦИАЛЬНЫЙ РЕПОРТАЖ

Десятка лучших технологий 2021 года

Важнейшие инновации и технологии прошедшего года в ключевых сферах жизнедеятельности и отраслях промышленности

ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА

В поисках двойника

Наталья Лескова

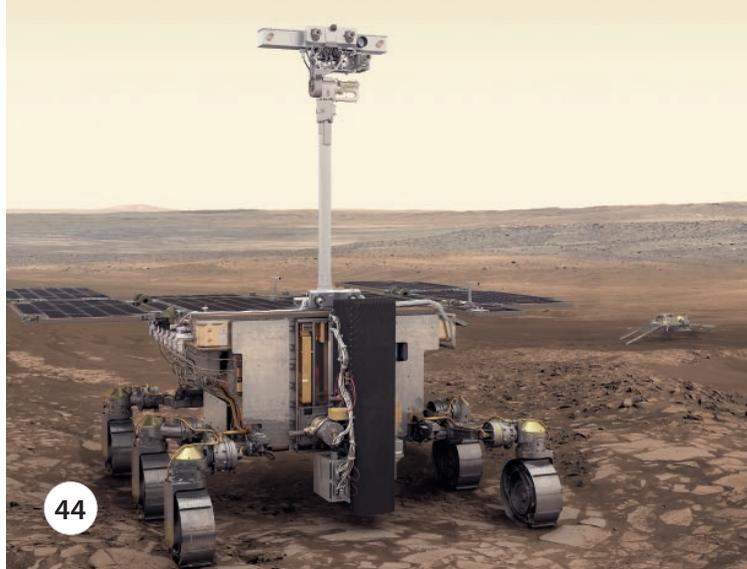
Правда ли, что цифровой двойник есть у каждого из нас? Зачем нам нужны суперкомпьютеры? Как с помощью наноспутников зажечь вторую Луну? Объясняет член-корреспондент РАН **Александр Аптекарев**

БИОРАЗНООБРАЗИЕ

Птичий день

Кейт Воиг

Коннектикутская команда орнитологов-любителей участвует в жарких состязаниях по спортивному бердингу, цель которых — обнаружить за 24 часа как можно большее число видов птиц



44

62 СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО

Могущество агроэкологии

102

Радж Пател

Фермеры по всему миру выращивают и распределяют продукты питания, используя методы, которые улучшают снабжение продовольствием, повышают биоразнообразие и качество жизни



70 УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ

Больше пищи, меньше отходов

116

Мамта Мехра и Чад Фришман

Сокращение потерь по всей пищевой цепи приведет к увеличению количества продовольствия и значительному снижению выбросов парниковых газов

84

84 ПРИМАТОЛОГИЯ

Тайны священных павианов

126

Натаниэл Домини

Недавние исследования живых и мумифицированных павианов помогли ученым понять, почему древние египтяне обожествляли этих докучливых приматов, а также указали на вероятное местоположение сказочной страны Пунт



90

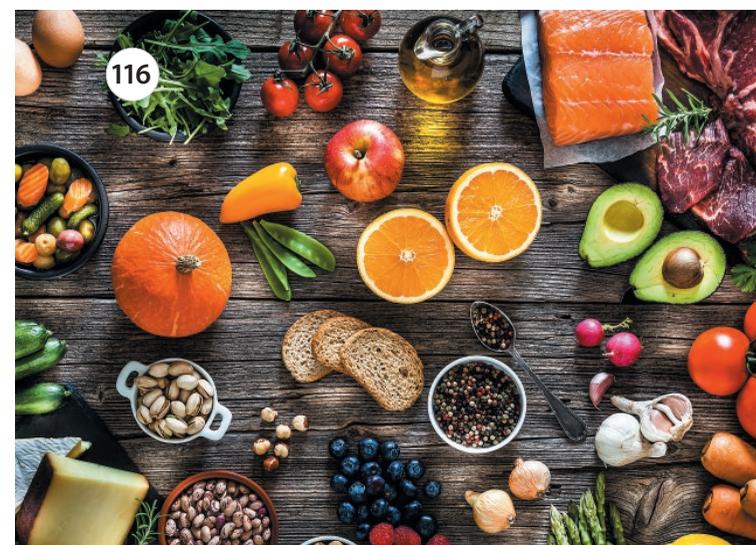
Разделы

От редакции

3

50, 100, 150 лет тому назад

61, 136



116



90

В мире науки

SCIENTIFIC
AMERICAN

Наши партнеры:



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»



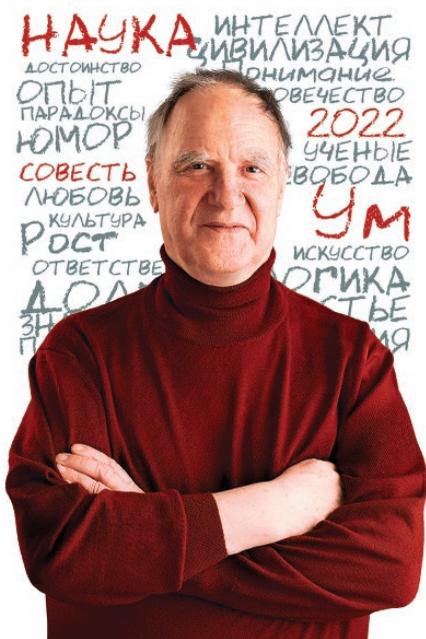
РОСАТОМ



Сибирское отделение РАН



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



Учредитель и издатель:

Некоммерческое партнерство «Международное партнерство распространения научных знаний»

Главный редактор:

В.А. Садовничий

Главный научный консультант:

президент РАН акад. А.М. Сергеев

Ответственный секретарь:

О.Л. Беленицкая

Шеф-редактор иностранных материалов:

А.Ю. Мостинская

Выпускающий редактор иностранных материалов:

В.Д. Ардаматская

Зав. отделом российских материалов:

О.Л. Беленицкая

Выпускающий редактор:

М.А. Янушкевич

Обозреватели:

В.С. Губарев, В.Ю. Чумаков

Администратор редакции:

Э.Х. Мусина

Научные консультанты:

член-корр. РАН А.И. Аптекарев; член-корр. РАН О.Н. Бахмет;

член-корр. РАН О.И. Кораблев; к.ф.-м.н. В.Г. Сурдин

Над номером работали:

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

Дизайнер:

Д.А. Гранков

Верстка:

А.Р. Гукасян

Корректора:

М.А. Янушкевич

Фотографы:

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

Директор НП «Международное партнерство распространения научных знаний»:

А.Ш. Геворгян

Заместитель директора НП «Международное партнерство распространения научных знаний»:

В.К. Малахина

Финансовый директор:

Л.И. Гапоненко

Главный бухгалтер:

Ю.В. Калинкина

Адрес редакции:

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

Отпечатано:

 АО «Можайский полиграфический комбинат», 143200, г. Можайск, ул. Мира, 93,
www.oaomprk.ru, www.oaompk.rф, тел.: 8 (495) 748-04-67, 8 (4963) 82-06-85

Заказ № 0026

© 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.

Дорогие друзья! Поздравляем вас с Новым годом!
Пусть он принесет как можно больше хороших новостей, долгожданных научных открытий, уверенности в завтрашнем дне. От всей души желаем вам крепкого здоровья, оптимизма и бодрости духа!

ДОЛГОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ

Космос не торопится открывать человеку свои тайны. Который век ученые пытаются разгадать хотя бы некоторые из них. Например, что ждет Вселенную в будущем? Статья «Космические столкновения» предупреждает, что через 5 млрд лет наша галактика Млечный Путь столкнется со своей ближайшей соседкой Андромедой. Ничто не в силах это остановить, но ученые могут предсказать, что произойдет, а благодаря новым мощным телескопам — даже предвидеть картину будущего, изучая слияния других галактик.

Лето 2021 г. показало, что водяной пар становится причиной катастрофических наводнений и экстремальных погодных условий по всему миру. Автор статьи «Паровые бури» считает, что мы не можем контролировать количество пара в атмосфере, но можем сократить его, сдерживая потепление, вызванное выбросами углекислого газа и метана, а также вырубкой деревьев.

Ученые давно бьют тревогу по поводу обезлесения нашей планеты. «Зеленый пояс Европы» — международный проект, посвященный экологическому просвещению и рациональному природопользованию. Карельский научный центр РАН более 30 лет ведет масштабную работу в этом направлении и поэтому повторно выбран координатором самой большой части

Зеленого пояса. Глава центра О.Н. Бахмет в интервью «Карелия: заповедник науки» рассказывает о последних научных исследованиях, лежащих в основе экологической безопасности и сохранности природно-исторического комплекса Карелии — заповедников, плантаций карельской березы, наскальных рисунков и других раритетов.

Все актуальнее становится такое направление космических исследований, как поиск и изучение планет, потенциально пригодных для жизни. Но одно дело — построение постоянно действующей базы, а другое — создание условий, к которым привыкли на Земле. Этой проблематике посвящен материал «Внеземное существование: когда человечество будет жить на других планетах?»

Тем временем в Москве в Институте медико-биологических проблем РАН проходит третий этап международного эксперимента по имитации полета и высадки на Луну *SIRIUS-21*, участники которого исследуют возможности человека в условиях долгой изоляции при длительных космических полетах. О том, как это происходит, можно прочитать в статье «Космос на Земле».

Редакция журнала «В мире науки / Scientific American»



КЛИМАТ

Повышенная
влажность
в теплеющей
атмосфере
подпитывает
сильные ураганы
и ливневые дожди

Паровые бури

Дженнифер Фрэнсис



ОБ АВТОРЕ

Дженнифер Фрэнсис (Jennifer A. Francis) — старший научный сотрудник и исполняющая обязанности заместителя директора Центра климатических исследований Вудвелла. Она провела обширные исследования потепления в Арктике, а также роли пара и передачи энергии в атмосфере. Член консультационного совета *Scientific American*.



Л

ето 2021 г. стало ярким примером разрушений, которые может принести непогода в теплеющем мире. В середине июля во время бурь в Западной Германии и Бельгии за два дня выпало до 20 см дождевых осадков. Ливневые воды разламывали здания на части и несли их по улицам. Неделью спустя в китайской провинции Хэнань всего за три дня выпало годовое количество осадков — более 60 см. Сотни тысяч людей спасались бегством от вышедших из берегов рек. Жители города Чжэнчжоу, административного центра провинции, публиковали видео, как пассажиры, оказавшись в ловушке затопляемых вагонов метро, тянулись к потолку, чтобы глотнуть воздуха, оставшегося над быстро прибывающей водой.

В середине августа в результате резкого изгиба струйного течения стремительные бури прошли над штатом Теннесси, всего за 24 часа выпало невероятное количество осадков — 43 см, а катастрофическое наводнение унесло жизни не менее 20 человек. Ни одна из этих погодных систем не имела статуса урагана или тропической депрессии.

Однако довольно скоро в Мексиканский залив вихрем внедрился ураган «Ида», девятый по счету поименованный тропический шторм в напряженном североатлантическом сезоне этого года. 28 августа он был причислен к категории 1 с устойчивым ветром 137 км/ч. Менее чем через 24 часа «Ида» взорвалась до категории 4, разгоняясь почти с двойной скоростью, которую Национальный центр по слежению за ураганами США обычно отмечает при определении быстро нарастающего шторма. Обрушившись на побережье Луизианы с порывами ветра 241 км/ч, ураган оставил более 1 млн человек без электричества и более 600 тыс. человек без воды на несколько дней. Ярость «Иды» распространилась на северо-восток, где в Нью-Йорке за час

выпали рекордные 8 см осадков. В этой стихии погибли не менее 80 человек и был опустошен ряд населенных пунктов на востоке США.

Все эти разрушительные события объединяет водяной пар — газообразная форма H_2O , играющая колоссальную роль в разжигании разрушительных штормов и ускорении изменения климата. По мере того как океаны и атмосфера нагреваются, в воздух испаряется дополнительное количество воды. Более теплый воздух, в свою очередь, может удерживать больше пара, прежде чем он конденсируется в капли облаков, которые могут превратиться в проливные дожди.

Только с середины 1990-х гг. во всем мире содержание пара в атмосфере увеличилось примерно на 4%. Может показаться, что это не так уж много, но для климатической системы это имеет большое значение. Увлажненная атмосфера обеспечивает повышенной энергией и влагой бури всех видов, включая летние грозы, северо-восточные внетропические циклоны на восточном побережье США, ураганы и даже метели. Дополнительный пар помогает тропическим

штормам, таким как «Ида», усиливаться быстрее, оставляя очень мало драгоценного времени для официального оповещения населения об опасном положении.

Ученые давно предвидели, что изменение климата повлечет увеличение пара, переносимого по воздуху, который подпитывает так называемые паровые бури, выдающие большее количество дождя и снега, чем это делали бури всего несколько десятилетий назад. Измерения подтверждают, что удары интенсивных осадков становятся все жестче и все чаще происходят в США и во всем мире. С конца 1980-х гг. около одной трети материального ущерба Соединенных Штатов на сумму \$73 млрд, нанесенного наводнениями, объяснялось увеличением обильных осадков.

Например, когда в августе 2017 г. ураган «Харви» слил на некоторые кварталы Хьюстона уму непостижимые 152 см дождевых осадков за пять дней, на которые он задержался в этом районе, даже выдавшие виды метеорологи потеряли дар речи. Временами дождевые полосы поражали осадками, достигающими 15 см/ч. В одном анализе содержался вывод, что сокрушительные осадки стали в три раза вероятнее и на 15% интенсивнее по причине изменения климата, в частности из-за насыщенного влагой воздуха, который подпитывал «Харви» из аномально теплого Мексиканского залива.

В отличие от большинства газов, составляющих атмосферу, водяной пар неравномерно распределен по земному шару. Влажные зоны тропического пояса, расположенные по обе стороны экватора, богаты паром. Длинные изгибы тропической влаги могут простираться к более прохладным и сухим полюсам дорогами штормов и бурь, омывая территории в средних и высоких широтах в периоды интенсивных и продолжительных дождей. Эти реки тепла и влаги помогают выровнять распределение энергии в атмосфере Земли и создают мощные паровые бури на своем пути.

Энергетический насос

Когда мы потеем под жарким солнцем или ставим кипятить чайник на кухонную плиту, мы превращаем жидкую воду в водяной пар. Необходимый ингредиент — тепло. Аналогичным образом тепло в климатической системе заставляет воду из влажной почвы, растений, океанов, озер и ручьев испаряться в воздух. Пар несет с собой энергию в виде скрытой теплоты. Если позже

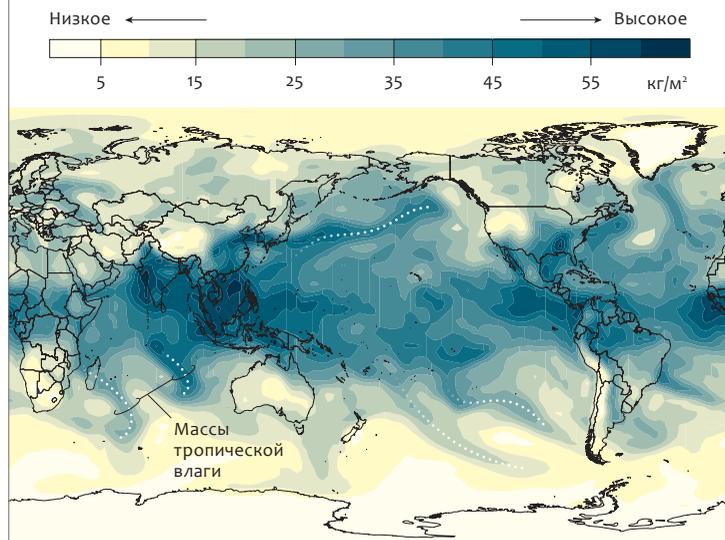
пар снова переходит в жидкое состояние, образуя облако в небе или росу на лужайке, то тепло выделяется в атмосферу. Так как образовавшийся пузырек теплого воздуха легче воздуха вокруг него, он поднимается

Влажнеющий мир

Водяной пар неравномерно распределяется в атмосфере земного шара. В экваториальных широтах он обычно в изобилии, а к полюсам его становится меньше, но штормы и ветры могут также переносить в этих направлениях массы тропической влаги. Общее количество переносимого по воздуху пара увеличивается по мере того, как мир теплеет и над океанами, и тем более над сушей.

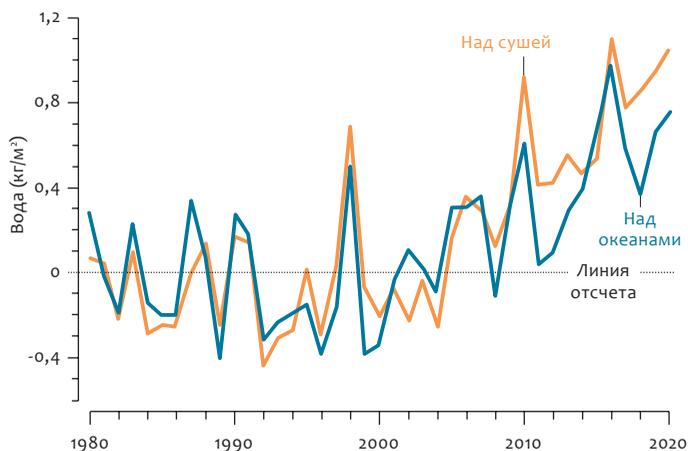
Содержание воды в атмосфере на 31 августа 2021 г.

Цвет обозначает килограммы воды в вертикальном столбе атмосферы из расчета на квадратный метр поверхности Земли при условии полной конденсации и выпадения осадков. Ураган «Ида» в форме темного круглого пятна виден на юго-востоке США.



Рост объема водяного пара, переносимого по воздуху

В последние годы количество пара увеличилось над океанами и сушей во всем мире по сравнению со среднегодовым или базовым уровнем 1981–2010 гг.





29 августа 2021 г. ураган «Ида» принес 43 см дождевых осадков в Лаплас, штат Луизиана. Местный житель идет по затопленному району.

вверх. На больших высотах температура обычно ниже, поэтому пузырек может продолжать подниматься и расти, все время конденсируя дополнительный водяной пар в капли облаков и высвобождая еще больше скрытого тепла. Если вы пролетите на самолете сквозь большое облако, то почувствуете турбулентность, создаваемую столбами поднимающегося воздуха.

Скрытое тепло служит основным топливом, питающим ураганы, грозы и обычные периоды плохой погоды. Энергия, содержащаяся в скрытом тепле, значительна; количество тепловой энергии типичного урагана, выделяемое за один день, более чем в 200 раз превышает всю электроэнергию, производимую в мире за день. Ураган

может высвобождать взрывную силу десятимегадонной ядерной бомбы примерно каждые 20 минут.

Больше всего тревоги вызывает то обстоятельство, что последующее увеличение объема водяного пара в атмосфере может сыграть немалую роль в быстром усилении тропических штормов. Метеорологи говорят, что шторм быстро усиливается, когда либо максимальная скорость ветра увеличивается по крайней мере на 30 узлов (56,3 км/ч) за 24 часа, либо атмосферное давление в центре шторма падает как минимум на 42 миллибара за 24 часа. В последние 40 лет вероятность того, что шторм может быстро набрать силу, выросла в пять раз. Только в 2020 г. именно таким образом

раскрутились десять атлантических ураганов: «Ханна», «Лаура», «Салли», «Тедди», «Гамма», «Дельта», «Эпсилон», «Зета», «Эта» и «Йота». В 2021 г. пять из шести атлантических ураганов, образовавшихся к середине сентября, подверглись быстрому усилению, в том числе «Ида» и «Николаас». Недавние исследования подтверждают очевидную истину: быстрое усиление становится все более вероятным по мере того, как океаны нагреваются, испаряя больше воды и поставляя больше скрытого тепла в атмосферу. Океаны поглощают около 90% тепла, удерживаемого парниковыми газами, приносимыми антропогенными выбросами. Это тепло повышает температуру воды как на поверхности, так и на некоторой глубине; теплая вода действует как мощный аккумулятор, из которого штормы могут черпать энергию.

Надо сказать, что повышение содержания водяного пара — не единственное влияние изменения климата на тропические штормы. Уменьшение ветрового сдвига, то есть разницы в скорости или направлении между ветрами, ближе к земной поверхности и высоко в атмосфере также способствует штормовому развитию, потому что столбы поднимающегося воздуха с меньшей вероятностью будут разорваны на части. К другим изучаемым переменным показателям относятся изменение количества пыли и загрязняющих частиц в воздухе, а также различия в потеплении атмосферы в нижних слоях и на больших высотах, что влияет на скорость подъема пузырьков теплого воздуха.

На протяжении более двух десятилетий преобладающая площадь тропической зоны северной части Атлантического океана была аномально теплой, создавая избыточное испарение, которое способствует усилению ураганов. Нетропические штормы жадно поглощают избыточный пар и энергию атмосферы, что приводит к более интенсивным осадкам и, возможно, даже к более мощным снегопадам.

Смертельная жара

Угроза бедствий вследствие увеличения содержания водяного пара выходит далеко за рамки нагнетания штормов. Летние ночи становятся невыносимо душными, причем все чаще и во все большем количестве регионов. С середины 1990-х гг. по всему земному шару летние ночные минимальные температуры повышаются быстрее, чем дневные максимумы. Это связано с тем, что пар входит в состав

Усиливающиеся дожди

Исключительно обильные дожди и снегопады происходят все чаще, так как подогретые океаны и воздух увеличивают содержание пара в атмосфере. Один из ряда вон выходящий шторм приносит больше осадков, чем 90% обычных штормов в году. В последние десятилетия стихийные бедствия участились во многих городских и сельских районах и неуклонно становятся нормой.

Процент площади США*, где дожди или снегопады в один день принесли гораздо больше осадков, чем в среднем за год

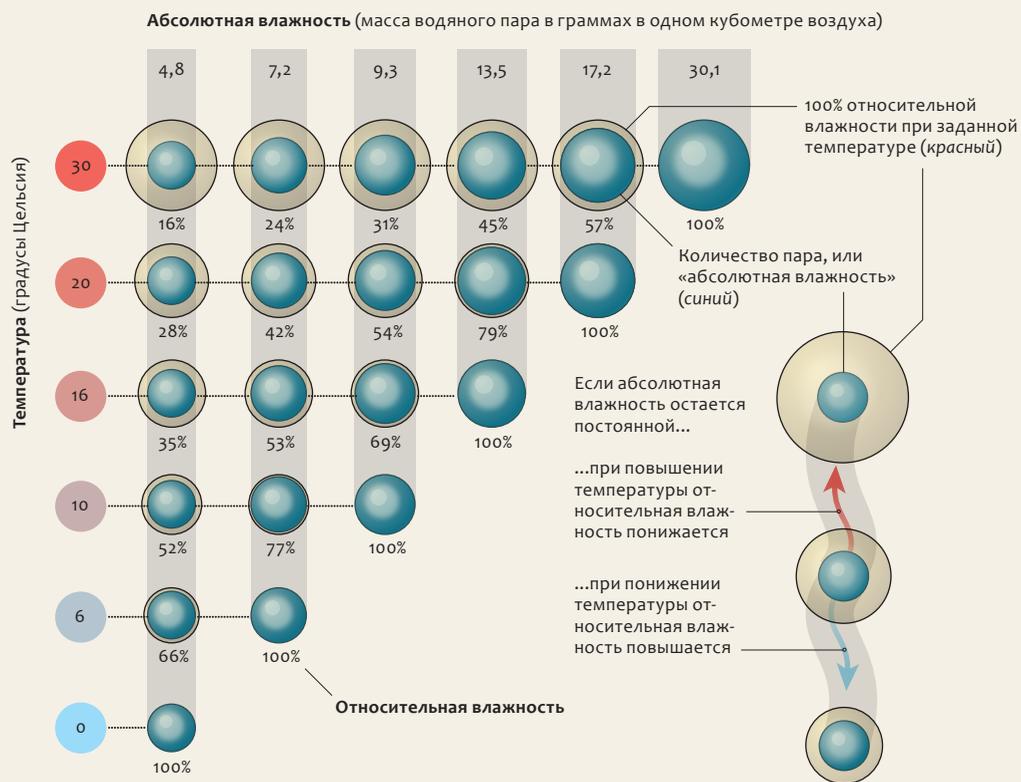


парниковых газов и повышение его содержания означает большее нагревание: тепло, вместо того чтобы, как обычно, уходить в космос ночью, задерживается, препятствуя охлаждению поверхности Земли. И в отличие от углекислого газа, который распространяется по всему миру независимо от того, где произошли его выбросы, пар, как правило, остается локализованным.

Жаркие ночи становятся губительными в условиях избытка испарений. Повышенная влажность в ночное время задерживает пототделение, работу естественной системы охлаждения тела, что вынуждает вас перегреваться и мешает спать. Этот дискомфорт измеряется тепловым индексом, который объединяет влияние температуры и влажности и отображает настоящий стресс, который испытывает тело. Индекс выше примерно 38° С считается опасным; длительное воздействие может быть фатальным, особенно для пожилых людей и детей младшего возраста. Жара поражает также домашних животных и скот, а животные в дикой природе приспосабливаются, перемещаясь в более высокие широты или на высокие места, если у них есть возможность. Без периода ночного охлаждения тепло может накапливаться в почве,

Что такое влажность? Это относительная величина

Кажется ли воздух в данный день липким или сухим, зависит от относительной влажности. В воздухе при 0° С водяной пар может достигать максимальной концентрации около 0,6%. При температуре 30° С воздух может удерживать гораздо больше пара — примерно до 4,2%. Когда воздух определенной температуры содержит максимальное количество пара, которое он может удерживать, его относительная влажность (RH) составляет 100%.



убивая некоторые растения и насекомых и позволяя процветать другим, любящим тепло видам. Согласно Декларации об изменении климата и охране здоровья на 2021 г. (*A Declaration on Climate Change and Health 2021*), опубликованной в августе группой из 32 организаций здравоохранения, ночная жара также повышает риск заражения болезнями, переносимыми насекомыми, которые угрожают людям, животным и сельскохозяйственным культурам.

Опасность, которую представляет ночная жара, возрастает не только в жарких тропических странах, но и в тех, что расположены дальше к северу и югу от экватора. Города на побережье Мексиканского залива США уже многократно превышали порог опасности для жизни и здоровья. С 1970 г. потепление в Хьюстоне выросло более чем на 2° С из-за близости города к Мексиканскому заливу и его беспрестанно расширяющегося освоения, что усиливает эффект городского острова тепла. В июле 2020 г. тепловой индекс в Хьюстоне превысил 43° С, что далеко не малая величина.

Если парниковые газы продолжают накапливаться в атмосфере, подобные условия скоро станут обычными во многих городах

на низких и средних широтах, таких как Атланта и Вашингтон, округ Колумбия. До 2000 г. в столице США в среднем каждые пять лет бывала одна ночь с минимальной температурой выше 27° С. С 2000 г. эти ночи случались примерно два раза в год, то есть наблюдается десятикратное увеличение всего за 20 лет.

Надо отметить, что есть некоторые страны в тропиках, которые пострадают и уже страдают больше всего. В мае 2015 г. жесткая жара, которую можно было бы назвать «паровой волной», поразила Индию и Пакистан. В течение нескольких дней показатели дневной жары превышали 46° С, а высокая влажность препятствовала ночному охлаждению; более 3,5 тыс. человек не выдержали этих удушающих условий. Добавьте еще полградуса глобального потепления — и число людей, атакованных экстремальной жарой, удвоится, достигнув приблизительно 500 млн по всему миру.

Усилитель глобального потепления

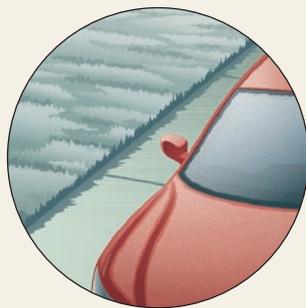
Если сильных бурь и душных ночей недостаточно для серьезного беспокойства, то надо отметить, что водяной пар усугубляет глобальное потепление. Хотя больше



Облака: мы не видим водяного пара, но если его добавить в воздух и довести относительную влажность до 100%, образуется облако. Облака — это просто избыточный пар, конденсирующийся в маленькие капельки жидкой воды, которые мы можем видеть. Облако также образуется при охлаждении воздуха со 100% относительной влажности. Облака возникают во многих случаях — например, когда холодный воздух при относительной влажности менее 100% поступает с суши и дует над океаном, где испарение может повысить относительную влажность.



Туман: туман — это облако, которое находится на поверхности земли или воды. Когда теплый воздух движется над более прохладной областью, например когда южный ветер дует над холодными прибрежными водами штата Мэн, пар конденсируется, образуя туман. Когда теплый воздух поднимается выше, где прохладнее (скажем, когда ветер поднимается вдоль склона горы), могут образовываться туман или облака. А после теплого дня, когда ночной воздух излучает инфракрасную энергию в космос, его температура понижается и над полями и долинами может образовываться утренний туман.



Роса и иней: излучение тепла ясной тихой ночью может привести к образованию росы или инея. Поверхности теряют тепло в инфракрасном излучении быстрее, чем воздух, поэтому они быстрее охлаждаются. Водяной пар в воздухе, который контактирует с более прохладной поверхностью, может конденсироваться в капли на траве или замерзать в виде кристаллов на лужайках и лобовых стеклах автомобилей, если температура достаточно низкая.



Дыхание: на выдохе вы добавляете в воздух водяной пар. Если вы выдыхаете достаточно пара, чтобы поднять относительную влажность выше 100%, он временно образует небольшое облачко, которое вскоре рассеивается, так как крошечные капельки испаряются. Поскольку более холодный воздух способен удерживать меньше пара, мы можем видеть свое дыхание в холодные дни.

всего внимания уделяется углекислому газу, водяной пар на сегодня — без всяких сомнений самый влиятельный парниковый газ в атмосфере. Он поглощает гораздо больше инфракрасной энергии, излучаемой с поверхности Земли, чем другие парниковые газы, тем самым удерживая больше тепла. Рассмотрим ситуацию в более широком контексте. Само по себе удвоение концентрации углекислого газа в атмосфере нагреет земной шар примерно на 1° C. Но петля обратной связи — замкнутый круг, приводящий к двойному повышению температуры. Более того, хотя такому виду обратной связи, как исчезновение морского льда, уделяется много внимания, петля обратной связи водяного пара, когда нагревание вызывает испарение, улавливающее тепло, создавая еще большее потепление, — одна из самых мощных в климатической системе.

Возможно, это покажется парадоксальным, но ответное действие водяного пара слабее всего там, где его больше всего. Во влажных областях инфракрасная энергия, поглощаемая водяным паром, уже практически исчерпана, поэтому добавление небольшого количества влаги

производит минимальный эффект. Однако в сухих местах, таких как полярные регионы и пустыни, количество поглощенной инфракрасной энергии намного ниже максимальной возможности, поэтому любое прибавление пара может задержать тепло и увеличить температуру в нижних слоях атмосферы.

Увеличение числа и продолжительности волн арктической жары — явный признак более частых и длительных внедрений теплого и влажного воздуха из более низких широт, тех масс тропической влаги, которые протянулись к северу от тропиков. Например, в январе 2021 г. температура на обширных пространствах над Северным Ледовитым океаном поднялась на 20° C выше нормы. Усиление волн жары в Арктике, особенно зимой, замедляет ежегодное замерзание морского льда и способствует таянию ледяного покрова.

Эффект улавливания тепла дополнительным паром, вероятно, может быть компенсирован увеличением образования облаков. Облака отражают солнечные лучи (приводя к охлаждающему действию), но также и удерживают тепло. Над океанами обычно преобладает охлаждающий

процесс, но в высоких широтах побеждает влияние потепления. Недавние исследования показывают, что в среднем по всему земному шару преобладает нагрев, что создает еще один порочный круг с участием водяного пара.

Усовершенствование прогнозирования

По мере того как человечество продолжает производить больше теплоулавливающих газов, океаны и атмосфера будут продолжать нагреваться и будет испаряться больше воды, что приведет к более частым паровым бурям и изнуряющим паровым волнам. Ураганы высших категорий будут происходить чаще, как и штормы, быстро набирающие силу. Синоптикам будет трудно предсказывать эти быстрые раскрутки. Когда штормы разгоняются недалеко от берега, как это произошло с ураганом «Ида», у официальных лиц остается мало драгоценного времени, чтобы объявить тревогу, а у людей — всего несколько часов на эвакуацию.

Основное препятствие для прогнозирования этих невероятно разрушительных штормов — нехватка измерений температуры ниже поверхности океана. Толстый слой теплой воды содержит намного больше «штормового топлива», чем тонкий, однако спутники измеряют температуру только поверхностного слоя океана. Ученые пытаются найти методы определения энергии, содержащейся в верхних сотнях метров океанической воды, потому что здесь действительно сосредоточена основная масса, подпитывающая штормы. Они разрабатывают автономные океанские планирующие аппараты, которые передвигаются в верхних слоях океана на разных глубинах, собирая образцы для определения температуры и солености. Они также работают с данными, полученными со спутников, с помощью которых могут обнаруживать изменения высоты морской поверхности: глубокий слой теплой воды расширяется по отношению к соседним, создавая на поверхности океана горб, видимый из космоса.

Спутниковые данные чрезвычайно ценны, но нам также нужны инструменты, для измерений температуры, пара и ветра, действующие в океане. Мы продолжим полагаться на самолеты — «охотники на ураганы», чтобы летать внутри штормов и сбрасывать приборы внутри и вокруг них. Исследователи вводят данные, добытые в этих полетах, в компьютерные модели, которые могут дать подробную

информацию о состоянии атмосферы и силе шторма. Лучшее покрытие данными, быстрые компьютеры и более детальное понимание процессов формирования штормов помогают улучшить прогнозы.

Пар возникает из несметного числа источников и неблагоприятно влияет на многие атмосферные процессы. Ученые не до конца понимают некоторые взаимодействия, и компьютерные модели все еще ищут пути полноценного прогноза влияния водяного пара на изменяющуюся климатическую систему. Даже, казалось бы, несложный расчет, насколько быстро вода испаряется из океана или озера, зависит от очень многих факторов, таких как разница между температурой воды и воздуха над ее поверхностью, содержание пара, уже находящегося в воздухе, и скорость ветра. На суше расчет еще сложнее и включает дополнительные переменные, как, например, насыщенность влагой почвы и состав растительности. Предсказать, что случится с паром, когда он попадет в атмосферу, — еще одна проблема. Превратится ли он в облака, подпитает бурю и выпадет в виде дождя или снега? Будет ли он конденсироваться на поверхностях в виде росы или инея? Продвинется ли он на сотни или, быть может, тысячи километров от тропиков до высоких широт? Ошибки в любом из этих расчетов повлияют на прогнозы будущих изменений температуры и погодных условий.

Повышение содержания водяного пара заслуживает большего внимания. К сожалению, мы не можем непосредственно контролировать его количество в атмосфере. Однако мы можем сократить его косвенным путем, сдерживая потепление, вызванное главным образом осуществляемыми человечеством выбросами углекислого газа и метана, а также вырубкой деревьев, которые помогают поглощать диоксид углерода из воздуха. Уменьшая скорость нагрева, мы можем снизить выброс пара. Если нам это удастся, мы сможем замедлить дальнейшее усиление паровых бурь, а следовательно, и предотвратить тот хаос, который они могут посеять. ■

Перевод: В.И. Сидорова

ИЗ НАШИХ АРХИВОВ

■ Мирволд К., Сакс Д. Смещение пояса тропических дождей // ВМН, № 5, 2011.

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

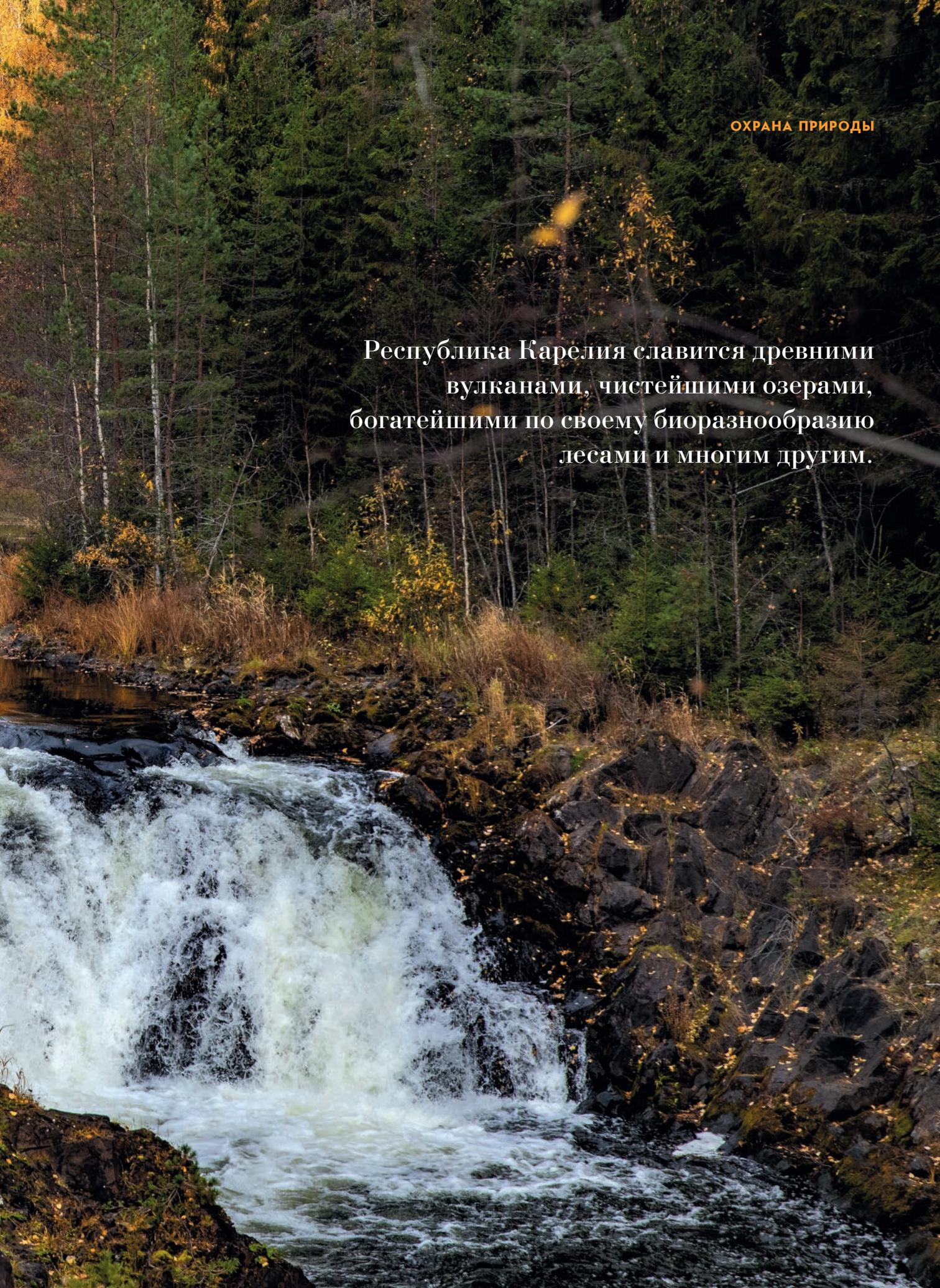


КАРЕЛИЯ: ЗАПОВЕДНИК НАУКИ

Водопад Кивач

ОХРАНА ПРИРОДЫ

Республика Карелия славится древними
вулканами, чистейшими озерами,
богачейшими по своему биоразнообразию
лесами и многим другим.



О

визитных карточках региона — карельской березе, петроглифах, заповеднике «Кивач» — и проекте «Зеленый пояс Европы» мы говорим с членом-корреспондентом РАН **Ольгой Николаевной Бахмет**, генеральным директором Карельского научного центра РАН (КарНЦ РАН).



— **Ольга Николаевна, расскажите, пожалуйста, о проекте «Зеленый пояс Фенноскандии». Насколько я знаю, благодаря усилиям Карельского научного центра РАН удалось включить в этот проект значительную территорию Северо-Запада России.**

— Проект появился более 30 лет назад в связи с тем, что изменилась политическая ситуация в мире, а также ситуация по охраняемым природным территориям. Дело в том, что до конца 1980-х гг., как известно, существовал железный занавес между Восточной и Западной Европой, а когда он исчез, выяснилось, что в тех местах, где была пограничная зона и практически не ступала нога человека, остались уголки нетронутой природы, территория, почти не нарушенная хозяйственной деятельностью. В близком к неизменному виде сохранились массивы коренных лесов и болотные участки с большим разнообразием растительной и животной жизни, луговые сообщества. К счастью, европейское сообщество очень вовремя озадачилось вопросом, как сохранить все это природное богатство. Так появилась идея создать ассоциацию «Зеленый пояс Европы», чтобы сберечь богатейшее наследие, учреждая новые особо охраняемые природные территории.

Зеленый пояс Европы располагается от Баренцева моря до Черного, пересекая всю Европу. Его разделяют на четыре части: это Балканы, центральная часть Европы,

Балтия и Фенноскандия. Фенноскандия, самая протяженная часть Зеленого пояса Европы, занимает территорию от Баренцева моря до Балтийского. Со стороны России Зеленый пояс Фенноскандии проходит по территории Мурманской области, Карелии и Ленинградской области. А с зарубежной стороны — по территории Финляндии и Норвегии.

С самых первых этапов наш Карельский научный центр РАН принимал участие в проекте на территории Фенноскандии. Мы подготовили научные обоснования практически всех созданных в последние десятилетия особо охраняемых природных территорий (ООПТ) региона и собрали обширную базу данных о природных комплексах Зеленого пояса Фенноскандии. Для этого мы провели большое количество комплексных исследований, были организованы многочисленные экспедиции, в состав которых входили геологи, болотоведы, лесоведы, почвоведы, ботаники, зоологи и другие специалисты. Сегодня, как и прежде, главными задачами проекта остаются изучение и сохранение природного, экологического и культурного достояния этих территорий. В 2020 г. Карельский научный центр РАН был повторно выбран Ассоциацией Зеленого пояса Европы координатором северной части — Зеленого пояса Фенноскандии.

— **А что конкретно дает статус ООПТ — особо охраняемой природной территории?**

— Во-первых, это дает возможность сохранить полученное нами природное наследие, сохранить виды растений и животных, которые существовали на этой территории. Во-вторых, конечно же, рассказывать населению и туристам, прокладывая экологические маршруты, проводя экскурсии, о природных богатствах нашего региона. На этих территориях бывает очень много туристов, в том числе школьников, студентов.

— То есть там возможен свободный туризм? Не нарушает ли это состояние экосистем столь уникальной территории?

— Существуют разные варианты туризма. Если мы говорим о территории Фенноскандии, то здесь в основном распространен так называемый контролируемый туризм — это означает, что группа посещает определенные места организованно. Национальный парк «Паанаярви», например, оборудован специальными гостевыми стоянками, где группа людей может остановиться с ночлегом, погулять по территории национального парка, разумеется, соблюдая установленные требования.

— Карелия знаменита своими лесами. В начале 2000-х гг. в нашей стране были фактически упразднены лесничества. В каком виде лесная служба функционирует сегодня?

— Не совсем верно: лесничества не были упразднены, были упразднены ранее существовавшие хозяйствующие структуры — лесхозы. В результате сейчас существуют центральные лесничества, в составе которых имеются участковые лесничества. Лесное хозяйство, конечно же, сохраняется, хотя это направление претерпело серьезные изменения — и, к сожалению, во многом не в лучшую сторону. Штат работников лесного хозяйства значительно уменьшился. Но в настоящее время существует система лесного хозяйства, которая продолжает осуществлять контроль и надзор над использованием лесного фонда.

Существовавшая раньше система лесного хозяйства была достаточно эффективной в вопросе охраны и защиты лесов. В штате каждого лесничества состояло несколько лесников. Территория делилась на обходы, которые были за ними закреплены. Таким образом, в особо опасные, например, с точки зрения возникновения пожаров периоды лесники должны были постоянно находиться в лесу. Периодически именно это позволяло быстро обнаружить, локализовать и зачастую потушить лесной пожар на ранних стадиях. Это ускорило также

обнаружение незаконных рубок и вспышек массового размножения насекомых-вредителей. Но с принятием в 2006 г. Лесного кодекса эта система была реорганизована, а институт лесников в прежнем виде, к сожалению, упразднен.

— Вернемся к Карельскому научному центру РАН. Какой статус он имеет сегодня?

— У Карельского научного центра большая история. В прошлом году мы отметили 75-летие с момента его основания, хотя систематические научные исследования были организованы ранее, в 1930 г., с появлением Карельского комплексного научно-исследовательского института. Но все же датой создания КарНЦ принято считать 31 января 1946 г., когда президиум Академии наук СССР утвердил создание академической базы в Карелии, ее структуру и руководящий состав. В состав президиума КарНЦ входили такие выдающиеся ученые, как А.Е. Ферсман — один из основоположников геохимии, Н.Я. Марр — крупнейший организатор науки и языковед, Д.В. Бубрих — один из создателей отечественного финно-угроведения и многие другие исследователи.

Сегодня Карельский научный центр РАН имеет статус федерального исследовательского центра и признан одной из ведущих научных организаций страны по оценке результативности научной деятельности. Экспертную оценку результативности всех научных организаций страны проводило Министерство науки и высшего образования РФ, и мы были отнесены к высшей, первой категории, что, конечно, очень приятно для нас.



Карельский научный центр РАН курирует территории Зеленого пояса Фенноскандии вдоль границы не только Карелии, но и Мурманской и Ленинградской областей, то есть российско-норвежскую и российско-финляндскую части

Начиная с момента создания КарНЦ РАН все наши исследования имели комплексный характер: изучение геологических особенностей региона, водных бассейнов, ареалов распространения животных и растений, вопросы функционирования лесных и болотных экосистем, а также языкознание, этнография и многие другие направления были представлены работами наших ученых. Такой подход присущ работе Карельского научного центра и по сей день.

Сегодня в состав КарНЦ РАН входят семь институтов: Институт биологии, Институт геологии, Институт леса, Институт водных проблем Севера, Институт прикладных математических исследований, Институт экономики, Институт языка, литературы и истории и Отдел комплексных научных исследований.

— В какой области исследований вы наблюдаете дефицит кадров?

— Парадоксально, но, живя в уникальном с геологической точки зрения регионе, мы сталкиваемся с серьезной нехваткой кадров по направлению наук о Земле. Да, у нас работают Институт геологии и Институт водных проблем Севера, многие сотрудники занимаются и преподавательской деятельностью, но мы испытываем потребность в новых специалистах. В Республике Карелия работают горнодобывающие компании, и специалисты в области разработки минерально-сырьевой базы пользуются большим спросом, соответственно, и оплата труда предлагается выпускникам вузов более высокая в сравнении с академической

наукой. Мы же, в свою очередь, очень ждем молодых специалистов у себя и готовы предложить им интересные научные задачи, экспедиции в разные регионы страны и все возможности для развития карьеры в академической науке.

— В Республике Карелия создана сильная школа по естественным наукам. А что насчет гуманитарных?

— Наши ученые — археологи, этнографы, лингвисты, историки и другие специалисты — занимаются целым спектром исследований культурного наследия. Они изучают языки, этнические процессы и традиционную культуру народов республики, местный фольклор и историю литературы Карелии, Европейского Севера России и Финляндии, историю Карелии и сопредельных территорий. Особое место в этих исследованиях занимают карельские петроглифы, обнаруженные на мысах и островах восточного берега Онежского озера и на островах реки Выг, неподалеку от ее впадения в Белое море.

— Насколько я знаю, аналогов карельским петроглифам нет больше нигде в мире.

— Вообще, наскальных рисунков в мире встречается довольно много, но именно такого качества и с такими сюжетными линиями — действительно нет. Петроглифы, выбитые на прочнейших архейских кристаллических породах — гранитоидах, сохранились у нас почти в первозданном виде. В 2021 г. петроглифы Карелии были включены в список объектов Всемирного наследия ЮНЕСКО. Ученые КарНЦ РАН проделали огромную работу, чтобы придать им столь высокий статус.

Экспедиции по изучению петроглифов в Карелии длились на протяжении десятилетий и продолжают по сей день. Есть еще много нераскрытых тайн, связанных с петроглифами.

Что касается других гуманитарных исследований, хочу отметить прекрасную школу языковедов, которая сформировалась у нас в Институте языка, литературы и истории. Специалисты занимаются изучением карельского и вепсского языков (вепсы — коренной малочисленный финно-угорский народ, проживающий в Карелии), вопросами топонимики и не только. В целом в научной повестке КарНЦ РАН большое внимание уделяется изучению и сохранению финно-угорского культурного наследия.



Копия петроглифа — антропоморфной фигуры с мыса Бесов Нос на Онежском озере (слева); копия фрагмента скалы Пери Нос VI с онежскими петроглифами (справа). Из коллекции оттисков петроглифов петрозаводской художницы С.В. Георгиевской.



В КарНЦ РАН можно увидеть коллекцию оттисков петроглифов, или точные контактные копии, в натуральную величину. Наскальные рисунки на рисовой бумаге черного цвета по уникальной технологии воссоздает художница С.В. Георгиевская.

— В Карелии, помимо петроглифов, есть и другие интересные загадки, например почвы заповедника «Кивач», которые еще только предстоит классифицировать.

— Действительно, в заповеднике «Кивач» встречаются уникальные почвы, формирующиеся на глинистых отложениях в особенных природных условиях. Неоднократно во время конференций и конгрессов, посвященных исследованиям почв, мы проводили на этом объекте экскурсии для наших коллег-почвоведов из России и из-за рубежа. У почвенных разрезов каждый раз разгорались оживленные дискуссии насчет особенности формирования этих почв и их классификационного положения. В итоге как российские, так и зарубежные эксперты пришли к мнению, что эти почвы имеют свою особенную специфику и должны занять отдельное место в различных почвенных классификациях. В настоящее время мы продолжаем изучать, с чем связаны особенности развития этих почв.

— Еще одна изюминка региона — карельская береза. Правда ли, что происхождение знаменитой узорчатой структуры ее древесины до сих пор неизвестно?

— Формирование этой узорчатой древесины — предмет дискуссий многих ученых. Несколько лет назад у нас проходил съезд общества физиологов растений. Первый же доклад по карельской березе, который звучал на этом съезде, оказался дискуссионным. Две группы наших исследователей представили противоположные точки зрения на происхождение карельской березы (*Betula pendula* var. *carelica*). Одна группа ученых утверждала, что особый узор древесной культуры связан с проблемами обмена сахаров, другая — что это генетически наследуемый признак. Сейчас, наверное, чаша весов все-таки склоняется в сторону того, что формирование уникальной структуры карельской березы связано с генетической мутацией. Исследователи продолжают изучать этот вопрос.



Годовалые и двухлетние саженцы карельской березы, подготовленные к посадке крупнейшей коллекции клонов в опытно-производственных условиях (вверху); посадки карельской березы в заповеднике «Кивач» (внизу)

Подтверждением генетической гипотезы становится определенная наследуемость признаков. Если мы возьмем взрослое дерево карельской березы и попытаемся размножить его семенами, то сможем получить такую же карельскую березу не всегда, а лишь в ограниченном проценте случаев: от 2% до 50% случаев. Для того чтобы получить растение с характерными признаками узорчатой древесины карельской березы, необходимо воспользоваться той технологией, которую используют наши ученые, — клонального микроразмножения.

— **То есть клонирование?**

— По сути, да. Мы берем кусочек ткани растения и на основе этого небольшого фрагмента материала выращиваем целое дерево. Для того чтобы процесс завершился успехом, нужно соблюсти целый ряд условий, но в результате такой технологии мы получаем практически стопроцентный

результат. Эта практическая часть наших исследований пользуется большим спросом в городе и в республике.

В природе карельская береза, к сожалению, стремительно исчезает. Мы пытаемся ее восстановить. В 1970–1980-е гг. в Карелии существовало несколько плантаций карельской березы, ее выращивали в сельскохозяйственных целях, чтобы получить узорчатую древесину. К сожалению, в 1990-е гг. эти плантации перестали существовать, а в природе остались лишь небольшие их фрагменты. В других странах наблюдается схожая картина: в Скандинавии, например, природных популяций карельской березы тоже осталось очень мало, но ученые активно занимаются их восстановлением. Другая ситуация сложилась в Республике Беларусь, где еще встречаются довольно большие по площади природные популяции карельской березы. Наши ученые активно сотрудничают с белорусскими коллегами, в том числе в обсуждении вопросов происхождения и механизмов формирования узорчатой древесины.

— **Карелия также славится своими древними вулканами, редчайшими шунгитовыми сланцами, форелеводческими хозяйствами. А каков ваш личный топ любимых достопримечательностей региона?**

— Я родилась и выросла в Карелии, затем на несколько лет уехала учиться в Санкт-Петербург и снова вернулась сюда. Мне повезло побывать в самых разных уголках республики, в том числе в составе научных экспедиций, и увидеть многие вещи, которые недоступны простому туристу. Тем не менее я постоянно открываю для себя что-то новое в Карелии и не перестаю удивляться ее красоте.

Хорошо известны карельские петроглифы, музей-заповедник «Кижы», горный парк «Рускеала» с его неповторимым мраморным каньоном. Мы также знаем такие уникальные объекты, как гора Воттоваара, где расположены знаменитые сейды — очень крупные валуны, стоящие на валунах поменьше, которые выглядят как подпорки. Когда у нас состоялась первая экспедиция к Воттовааре, ученые с удивлением смотрели на сейды и спрашивали себя: могут ли эти объекты быть рукотворными? Это и правда смотрится как специально поставленные на подставки огромные валуны. Или это наследие древнего ледника, что оставил свои следы на этом месте? Чаша весов склонилась все-таки к леднику,

и сегодня сейды принято считать результатом природных явлений. Но выглядят эти объекты поистине примечательно.

Еще одно из моих любимых мест — уже упомянутый горный парк «Рускеала». Мне нравится и территория национального парка «Паанаярви», где находится самая высокая точка Карелии — гора Нуорунен (577 м над уровнем моря). В этой горной местности встречается уникальная тундровая растительность, нехарактерная для нашего региона. С возвышенности открывается вид на потрясающие ландшафты, которые перемежаются участками леса и красивыми водно-болотными угодьями.

— Вы посвятили Карелии всю свою жизнь. С вашими знаниями и компетенциями не возникало желания уехать за границу, в ту же Финляндию, например?

— В разные годы моей научной деятельности мне действительно поступали предложения уехать в другие страны и в другие регионы нашей страны. Зачастую там предлагались более привлекательные условия для жизни, но, и это характерно для многих ученых, для меня в первую очередь важен сам объект изучения, а в Карелии собран такой большой спектр уникальных научных объектов, что мне просто не захотелось уезжать. Я горжусь тем, что работаю в Карелии. И как ученый постоянно нахожу для себя что-то новое в родном регионе.

— Ольга Николаевна, напоследок расскажите, пожалуйста, о планах работы КарНЦ РАН на предстоящий год.

— В 2022 г. мы продолжим уделять особое внимание вопросам изучения Арктики — одному из наших приоритетных направлений работы. Наш научный центр — партнер НОЦ «Российская Арктика: новые материалы, технологии и методы исследования». Карельские ученые разрабатывают и реализуют проекты по исследованию наземных и водных экосистем, развитию горнопромышленной отрасли и сельского хозяйства, социально-экономическим вопросам арктических регионов. Кроме того, в конце 2021 г. в Якутске мы заключили соглашение о сотрудничестве с федеральными исследовательскими центрами, работающими на территории Российской Арктики. Обсуждается продолжение сотрудничества и с нашими зарубежными партнерами — представителями северных стран.

В этом году у нас запланирован целый ряд новых экспедиций. Вот уже несколько лет мы, используя наш научный флот, активно изучаем Прибеломорье. Эта территория в связи с очень сложной транспортной доступностью мало изучена, в том числе исследователями по тем направлениям, которые есть в КарНЦ РАН: биологами, ботаниками, почвоведом, геологами. Мы хотим получить комплексную характеристику природных комплексов Прибеломорья.

Таким образом, впереди — новые проекты, исследования, экспедиции, словом, большая работа. Задач очень много, и, надеемся, мы с ними справимся в полном объеме. ■

Беседовала Янина Хужина

Национальный парк «Паанаярви»





АСТРОНОМИЯ

Новые открытия о том,
как сталкиваются
галактики, дают
представление о будущем
Млечного Пути

Ли Армус и Аарон Эванс

КОСМИЧЕСКИЕ СТОЛКНОВЕНИЯ

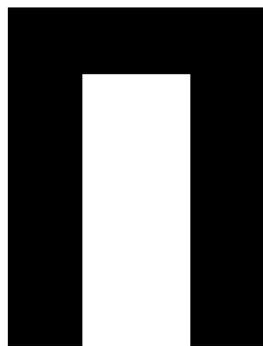
Прогнозируемое будущее:
на иллюстрации показано, как может
выглядеть система сливающихся
галактик «Млечный Путь —
Андромеда» с Плутона, который вместе
с Солнечной системой, возможно,
будет отброшен к окраинам Галактики

ОБ АВТОРАХ

Ли Армус (Lee Armus) — старший научный сотрудник Центра обработки и анализа инфракрасных изображений и сотрудник Калифорнийского технологического университета.



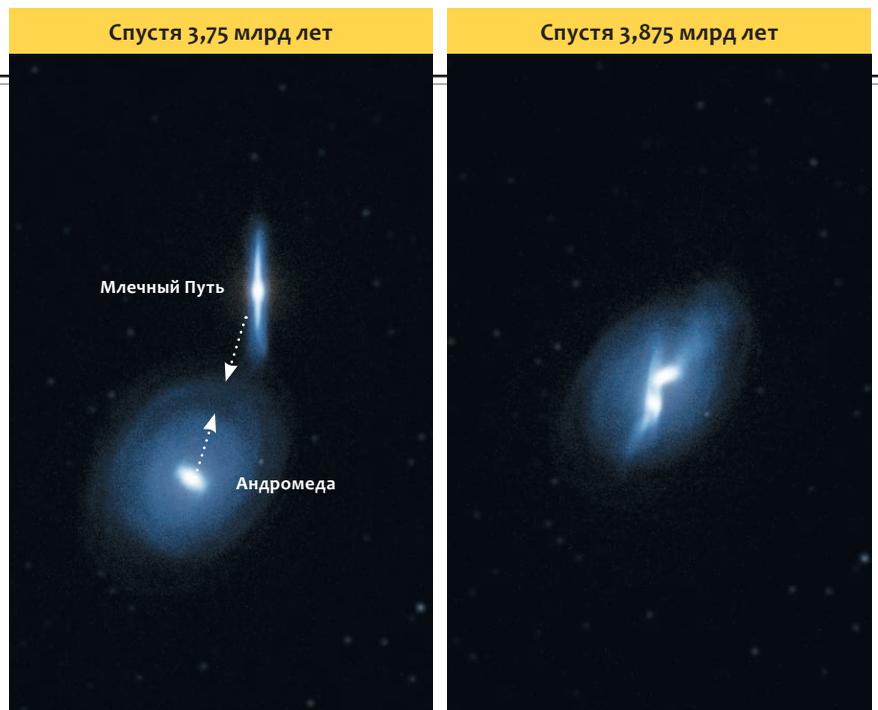
Аарон Эванс (Aaron S. Evans) — профессор астрономии Виргинского университета и астроном Национальной радиоастрономической обсерватории и Североамериканского научного центра «Атакамская большая антенная решетка миллиметрового/субмиллиметрового диапазона».



риблизительно через 5 млрд лет, когда Солнце расширится и превратится в красный гигант (звезду размером примерно с орбиту Земли), наша Галактика столкнется со своим ближайшим крупным соседом, Андромедой. Поскольку гравитация притягивает эту парочку в объятия друг друга для более тесного контакта, звезды сорвутся со своих орбит, образуя красочные шлейфы, а газ и пыль будут стягиваться к сближающимся ядрам, разрушая величественную картину грандиозных спиралей, которые существовали почти три четверти возраста Вселенной.

Последовательность этапов слияния

Однажды гравитация сблизит наш Млечный Путь с соседней спиральной галактикой Андромеда. Это столкновение, которое будет происходить в течение нескольких миллиардов лет, не нанесет ущерба большинству звезд и планет внутри галактик, поскольку звезды разделены слишком большим расстоянием, чтобы вступить в тесный контакт друг с другом. Однако они будут разбросаны и окажутся в новых местоположениях сливающихся друг с другом галактик. Эта последовательность изображений, полученных с помощью компьютерного моделирования, показывает прогнозируемый ход событий. Моделирование на основе наблюдения движения Андромеды, проведенного с помощью космического телескопа «Хаббл», показывает, что конечным результатом будет не спираль, а продолговатая «эллиптическая» галактика.



В конце концов центры галактик сольются и газ, устремившийся к центру, вызовет вспышку звездообразования, формируя звезды более чем в 100 раз чаще, чем это происходит сегодня в каждой из галактик. Он также будет подпитывать спокойные сейчас сверхмассивные черные дыры, которые прячутся в центрах обеих галактик. Черные дыры будут расти, одновременно испуская бурю высокоэнергетических частиц и излучения, которые с легкостью затмят свет всех звезд в обеих галактиках вместе взятых. Спустя еще примерно 100 млн лет две сверхмассивные черные дыры будут по спирали лететь навстречу друг другу и сольются в одну черную дыру в катаклизме, который породит сильнейшие гравитационные волны, чье эхо отзовется по всему пространству.

Этот похожий на фейерверк процесс, происходящий вокруг нас сегодня и еще чаще случавшийся в ранней Вселенной, на самом деле нельзя назвать столкновением в строгом смысле этого слова. Галактики — это почти пустое пространство. Примерно 300 млрд звезд в такой галактике, как Млечный Путь, в среднем отстоят друг от друга на пять световых лет. Плотность воздуха на Земле на уровне моря примерно в 100 млн млрд (в 10^{17}) раз больше, чем средняя плотность газа в межзвездном пространстве. Другими словами, хотя слияние коренным образом изменяет жизнь галактики и служит источником колоссальной энергии, большинство звезд во время этого события просто проходят, не задевая друг друга.

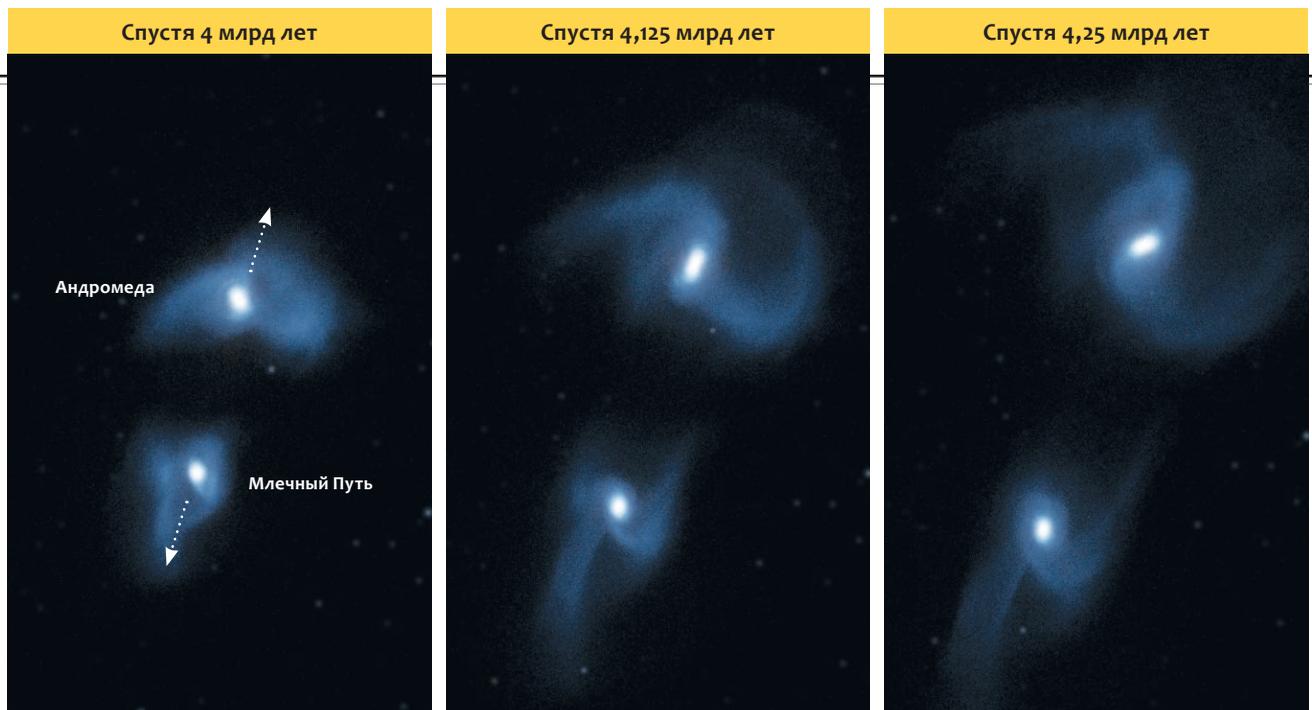
Тем не менее столкновения галактик интересны и важны. Изучая слияния других галактик,

мы можем увидеть картину собственного будущего. Исследование слияний галактик также помогает нам понять историю Вселенной, потому что, когда космос был моложе и плотнее, столкновения галактик случались гораздо чаще. Моделирование показывает, что за минувшие 10 млрд лет Млечный Путь прошел через пять крупных слияний на пути к тому, чтобы стать грандиозной спиралью, какой сегодня мы его наблюдаем.

Сейчас наступило захватывающее время для такой работы. До недавнего времени для тщательного измерения и моделирования сталкивающихся галактик астрономам не хватало приборов. Большая часть происходящего скрыта за густыми облаками пыли, сквозь которые трудно наблюдать что-либо в видимом диапазоне длин волн даже с помощью самых больших телескопов. С новыми приборами на уже работающих телескопах и тех, которые появятся в недалеком будущем, мы сможем получить ответы на некоторые важные вопросы о слиянии галактик, например о том, как в хаосе столкновения галактик рождаются звезды и как излучение, высвобождаемое в результате роста и — на конечном этапе — слияния центральных черных дыр, влияет на новую формирующуюся вокруг них галактику.

Когда сталкиваются галактики

Прошло почти 100 лет с тех пор, как Эдвин Хаббл впервые обнаружил, что многие светящиеся капли в небе, называвшиеся в то время «туманностями», — не космические объекты, расположенные в пределах Млечного Пути, а независимые «островные

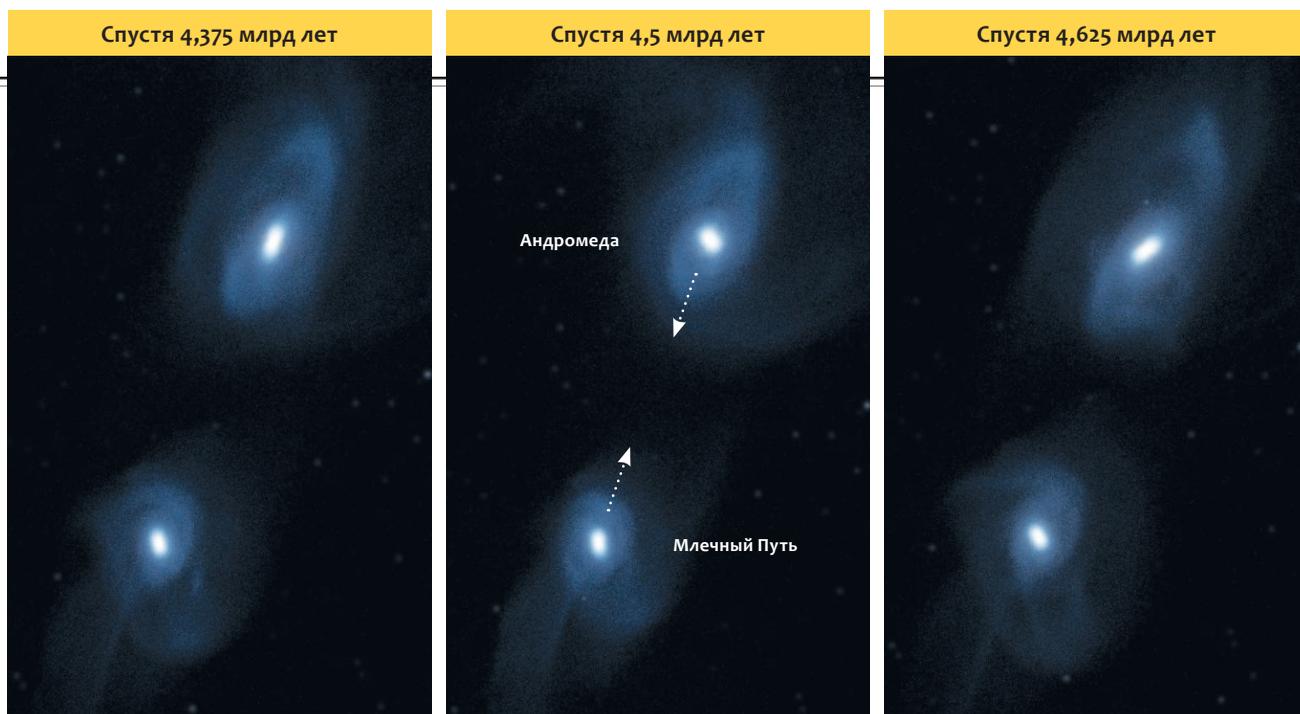


вселенные». Эти «внегалактические туманности» он разделил на три категории: сферической или эллиптической формы (эллиптические галактики), сплюснутые, со вздутием — «балджем» — в центре, а иногда и с перемычкой диска (спиральные галактики, такие как наша), и причудливо-хаотической формы (неправильные галактики).

Небольшая часть неправильных галактик на самом деле оказалась сильно искаженной парой или небольшой группой галактик. Спустя годы после открытия Хаббла такие пионеры, как Борис Александрович Воронцов-Вельяминов из Московского государственного университета, Фриц Цвикки (Fritz Zwicky) из Калифорнийского технологического института и Хэлтон Арп (Halton Arp) из обсерваторий Маунт-Уилсон и Маунт-Паломар, в деталях изучили этот класс «взаимосвязанных галактик». Фотографии с длительной экспозицией, сделанные с фотопластинок и опубликованные в «Атласе пекулярных галактик» Арпа 1966 г., ясно показывают неправильные формы, которые мы теперь распознаем как отличительные признаки сливающихся галактик. В 1970-х братья Юри и Алар Тоомре (Juri Toomre, Alar Toomre) использовали компьютеры для моделирования взаимодействий простых дисковых галактик на связанных параболических орбитах, воссоздав формы нескольких необычных галактик, в частности длинные широкие хвосты из звезд, выброшенных на большие расстояния во время слияния. Эти и другие ранние модели показали, что необычные, порой весьма зрелищные особенности, отмеченные Арпом и другими, могут быть объяснены

исключительно гравитационным взаимодействием. Используя современные компьютеры и продвинутые модели, научные группы под руководством Джошуа Барнса (Joshua Barnes) из Гавайского университета, Ларса Хернквиста (Lars Hernquist) из Гарвардского университета и Филипа Хопкинса (Philip Fajardo Hopkins) из Калтеха получили разнообразие новых картин взаимодействия галактик, подчеркивающее важную роль слияний в жизненном цикле галактик.

В 1983 г. была запущена *IRAS (Infrared Space Observatory, Инфракрасная астрономическая обсерватория)*. Она позволила составить первую полную карту неба в дальнем инфракрасном диапазоне, что придало мощный импульс изучению скрытой Вселенной и, в частности, слияний галактик. На длинах волн, которые регистрировал спутник, он мог фиксировать тепловое излучение теплой и холодной пыли. Межзвездная пыль в галактиках почти всегда свидетельствует о нахождении там звездного инкубатора. В обычных галактиках звезды рождаются в облаках, состоящих (в основном) из молекулярного водорода и пыли. Когда звезды проходят все этапы эволюции и умирают, они выбрасывают образующие межзвездную пыль тяжелые элементы, такие как углерод и кислород, которые были произведены в их недрах в ходе ядерного синтеза, тем самым еще больше обогащая окружающие облака пылью. (Пыль, уже имеющаяся в облаках, образовывалась в предыдущих эпизодах звездообразования.) В сталкивающихся галактиках этот процесс происходит в ускоренном темпе — слияние концентрирует газ и пыль



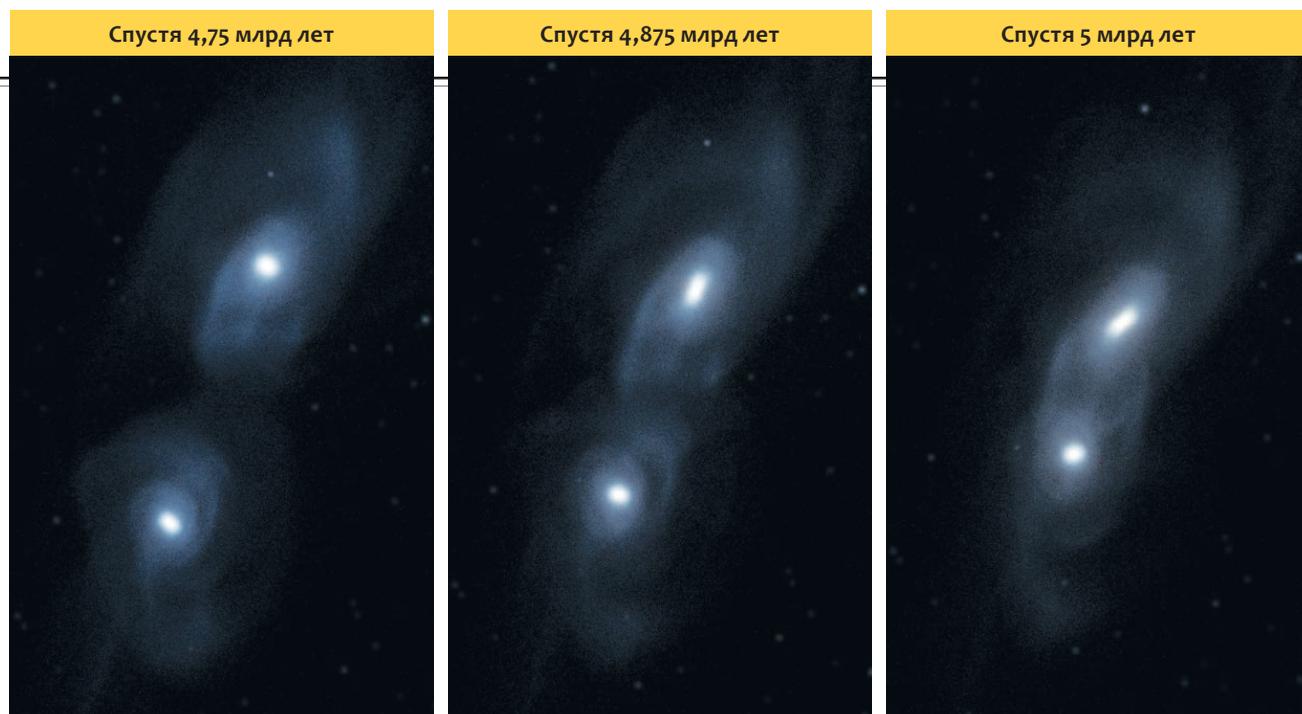
в компактные области, возбуждая волны формирования звезд, называемые вспышками звездообразования, которые, в свою очередь, производят новые тяжелые элементы и новую пыль. Поэтому, хотя молодые и массивные звезды большую часть своей энергии выделяют в виде излучения в коротковолновом ультрафиолетовом диапазоне, лишь ничтожной его части удастся пробиться к Земле. Окружающие частицы пыли поглощают ультрафиолетовое излучение и переизлучают его энергию в инфракрасном диапазоне. Телескопы, оснащенные чувствительными инфракрасными датчиками, могут измерять это излучение, позволяя нам заглядывать сквозь пелену пыли и изучать самые ранние стадии рождения звезд и рост сверхмассивных черных дыр.

Инфракрасная астрономическая обсерватория обнаружила в Млечном Пути и в тысячах других галактик множество таких звездных инкубаторов, что значительно углубило наши представления о слиянии галактик в двух важных аспектах. Во-первых, *IRAS* позволила точно измерить энергию, генерируемую этими объектами, и показала, что сливающиеся галактики — одни из самых ярких объектов во Вселенной. Во-вторых, *IRAS* обнаружила сталкивающиеся галактики на огромных расстояниях от нас исключительно на основе их инфракрасного излучения, что дало нам первую точную оценку количества слияний галактик за время существования Вселенной. Некоторые из этих столкновений произошли так далеко от Земли, что излучение, которое мы регистрируем, было испущено, когда Вселенная была в пять

раз моложе, чем теперь. В некоторых сливающихся галактиках более 90% суммарного выброса энергии приходится на излучение в дальнем ИК-диапазоне — их истинная природа полностью скрыта от оптических телескопов.

Но *IRAS* показала нам, что большой перекокс спектра излучения в сторону инфракрасной области — прекрасный способ найти сталкивающиеся и сливающиеся галактики. В частности, она позволила выявить класс галактик, названных яркими инфракрасными галактиками (ЯИГ). Это объекты, светимость которых в дальнем инфракрасном диапазоне в 100 млрд раз превышает светимость Солнца (примерно втрое больше суммарной мощности излучения всех звезд Млечного Пути), и часто они — не что иное, как сливающиеся галактики. Еще более редкое и захватывающее зрелище — ультраяркие инфракрасные галактики (УЯИГ). Эти галактики, светимость которых в дальнем инфракрасном диапазоне более чем в 1 трлн раз превышает яркость Солнца, почти всегда — неистовые столкновения галактик.

Шаг к объяснению того, что происходит в ядрах слившихся галактик, ученые сделали в конце 1980-х гг., когда установили связь между слияниями и другим классом небесных тел, называемых квазарами, которые питаются энергией активных сверхмассивных черных дыр. Это самые энергичные объекты во Вселенной, их светимость более чем в 1 трлн раз превышает светимость Солнца. Дэвид Сандерс (David Sanders), который в то время был научным сотрудником Калифорнийского технологического института, работая с Томом Сойфером (Tom



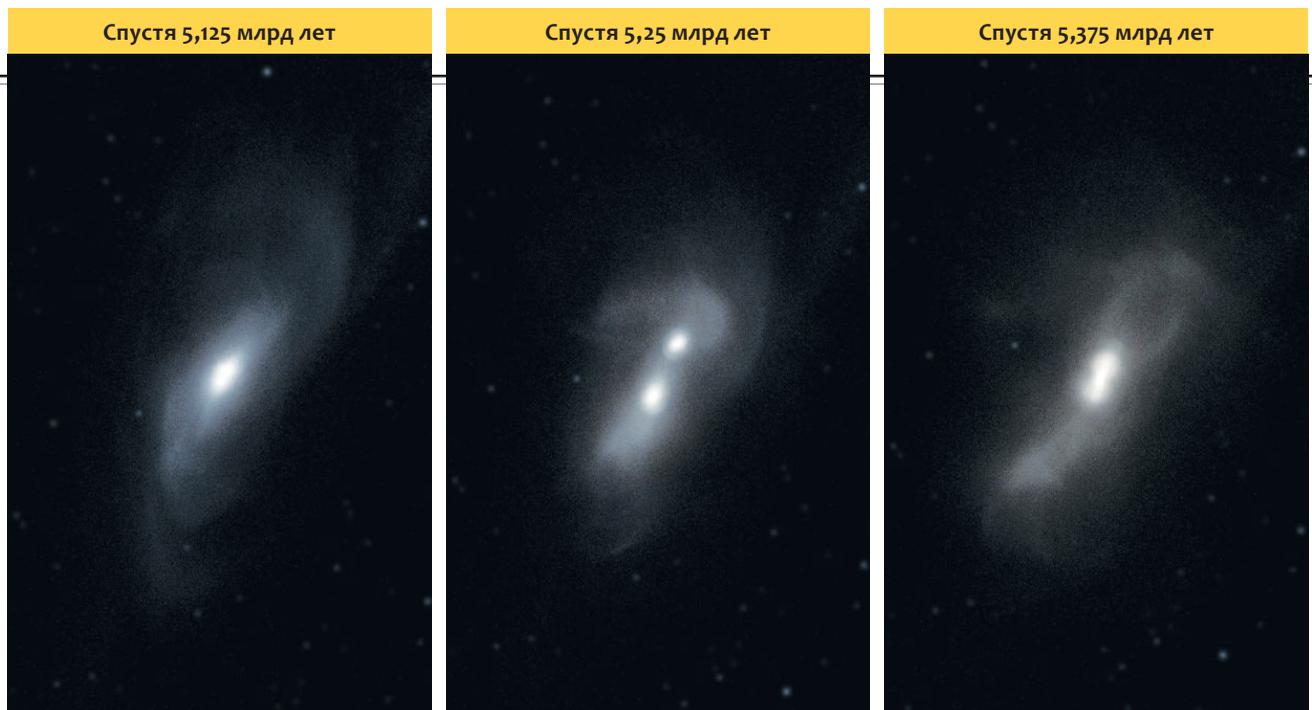
Soifer) и покойным Джерри Нойгебауэром (Gerdy Neugebauer), высказали предположение, что УЯИГ — это ранняя, окутанная пылью в прямом и переносном смысле фаза между слиянием галактик и квазарами. Эта эволюционная связь между УЯИГ и квазарами построена на предыдущих исследованиях Алана Стоктона (Alan Stockton) из Гавайского университета, Джона Маккенти (John MacKenty) из Института исследований космоса с помощью Космического телескопа в Балтиморе и Тимоти Хекмана (Timothy Heckman) из Университета Джона Хопкинса, которые показали, что галактики с активными черными дырами в их центрах часто выглядят деформированными, что соответствует их статусу сливающихся галактик.

Предполагаемая связь между яркими инфракрасными галактиками и квазарами, двумя типами небесных объектов, которые на первый взгляд не имеют ничего общего, позволила построить проверяемую модель, которая стимулировала исследования связи между этими очевидно несопоставимыми по своей природе классами [космических объектов]. Обеспечив основу для объединения ярких инфракрасных галактик, галактик с мощной вспышкой звездообразования, активных галактик и квазаров, она помогла возобновить интерес к тому, как слияние галактик влияет на их эволюцию в космическом масштабе времени. Поскольку более половины энергии излучения, испущенного звездами за всю историю Вселенной, превращается в пыль в излучение ИК-диапазона, роль сливающихся галактик, вероятно, имеет критическое значение.

Амбициозные цели

В 2004 г. мы оба и наши сотрудники стали инициаторами программы *GOALS* (*Great Observatories All-Sky LIRG Survey*, Составленный с помощью крупнейших [космических] обсерваторий и охватывающий все небо каталог УЯИГ), цель которой — сбор коллекции изображений и спектров сталкивающихся галактик с помощью трех крупнейших космических обсерваторий NASA: инфракрасного телескопа «Спитцер», оптического телескопа «Хаббл» и рентгеновского телескопа «Чандра». Эти приборы позволяют получить картину жизненного цикла сталкивающихся галактик в широком диапазоне длин волн. Каталог *GOALS* содержит все самые яркие инфракрасные галактики в местной окрестности Вселенной. Этот каталог включает более 200 объектов, расположенных в пределах 1,3 млрд световых лет, и позволяет проводить самые подробные на сегодня исследования ярких инфракрасных галактик.

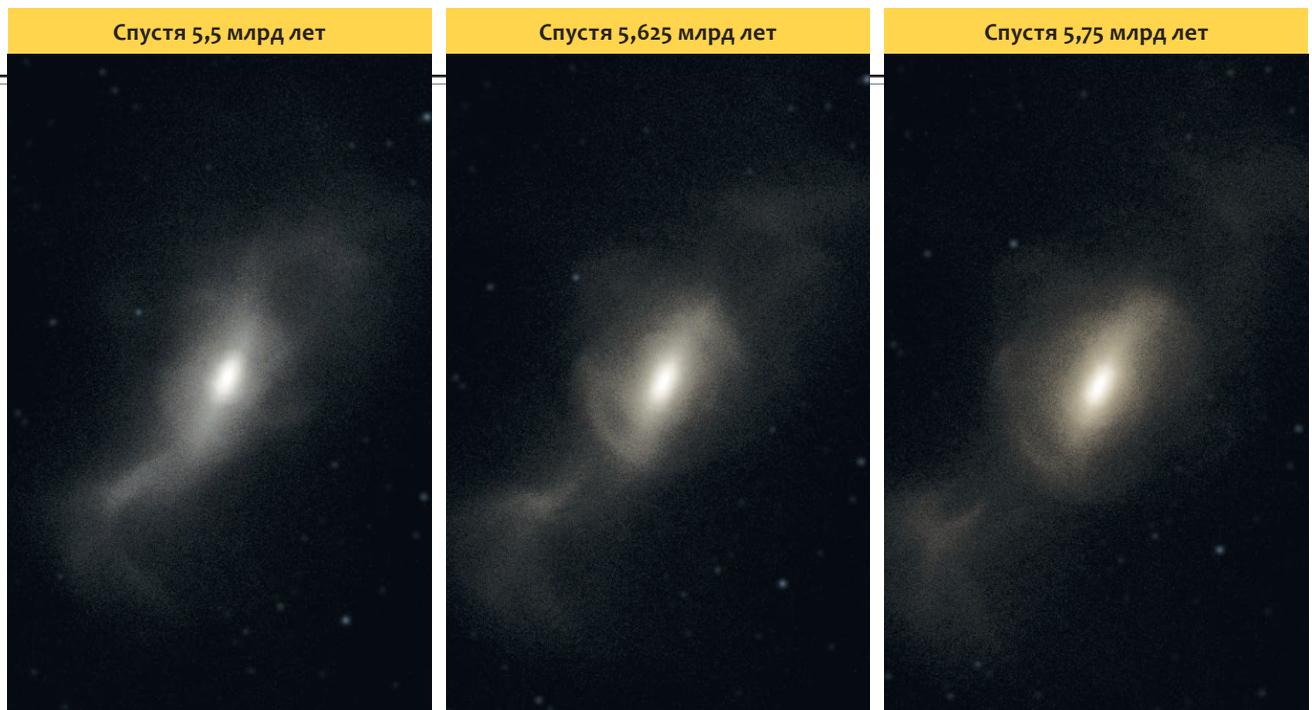
Наша научная группа использует и наземные телескопы, такие как Очень большая антенная решетка (VLA) в штате Нью-Мексико, 200-дюймовый телескоп «Хейл» на горе Паломар в Калифорнии, сдвоенные десятиметровые телескопы Обсерватории Кека на острове Гавайи и Атакамскую большую антенную решетку миллиметрового/субмиллиметрового диапазона (ALMA) в Чили. Наша группа получала данные также от работающего в дальнем ИК-диапазоне европейского космического телескопа «Гершель» и рентгеновского телескопа NASA NuSTAR; с помощью последнего изучают [источники] жесткого рентгеновского излучения очень высоких энергий.



Программа GOALS уже позволила значительно расширить наши знания о сталкивающихся галактиках. Например, давний вопрос заключался в том, что, молодые звезды или активные черные дыры, вносит больший вклад в излучение, исходящее от сливающихся галактик. Один из способов, с помощью которого мы можем разделить их вклад [в суммарное излучение] в течение различных периодов цикла слияния, — посмотреть на различие энергетических профилей (количество выделяемой энергии как функцию длины волны) этих двух типов объектов. Звезда — это простой тепловой источник излучения, большую часть своей энергии она излучает на длине волны [в районе] пика, которая зависит от ее температуры, и с уменьшением или увеличением длины волны выход ее энергии очень быстро падает. Напротив, аккреционный диск, питающий черную дыру, — вязкий и горячий; его температура возрастает от внешней стороны к горизонту событий черной дыры. Энергетический профиль аккреционного диска значительно шире, гораздо большая, чем у звезды, часть излучения у него приходится на высокоэнергетическую область спектра, а значит, он может нагревать и ионизировать (отрывать электроны у атомов) широкий диапазон элементов в окружающем газе. Обнаружение в спектре галактики сильного излучения высокоионизированных элементов — неопровержимое свидетельство того, что в ее центре находится аккрецирующая сверхмассивная черная дыра.

В ходе программы GOALS было обнаружено, что для всей популяции ярких инфракрасных

галактик вспышки звездообразования оказываются более важными источниками энергии, чем черные дыры. Примерно одна пятая часть всех ярких инфракрасных галактик из каталога GOALS, по всей видимости, содержит активные сверхмассивные черные дыры, но даже в этих галактиках вклад энергии звезд в суммарное излучение значителен. Но, возможно, мы пропустили активные черные дыры, которые настолько экранированы пылью, что даже с помощью инфракрасных приборов диагностики мы не в состоянии их обнаружить, — явление, которое в настоящее время подробно изучается двумя участниками программы GOALS, Джорджем Привоном (George Privon) из Национальной радиоастрономической обсерватории и Клаудио Риччи (Claudio Ricci) из Университета им. Диего Порталеса в Чили, а также группой специалистов Технического университета Чалмерса в Швеции под руководством Сюзанн Аалто (Susanne Aalto). Кроме того, активные черные дыры мы выявляем, как правило, на последних этапах слияния галактик, а это дает основания предположить, что рост значительной части сверхмассивной черной дыры, вероятно, отстает от процесса формирования звезд, что дает вспышкам звездообразования больше времени для того, чтобы внести свой вклад в суммарную энергию. И, судя по всему, наоборот, некоторые черные дыры также растут рано, как было предположено в результате наблюдений некоторых ЯИГ в инфракрасном диапазоне с помощью телескопов с самым высоким разрешением, проведенных участницей программы GOALS Энн Медлинг (Anne Medling)



из Толидского университета (штат Огайо, США). Точные временные рамки, в течение которых внутри галактик растут звезды и центральные сверхмассивные черные дыры, — предмет огромного количества текущих исследований, цель которых — получить ответ на одну из самых глубоких загадок последних двух десятилетий: почему соотношение масс центральной черной дыры и звезд в балджах нынешних спиральных и эллиптических галактик имеет почти постоянное значение примерно $1/1000$?

Новые выводы

В ходе других проектов последнего времени были получены новые сведения о ЯИГ и о том, как формируются звезды в сталкивающихся галактиках. Например, составив карту распределения газа, нагретого самыми массивными звездами внутри этих объектов, ученые, в том числе участники программы GOALS Кирстен Ларсон (Kirsten Larson) из Института исследований космоса с помощью Космического телескопа, Танио Диас-Сантос (Tanio Díaz-Santos) из Института техники и исследований — Эллада на Крите и Лорето Баркос-Муньос (Loreto Barcos-Muñoz) и Ицин Сун (Yiqing Song) из Виргинского университета обнаружили, что большая часть звезд в ЯИГ рождается в чрезвычайно компактных и ярких областях всплеск звездообразования. В этих областях скорость звездообразования и плотность газа в десять и более раз выше, чем мы наблюдаем в обычных галактиках. На ранней стадии слияния галактик наиболее активные области звездообразования располагаются, как правило, в районах, расположенных далеко от ядер ЯИГ. Однако по мере развития процесса слияния [галактик] основными областями звездообразования становятся компактные сгустки внутри и вокруг сливающихся ядер по мере того, как газ, первоначально находившийся в спиральных рукавах, устремляется к центру.

Интересно, что плотности центральных концентраций молекулярного газа в наиболее энергичных поздних стадиях слияния настолько высоки, что начинают напоминать гигантские молекулярные облака. Яркий пример такого явления — ближайшая ультраяркая инфракрасная галактика *Atr 220*, которая находится от нас на расстоянии 250 млн световых лет. Кадзуси Сакамото (Kazushi Sakamoto) из тайваньской *Academia Sinica* и Ник Сквилл (Nick Scoville) из Калтеха, используя антенную решетку *ALMA*, в мельчайших деталях построили карту распределения молекулярного газа в центре этого объекта, показав, что там содержится в несколько раз больше молекулярного газа, чем во всем Млечном Пути, причем сконцентрирован он в области размером не более 3 тыс. световых лет в поперечнике, что в 20 раз меньше диаметра газового диска Млечного Пути.

Хотя сливающиеся галактики — это мощные фабрики звезд, жизнь звездных скоплений, образовавшихся в результате такого столкновения, по всей видимости, удивительно коротка. Используя данные телескопа «Хаббл», Ангела Адамо (Angela Adamo) из Стокгольмского университета и участник программы GOALS Шон Линден (Sean Linden) из Массачусетского университета в Амхерсте наблюдали резкое падение числа скоплений как функцию возраста скопления, а это позволяет предположить, что значительное количество звездных скоплений в сливающихся галактиках разрушаются вскоре после своего рождения. Столкновение запускает усиленное звездообразование, но гравитационные приливные силы и звездные ветры сверхновых, как представляется, легко разрывают такие скопления на части.

Подобно тому как по мере эволюции звезд газ может быть выметен из скоплений, сливающиеся галактики тоже могут стать жертвой обратного воздействия со стороны сверхновых и центральных черных дыр, что окажет серьезное влияние на дальнейшую галактическую эволюцию. Огромные потоки ионизированного газа, вытекающие из сливающихся галактик, впервые были изучены в начале 1990-х гг. Хекманом и его сотрудниками, которые нашли там свидетельства мощных галактических ветров, получивших название галактических суперветров, в некоторых ЯИГ и УЯИГ с малым красным смещением. Последующие исследования, направленные на изучение этого горячего атомного газа, обнаружили не только то, что галактические ветры обычны для ЯИГ и УЯИГ, но и что самые быстрые из них могут вырываться из галактики и выбрасывать газ в межгалактическое пространство, как показали Дэвид Рупке (David Rupke) из Колледжа Родса и др. На фотографиях в самом мелком масштабе струи и пузырьки горячего газа, по которому распространяется ударная волна, отмечают области, где ядра «накачивают» энергию в галактику и формируют устремляющиеся наружу потоки, как это было запечатлено участницами программы GOALS Энн Медлинг и Вивиан У (Vivian U) из Калифорнийского университета в Ирвайне с помощью телескопов-близнецов Обсерватории Кека.

Галактические суперветры многофазны, то есть они могут содержать горячий и холодный атомарный и молекулярный газ. Ряд астрономов, в том числе Сакамото, Баркос-Муньос, Мигель Перейра-Сантаэлла (Miguel Pereira-Santaella) из испанского Центра астробиологии и Эдуардо Гонсалес Альфонсо (Eduardo González Alfonso) из Университета Алькала в Испании, изучали плотный молекулярный газ в суперветрах, часто обнаруживая большие количества холодного газа, вытекающего наружу из сливающихся галактик. Эти

вырывающиеся наружу потоки могут легко покрыть расстояние в 10 тыс. световых лет и иногда несут в себе больше газа, чем превращается в звезды в ядрах, тем самым лишая галактику топлива для идущего в ней звездообразования. Не менее важно и то, что эти ветры могут выносить тяжелые элементы (металлы) и пыль в межгалактическое пространство. Почти во всех случаях эти устремляющиеся наружу потоки зарождаются, по-видимому, около ядра сливающейся галактики и вызваны совокупным воздействием сверхновых, давления излучения и релятивистских струй (вырывающихся с огромной скоростью столбов газа) из черной дыры в ее центре. Эти потоки, вероятно, играют важную роль в жизненном цикле галактик, поскольку детальное моделирование Криса Хэйворда (Chris Hayward) из Института Флэтайрон позволяет предположить, что обратная связь со стороны звезд, вероятно, одновременно регулирует звездообразование и управляет потоками вещества в межгалактическое пространство.

Самые большие глаза в небе

Космический телескоп им. Джеймса Уэбба (или просто «Уэбб»), дата запуска которого уже многократно переносилась, имеет все шансы значительно расширить наши представления о слиянии галактик на протяжении космического времени. Запуск этого инфракрасного телескопа диаметром 6,5 м намечен на конец 2021 г. «Уэбб» — это приемник инфракрасных космических обсерваторий *IRAS* (работала в 1983 г.) и «Спитцер» (выведен из эксплуатации в 2020 г.), но он будет как минимум в 50 раз более чувствительным, с пространственным разрешением почти в десять раз большим, чем «Спитцер», и позволит получать четкие изображения галактик в ближнем и среднем диапазоне инфракрасной области спектра. Он будет нести также «многоточечные» (или «матричные») спектрометры, которые могут получать одновременно спектры в сотнях точек. Это позволит ему в мельчайших деталях фиксировать полную картину областей звездообразования и областей вокруг сверхмассивных черных дыр с активно идущей аккрецией в близлежащих к нам сливающихся галактиках.

Участники совместного проекта *GOALS* будут проводить наблюдения за четырьмя ближайшими яркими инфракрасными галактиками в рамках одной из 13 Директорских инициативных ознакомительных научных программ изучения космоса с помощью Космического телескопа им. Джеймса Уэбба. Другие ученые будут использовать эту обсерваторию для поиска ближайших ярких активных галактик, далеких квазаров и для фотографирования пустых участков космоса с огромными экспозициями в поисках самых первых галактик.

Предмет ознакомительных исследований с помощью телескопа «Уэбб» в рамках программы *GOALS* включает галактики с мощными вспышками звездообразования и активные центральные черные дыры. Все эти галактики застигнуты в период агонии слияния, и из всех них вырываются потоки галактического ветра. Эти галактики станут для нас ценными «лабораториями», помогающими понять, как эти процессы разворачивались в ранней Вселенной. Помимо ознакомительных программ, были отобраны несколько проектов для первого Цикла общих наблюдений с помощью Космического телескопа им. Джеймса Уэбба, в рамках которого будут изучать обратную связь со стороны молодых [звездных] скоплений и активных черных дыр, производить оценку доли областей звездообразования, скрытых от нас в оптическом диапазоне, и исследовать природу скрытых ядер в ярких инфракрасных галактиках.

Радиотелескоп *VLA* с 27 приемными тарелками планируется заменить Сверхбольшой антенной решеткой следующего поколения. Этот интерферометр с 263 тарелками, принимающий сигналы в радио- и миллиметровом диапазоне длин волн, позволит вести наблюдения областей звездообразования, активных черных дыр и света, сопровождающего взрывы звезд, с чувствительностью и разрешением в десять раз большими, чем *VLA*.

Таким образом, эти новые телескопы помогут выявить астрофизические процессы, происходящие при слиянии близлежащих галактик и галактик ранней Вселенной. Моделирование с высоким разрешением вкупе с этими наблюдениями, открывающими новые подробности, станет ключом к пониманию того, как процессы физической обратной связи помогают регулировать звездообразование и рост черных дыр в сливающихся галактиках. Будущие, уже запланированные и находящиеся пока в стадии изучения предложений обсерватории смогут обнаруживать гравитационно-волновые характеристики столкновений сверхмассивных черных дыр и пыльные ядра формирующихся галактик на протяжении большей части истории Вселенной. Так же как мы обнаруживаем новые экзотические объекты в самых дальних уголках Вселенной, мы продолжим использовать эти новые приборы, чтобы лучше понять, как галактики рождаются и проживают свою жизнь. ■

Перевод: А.П. Кузнецов

ИЗ НАШИХ АРХИВОВ

■ Colliding Galaxies. Rudolph Minkowski; September 1956.

СОБРАННЫЙ И ГОТОВЫЙ К ЗАПУСКУ

*Полностью собранный
Космический телескоп
им. Джеймса Уэбба
ожидает своего
запуска в декабре
в Редондо-Бич, штат
Калифорния, на объекте,
который находится
в ведении генерального
подрядчика — компании
Northrop Grumman.*



АСТРОНОМИЯ

Первый свет

Долгожданный преемник
Космического телескопа «Хаббл»,
запуск которого много раз
откладывался, наконец готов к старту

Клара Московиц

ОБ АВТОРАХ

Крис Ганн (Chris Gunn) — вашингтонский фотограф, специализирующийся на науке и технике, ведущий фотограф проекта NASA «Космический телескоп им. Джеймса Уэбба».



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



Ф

отographer NASA Крис Ганн документировал постройку Космического телескопа им. Джеймса Уэбба с самых первых дней. С 2009 г. он запечатлел все основные вехи

и стал свидетелем сборки и испытаний почти всех частей космического аппарата. Согласно планам, телескоп выведут в космос в декабре, а уже через несколько месяцев он раскроет свой 6,5-метровый глаз и начнет вглядываться в космос. В этот момент объект фоторепортажей Ганна сам превратится в фотографа. «Важнее всего для меня — увидеть изображения, которые принесет первый свет [достигший зеркала телескопа им. Уэбба]», — говорит Ганн.

Космический телескоп им. Джеймса Уэбба — совместный проект NASA, Европейского космического агентства и Канадского космического агентства — будет наблюдать самые старые галактики во Вселенной, получать изображения формирования новых планет и планетных систем вокруг других звезд и даже исследовать в новых деталях планеты нашей собственной Солнечной системы. Самый амбициозный и дорогой из когда-либо построенных (стоимость проекта — \$10 млрд), телескоп им. Уэбба оптимизирован для наблюдения в инфракрасном диапазоне излучения. Это лучший инструмент для изучения объектов издалекой и древней Вселенной. «Мы долго ждали подобную обсерваторию, — говорит Николь Колон (Nicole Colon), заместитель научного руководителя проекта по изучению экзопланет с помощью телескопа им. Уэбба. — Она позволит заглянуть в прошлое настолько, насколько это возможно, — увидеть зарождение самых первых галактик. А исключительно высокая чувствительность телескопа поможет нам заглянуть в атмосферы экзопланет глубже, чем когда-либо ранее».

Чтобы избежать отрицательного воздействия теплового излучения Солнца и Земли, Космический телескоп им. Джеймса Уэбба полетит к точке наблюдения, расположенной в 1,5 млн км от нашей планеты, где развернет солнцезащитный щит (размером с теннисный корт) в качестве дополнительного экрана. Этот филигранный маневр, а также развертывание главного и вторичного зеркал телескопа должны пройти идеально — о том, чтобы послать астронавтов для ремонта, как в случае «Хаббла», не может быть и речи. «Я абсолютно уверена, что наши инженеры действительно отлично поработали, протестировав все, что возможно протестировать, — говорит Хайди Хэммел (Heidi Hammel), ученый, занимающаяся междисциплинарными вопросами в программе «Космический телескоп им. Джеймса Уэбба». — В какой-то момент вы просто должны принять решение, что пора заканчивать все проверки. Мы готовы».

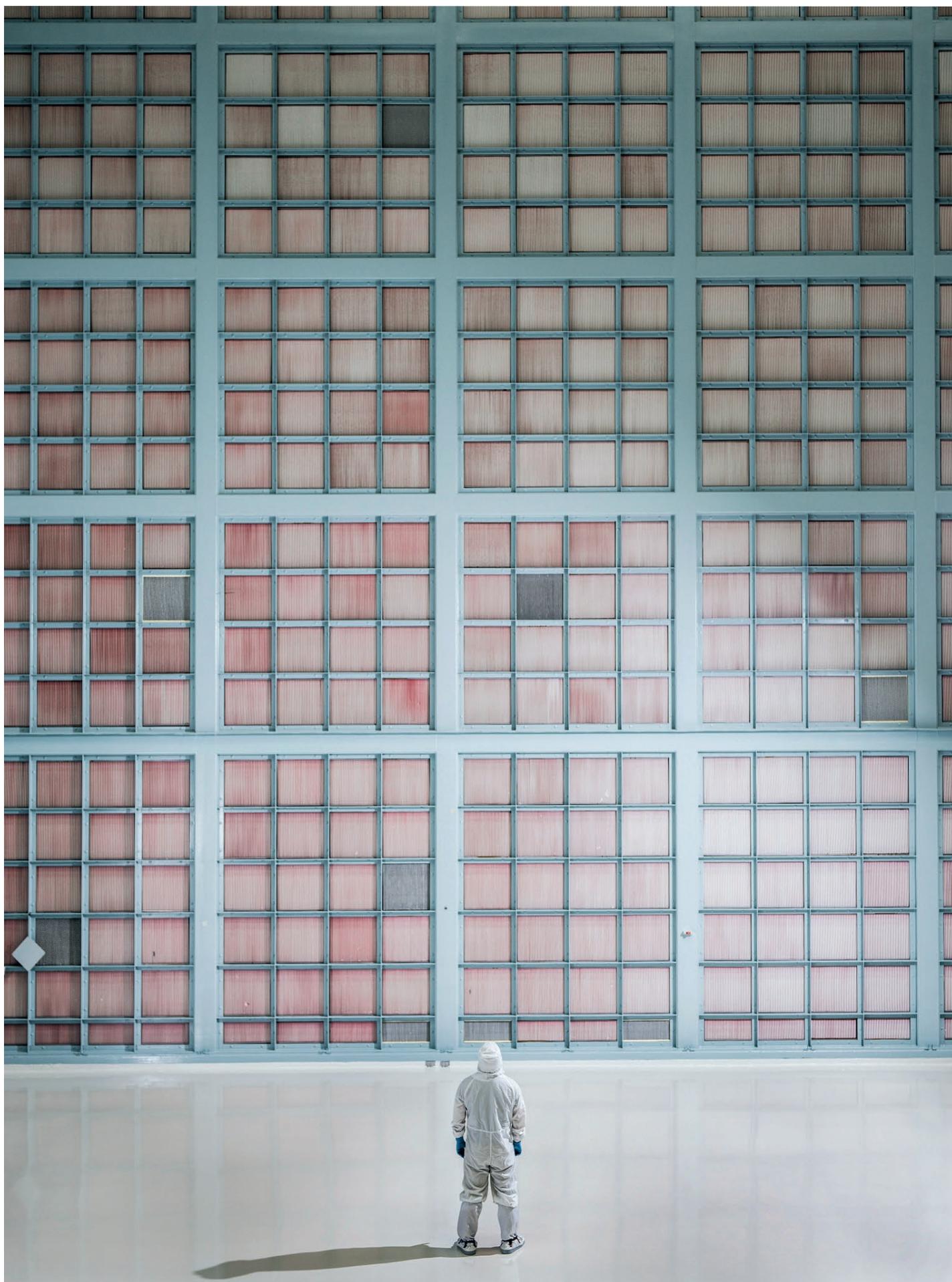


Путь телескопа им. Уэбба к запуску оказался тернистым. Первоначально предполагалось, что обсерватория будет стоить не более \$1 млрд и будет запущена где-то в 2007 г., но возникло множество проблем — управленческих, чисто технических, произошли перерасход бюджета и отставание от графика работ. Когда ракета «Ариан-5» запустит наконец космический телескоп из Французской Гвианы, тысячи ученых, инженеров и всех тех, кто работал над ним, будут надеяться, что все пойдет как по маслу. «Для меня это огромный кусок жизни, — говорит Ганн. — Это сродни воспитанию ребенка, но в то же время немного иное, потому что у него много и других родителей». ■

Перевод: А.П. Кузнецов

ПРИБЫТИЕ ЗЕРКАЛА

Техники осматривают один из 18 шестиугольных сегментов, которые образуют главное зеркало телескопа им. Уэбба. Изготовленные из бериллия фрагменты зеркала, каждый из которых покрыт 3,5 г золота, исключительно прочны, но при этом легкие — всего 20 кг каждый. Они устанавливаются на складывающуюся конструкцию, которая во время полета в ракете будет плотно упакована, а затем в космосе раскроется. «Этот [момент] был чрезвычайно запоминающимся, потому что большинство из людей на фотографии до того не видели зеркал, — вспоминает Ганн. — Зеркала приходили сначала по одной штуке, потом по два, по три. Каждая проверка продолжалась час-полтора».



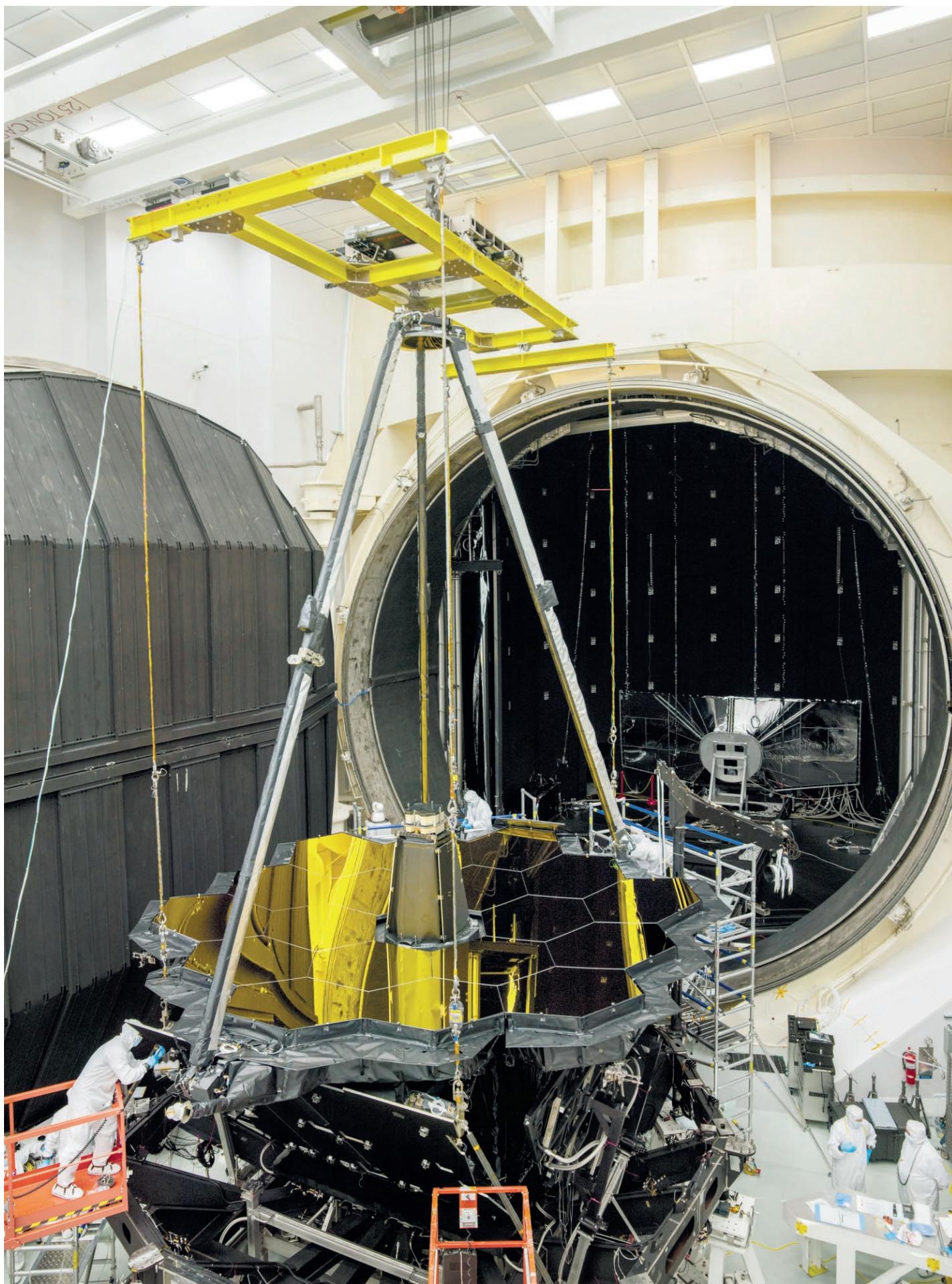


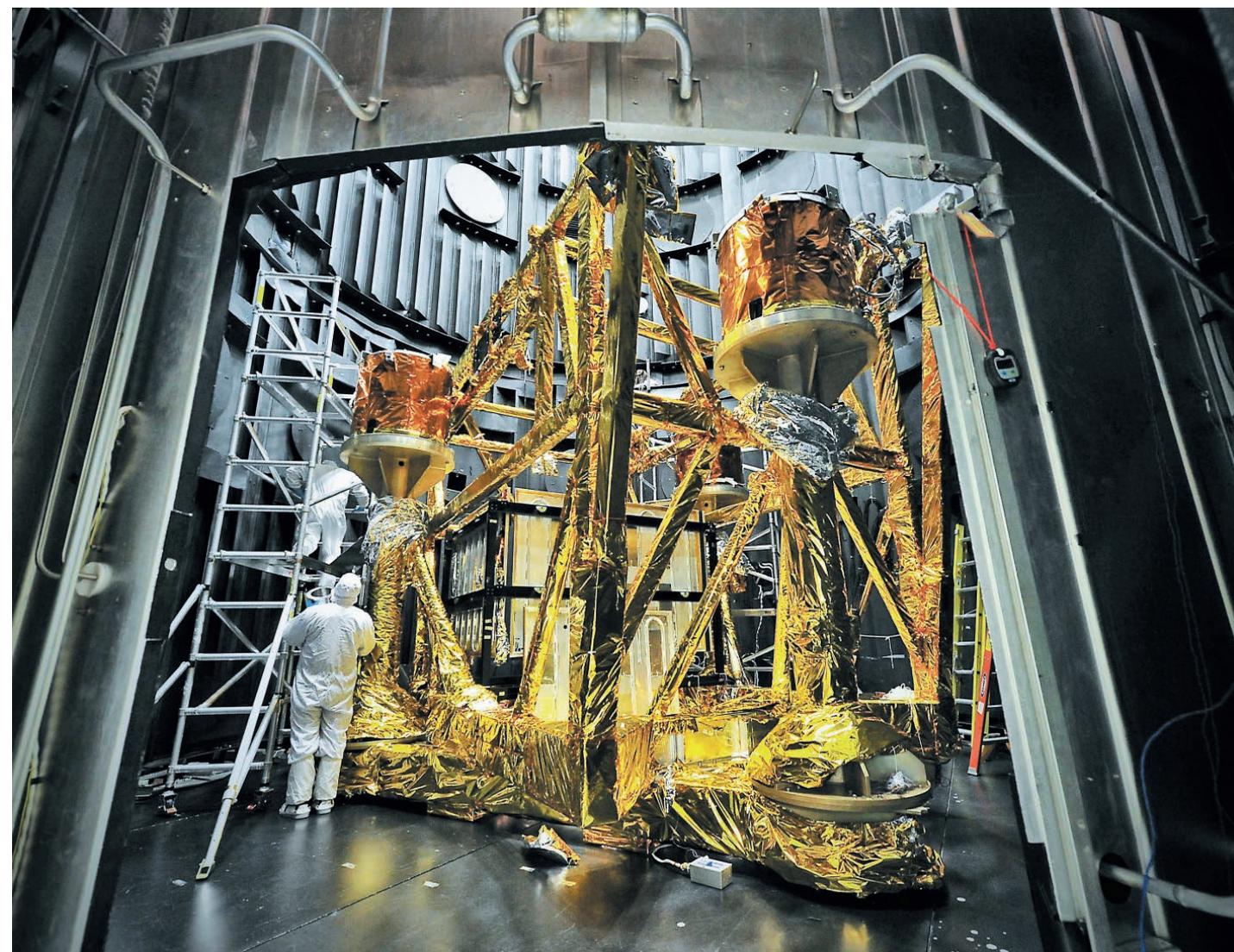
ХРУПКИЙ ГРУЗ

Рабочие перевозят один из сегментов зеркала космической обсерватории, который прибыл в Центр космических полетов им. Годдарда NASA в специально сконструированных транспортных контейнерах от их изготовителя — компании Ball Aerospace в Колорадо. Каждое такое зеркало имеет ширину 1,32 м; все вместе они образуют светособирающую зону в шесть раз большую, чем зеркало Космического телескопа «Хаббл».

СВЕРХЧИСТАЯ КОМНАТА

До того как разрозненные части Космического телескопа им. Джеймса Уэбба были собраны воедино, его зеркала и приборы были тщательно собраны в чистой комнате High Bay в Центре космических полетов им. Годдарда в Гринбелте, штат Мэриленд. Комната объемом около 37 тыс. м³, одна из самых больших в своем роде в мире, оборудована целой стеной из воздушных фильтров с высокоэффективным удержанием частиц (HEPA-фильтров), чтобы исключить попадание грязи и пыли на чувствительную оптику телескопа.





ХОЛОДНЫЙ И БЕЗВОЗДУШНЫЙ

Чтобы убедиться, что Космический телескоп им. Джеймса Уэбба сможет противостоять условиям ледящего вакуума в космосе, его инструменты и оптика прошли стодневные криогенные испытания в «Камере А», огромном термовакуумном испытательном зале Космического центра им. Линдона Джонсона NASA в Хьюстоне. Круглая 40-тонная дверь шириной 12,2 м закрывает самую большую в мире высоковакуумную криогенно-оптическую испытательную камеру, которая в 1960-х гг. использовалась для оценки характеристик оборудования для лунных экспедиций программы «Аполлон».

ЗОЛОТАЯ КЛЕТКА

До того как было построено и испытано реальное оборудование, предназначенное для запуска, эрзац-версия оптики Космического телескопа им. Джеймса Уэбба, называемая Имитатором элементов оптического телескопа, была подвергнута испытаниям в Имитаторе космической среды Центра космических полетов им. Годдарда. Золотые термоизоляционные защитные покрывала укутывают систему опор и устройств терморегулирования, в том числе группу панелей с жидким азотом, которые помогают поддерживать модельное устройство при температуре около 100° K, что соответствует экстремальным температурам, которые телескоп будет испытывать за пределами Земли.

ПОВТОРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Техник осторожно расправляет золотую фольгу, используемую для укупорки инструментов во время криогенных испытаний в Имитаторе космической среды. Задача этого интенсивного многократного тестирования — гарантировать, что телескоп им. Уэбба будет работать после того, как достигнет места назначения, где у ученых уже не будет возможности вмешиваться, если что-то пойдет не так, кроме корректировки программного обеспечения. «Это, безусловно, технически сложная обсерватория, и в отличие от "Хаббла" обслуживать ее мы уже не сможем, — говорит Колон. — Но в механических системах "Уэбба" заложена многократная избыточность и было проведено тщательнейшее тестирование каждой из мельчайших деталей его механизма».







ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ПОКРЫВАЛА

Тщательно сконструированный солнцезащитный экран Космического телескопа им. Джеймса Уэбба — не единственное, что поможет удерживать холод в телескопе. Защитный укрывающий слой снаружи главного зеркала, называемый манжетой, блокирует нежелательное попадание излучения и тепла на инфракрасные датчики. Поскольку обсерватория построена по «открытой схеме» (в отличие от большинства телескопов в ней нет привычной цилиндрической оболочки, защищающей ее оптику снаружи), этот дополнительный слой защиты поможет отфильтровать даже слабое излучение звезд и галактик за зеркалом.

БЕЗ ОСВЕЩЕНИЯ

Техники осматривают зеркала телескопа им. Уэбба во время теста на отключение света. «Данный снимок я сделал в сумерках, потому что им необходимо было провести этот тест в темноте, — говорит Ганн. — Я всегда хотел, чтобы мои фотографии позволяли в полной мере оценить фактический объем усилий, затраченных в ходе работы над проектом. Когда об "Уэббе" рассуждают в том смысле, что на его постройку ушла уйма времени, я думаю: если бы эти люди имели полное представление о масштабах проделанной работы, время бы перестало быть столь значимым для них аргументом».



КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

ВНЕ- ЗЕМНОЕ СУЩЕ- СТВОВАНИЕ:

КОГДА ЧЕЛОВЕЧЕСТВО
БУДЕТ ЖИТЬ НА ДРУГИХ
ПЛАНЕТАХ?



В 1942 г. американский писатель-фантаст Джек Уильямсон опубликовал повесть «Орбита столкновения». Главный герой, молодой инженер, провел терраформирование астероида и сделал его пригодным для жизни. Можно ли воплотить идеи научной фантастики? Что нового узнали ученые о планетах? Рассказывает член-корреспондент РАН Олег Игоревич **Кораблев**, заведующий отделом физики планет Института космических исследований РАН.



Марсоход и посадочная платформа миссии «ЭкзоМарс-2022». Источник: Европейское космическое агентство.



Член-корреспондент РАН О.И. Кораблев

— **Олег Игоревич, давайте начнем с определения «планеты земной группы», куда помимо Земли входят Марс и Венера, которые на первый взгляд совершенно непригодны для жизни человека. Почему тогда используется такой термин?**

— Тут все просто. Термин указывает не на возможность жизни на планете, а на строение планеты. Планеты земной группы — это твердые тела, которые имеют преимущественно минеральный состав. Напротив, планеты-гиганты — другая группа, представленная в Солнечной системе, по составу они близки к Солнцу, и фактически твердой поверхности у таких планет нет. Поэтому и Марс, и Земля, и Венера, и даже Меркурий, на котором нет атмосферы, относятся к планетам земной группы.

— **Есть ли предположение, почему ближе к Солнцу образовались планеты с твердой поверхностью, а дальше от звезды — газовые гиганты?**

— Ученые все еще выясняют детали формирования планет, особенно гигантов. Но в самых общих чертах можно сказать, что планеты земной группы образовались внутри так называемой снеговой линии. Она разделяет теплые и холодные области протопланетного диска звезды. Ближе к звезде вода оставалась в газовой фазе, и планеты земной группы образовались в результате слипания преимущественно пылевых, минеральных частиц. Вода и другие летучие соединения, скорее всего, были занесены на Землю позднее, при столкновениях с телами, прилетевшими из дальних областей.

Когда мы движемся от звезды, по мере понижения температуры первую снеговую линию образует вода, поскольку она замерзает раньше других летучих веществ. За этой линией основную долю

«эмбрионов» планет составлял уже лед. В результате они росли быстрее и могли достигнуть пяти-десяти масс Земли. Такие тяжелые «эмбрионы» притягивали частицы не только льда и пыли, но и окружающего газа протопланетной туманности — того же, из чего в основном состоит и звезда, — водорода и гелия. Образовались газовые гиганты: Юпитер, Сатурн. Их спутники содержат много водяного льда. Еще дальше от Солнца при все более низких температурах конденсируются аммиак, метан. Вместе с водяным льдом эти разновидности льда образуют так называемые ледяные гиганты — Уран, Нептун. В состав Плутона входит даже азотный лед.

— **Все ли группы планет устроены таким образом или есть различия?**

— Сегодня мы наблюдаем большое многообразие планетных систем. И на самом деле систем, похожих на Солнечную систему, мало. Это связано в том числе и с тем, что системы наподобие Солнечной трудно наблюдать, поскольку планеты сильно удалены от звезды, а сама звезда — достаточно яркая. Поэтому при наблюдении мы видим только звезду.

Это характеризуется определением «наблюдательная селекция»: мы видим только то, что можем увидеть. В основном это большие планеты, вращающиеся около звезды. Но все же техника совершенствуется — и астрономы уже находят планеты, похожие на Землю, которые вращаются возле не очень ярких звезд.

— **Вернемся к нашей Солнечной системе. В свое время была очень популярна идея терраформирования планет. Как вы считаете, насколько это осуществимо в обозримом будущем?**

— Мне кажется, в определенных кругах эта идея популярна и сегодня. Конечно, это вдохновляющая мысль — приспособить планету для жизни человека. Когда мы окончательно испортим свою, придется переселиться на какую-то другую. Между тем проводятся серьезные исследования, которые включают оценку энергетических возможностей человечества. Согласно данным, в ближайшие 100 тыс. лет подобное мероприятие нам пока не под силу, хотя бы потому, что это обойдется недешево. Одно дело — колонизация, возможно, построение постоянно действующей базы, как в Антарктиде. Но другое дело — переделать планету и обеспечить условия, к которым мы привыкли на Земле. Это гораздо труднее.

— **Чем специалистов-планетологов и энтузиастов терраформирования привлекает Венера? В свое время ее даже называли младшей сестрой Земли. При этом условия на ней совсем неподходящие.**

— Здесь нам стоит рассмотреть такой известный термин, как «зона обитаемости». Он характеризует область расстояний между родительской звездой и планетой, где может существовать жидкая вода. Мы подразумеваем, что именно вода — основа жизни. Зона обитаемости зависит не только от расстояния до звезды, но и от того, насколько интенсивно светит сама звезда.

В нашей Солнечной системе Венера попала за границу зоны обитаемости. При этом Венера очень похожа на Землю. И нельзя сказать, что Солнце на ней сильно жарит. Поток приходящего солнечного излучения определяется не только расстоянием от Солнца. Так, Венера всего на 30% ближе к Солнцу, чем Земля. Есть другой важный фактор — цвет, который определяет, насколько планета отражает солнечное излучение. А Венера отражает его очень хорошо. По сути, она белая, светлая. Если Земля отражает 30% процентов солнечного излучения, то Венера — практически 90%. Поэтому она получает меньше энергии от Солнца, чем Земля.

Однако сегодня мы видим, как события прошлого отразились на настоящем Венеры. Считается, что на ней когда-то был океан, но его судьба была печальной: он перешел в газообразную форму — водяного пара, вызвав сильный парниковый эффект. На самом деле, водяной пар — главный участник цикла круговорота воды в природе. На Земле вода испаряется и конденсируется, переходя обратно в жидкую форму. Но на Венере этот процесс был нарушен, то есть водяной пар не конденсировался из-за близости к Солнцу. И вся вода, которая была на Венере, перешла в форму пара, создав жуткую паровую атмосферу. Парниковый эффект в такой атмосфере настолько разогрел газ, что произошла массовая потеря воды. Фактически Венера сейчас совсем сухая. А то, что осталось, — это углекислый газ.

По всей видимости, первичные атмосферы и на Земле, и на Венере, и на Марсе состояли в основном из углекислого газа. Кислород на Земле появился уже в результате деятельности живых организмов, первичных форм жизни. А углекислый газ, азот были всегда. Так вот, на Венере остался только углекислый газ со следами воды.

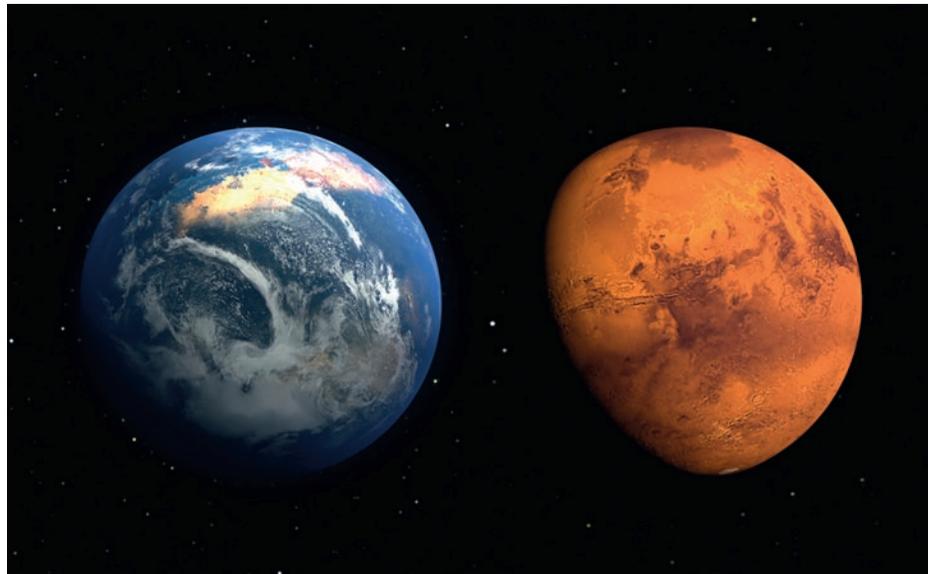
Другая интересная особенность Венеры, причина

которой до конца не ясна, связана с тем, что на ней отсутствует тектоническое движение литосферных плит. Этот процесс на Земле обеспечивает захоронение углекислого газа. В океане из него образуются карбонаты, в конечном итоге — известняковые массивы, а движение плит опускает его в мантию. Поскольку на Венере такого процесса нет, то и углекислый газ остался почти в полном объеме. Венера — это урок для человечества: вот что бывает с планетой, когда парниковый эффект работает на полную катушку.

— А что случилось с Марсом? Там, как я понимаю, наоборот очень холодно?

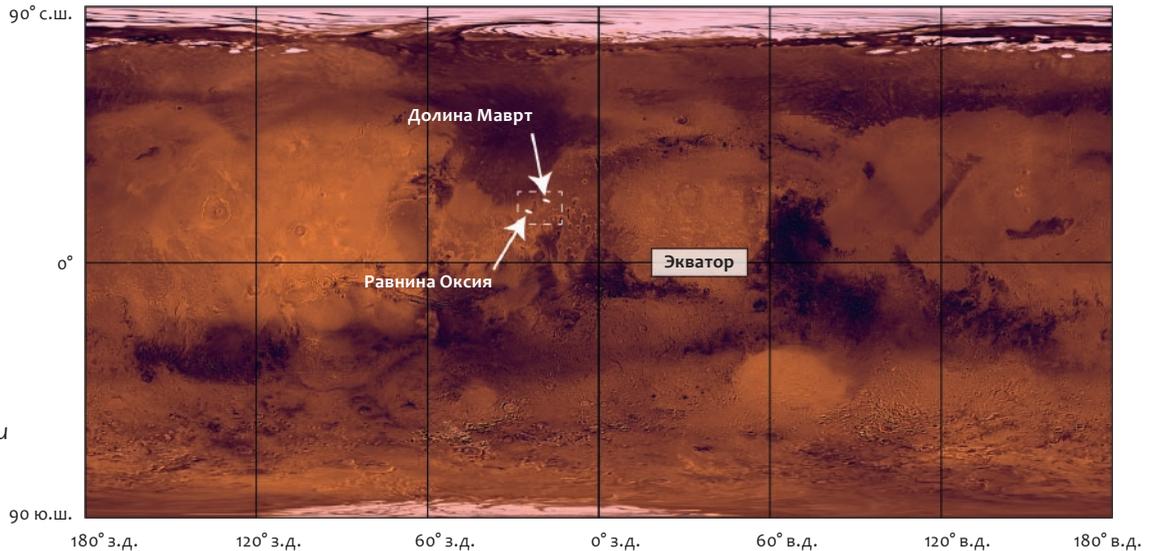
— Марс существенно меньше, чем Земля или Венера. Скорее всего, это главный фактор. И, конечно, расстояние от Солнца до Марса больше по сравнению с другими планетами. Поэтому Марс находится на внешней границе зоны обитаемости.

Существует множество предположений, почему атмосфера Марса так слаба. Некоторые ученые предполагают, что углекислый газ был почти полностью удален из атмосферы. Это гипотетическое явление называют гидродинамическим выносом. Скорее всего, он происходил на всех планетах на раннем этапе, когда они имели еще расплавленную поверхность и подвергались интенсивной бомбардировке. Возможно, часть углекислоты на Марсе захоронена, как и на Земле, в карбонатах. Известно, что карбонаты на поверхности есть, но сколько — неясно. Пока они едва уловимы при наблюдениях, мешает пыльная поверхность Марса. Их удалось обнаружить на редких скалистых участках, и это стало большим открытием.



*Изображенная художником ранняя марсианская среда (слева), которая, как считается, содержала жидкую воду и более плотную атмосферу, в сравнении с холодной и сухой средой, наблюдаемой на Марсе сегодня (справа).
Источник: Центр космических полетов им. Годдарда NASA.*

Глобальная карта Марса, обозначено положение равнины Оксия и долины Маврт — двух кандидатов в места посадки аппаратов миссии «ЭкзоМарс-2020». Источник: NASA/JPL/USGS.



Дистанционное исследование минералогии Марса велось в целом трудно. Сначала не видели глины, потом их удалось обнаружить. Значит, все-таки на Марсе была когда-то вода. Карбонаты тоже искали долго, и только очень высокое разрешение позволило их заметить.

Воды на Марсе довольно много, но она находится в основном в форме вечной мерзлоты и немного в виде льда на полярных шапках.

Если вместо Марса взять идеальный шар и распределить по нему всю разведанную воду, как будто она жидкая, то глубина такого сферического слоя воды на Марсе будет примерно равна 30 м. Для сравнения: средняя глубина Мирового океана на Земле — 3736 м, или примерно 2,7 тыс. м сферического слоя. Что касается Марса, то это некоторая минимальная оценка. Несмотря на все усилия и исследования, ведущиеся на Марсе широким фронтом, мы не можем точно сказать, сколько

воды содержится в вечной мерзлоте. Мы знаем, сколько воды на глубине до 1–2 м, но не знаем, сколько ее на глубине 500 или 1 тыс. м, где она, по всей вероятности, есть, пусть и в виде льда.

В ближайшее время нам предстоит узнать, что же произошло с Марсом, почему и как исчезли вода и атмосфера. Считается, что это случилось более 3,5 млрд лет назад. С тех пор Марс менялся относительно слабо. По сравнению с Марсом то, что мы видим вокруг себя на Земле, очень молодо. В масштабах миллионов лет ландшафты, которые нас окружают, постоянно меняются.

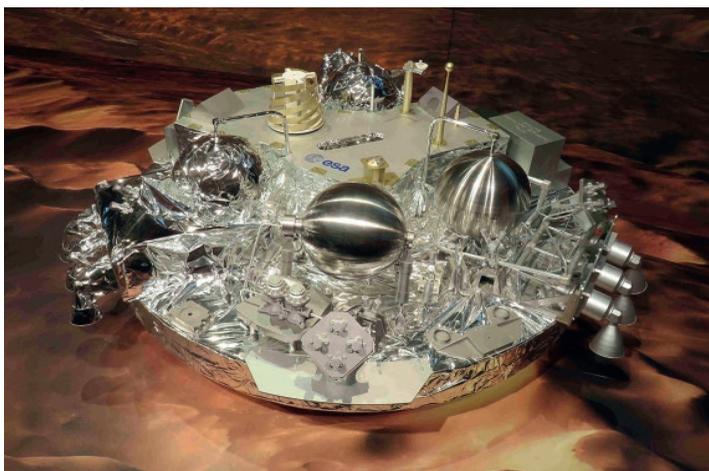
На Венере возраст поверхности более солидный, но она гораздо моложе Марса — около 700–800 млн лет. Поэтому Марс и его поверхность для нас — настоящий заповедник, хранящий историю Солнечной системы.

— А какие варианты событий предлагают ученые?

— Скорее всего, произошла перестройка внутреннего строения планеты. Пропало магнитное поле, был недолгий эпизод вулканической активности, которая затем утихла.

Согласно теориям, в атмосфере Марса когда-то было вполне приемлемое давление, а по его поверхности текла вода. Может быть, не в таких количествах, как на Земле, но и на Марсе был океан. Северное полушарие планеты представляет собой обширную впадину, которая раньше, вероятно, была заполнена водой.

— В одном из выступлений вы сказали, что на Марс человек уж точно сможет отправиться. Когда это станет возможно и как в таком случае решить проблему с радиацией, которая на Марсе достаточно высокая?



Макет «Скиапарелли» в Европейском центре управления космическими полетами. Источник: «Википедия».

— Этот вопрос стоит задавать не ученым, а скорее политикам или энтузиастам. Речь идет о желании выделить средства, потому что, в общем-то, технологии полета на Марс уже существуют. Остается собраться с духом и, может быть, проявить определенную смелость.

Сегодня по сравнению с эпохой «Аполлона» принять такую степень риска для экипажа, которая была допустима тогда, общество вряд ли сможет. А полет на Марс — по-настоящему рискованная затея. Конечно, энтузиасты найдутся. Но вся ответственность ляжет на плечи тех, кто возьмется за организацию такого полета.

Что касается радиации, мне кажется, главный вопрос в перелете. Все-таки на поверхности Марса радиация меньше. И можно построить убежище, использовать местный грунт, рельеф. Во время перелета, скорее всего, потребуются какие-то защитные конструкции. Это уже технический вопрос. Очевидно, что полет на Марс отличается от времени, проведенного на МКС, потому что орбита станции находится под радиационными поясами Земли. Все, что за ними, в том числе орбита Луны, — это уже совсем космос. Поэтому сегодня прежде всего обсуждаются полеты к Луне для отработки будущего полета на Марс.

— Не раз было сказано, что человеку незачем лететь к другим планетам. Намного проще отправлять автономные станции и аппараты, способные доставлять грунт. Можно ли утверждать, что дальние полеты человека в космос — скорее доказательство того, что человечество может это сделать?

— Да, конечно. В 2021 г. мы наблюдали старт космического корабля с киноэкипажем. И сразу все вспомнили, как, оказывается, сложно отправлять человека в космос, — сколько необходимо учесть разных деталей. И до этого космонавты летали регулярно, но это, в общем-то, уже мало кого интересовало.

Поэтому, конечно, полет человека в космос всегда вдохновляет общество. Грустно, что мы до сих пор соревнуемся. В 1960-х гг. соревновались, кто быстрее доведет атомную бомбу, и сейчас все еще соревнуемся, кто на Марс лучше слетает.

— В этом году мы ожидаем запуска нового аппарата, который отправится на Луну. А нужно ли человечеству снова туда возвращаться, строить базы?

— Движение человечества в космос, к другим планетам, а в будущем и к другим звездам не остановить. Очевидно, что с развитием цивилизации мы продолжим продвигаться все глубже и глубже в космос. Луна, как мне кажется, — очень разумный этап такого продвижения. Она относительно близка. К тому же нельзя сказать, что мы возвращаемся. То, что было в 1960-х гг., уже в прошлом. Сегодня все устроено иначе.

Другие системы, другие допустимые степени риска. По сути, все нужно делать заново. Поэтому то, что сейчас во многих странах, в том числе в России, вновь возникла идея полета на Луну, совершенно понятно и резонно.

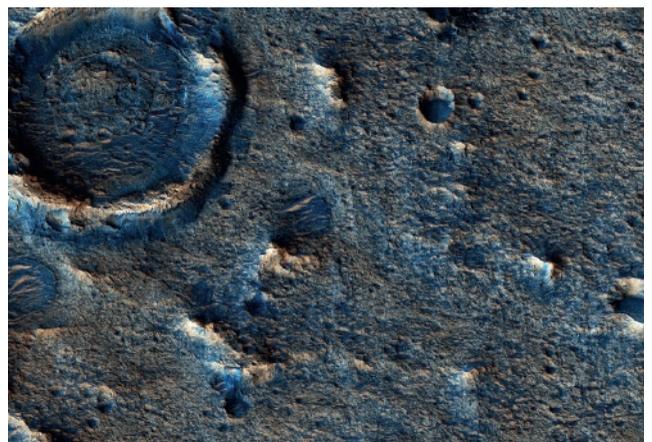
— С точки зрения космических исследований удобна ли Луна, например, для установки космических телескопов?

— После первых полетов считалось, что Луна для таких установок не подходит, поскольку там очень пыльно. Астронавты вернулись грязные, черные, в этой самой лунной пыли. При этом она липкая и имеет какой-то странный запах.

Между тем известен опыт китайских коллег, которые на первом посадочном аппарате установили небольшой телескоп в ультрафиолетовом диапазоне. У него не было амбициозных задач, но, насколько мне известно, он работает до сих пор. Может быть, его не очень интенсивно используют, поскольку у него нет системы наведения, он смотрит просто в зенит.

Оптические телескопы на Луне имеют право на существование. Возможно, у специалистов по внеатмосферной астрономии в будущем появится такая база. Вряд ли подобные лунные телескопы станут серьезными конкурентами специализированным спутникам-обсерваториям. Хотя при строительстве лунной базы это может стать одной из побочных, но очень полезных сфер деятельности.

На Луне можно использовать диапазон достаточно длинных волн, которые недоступны на Земле из-за ионосферы. На обратной стороне Луны почти нет радиопомех. К тому же можно ставить большие и относительно легкие антенны. Ветра нет, осадков нет, ничего с ними не будет. То есть в принципе это могут быть долгоживущие полуроботизированные установки с редким обслуживанием человеком. Хорошие перспективы для науки.



Равнина Оксия на снимке камеры высокого разрешения HiRISE на борту аппарата Mars Reconnaissance Orbiter (NASA). Источник: NASA / JPL / Аризонский университет.

— **Поговорим о космических исследованиях. Расскажите немного об истории проекта «ЭкзоМарс». На каком этапе он сейчас находится? Какие значимые научные результаты были получены благодаря миссии?**

— Действительно, «ЭкзоМарс» — это проект с историей. Идея создания подобной миссии принадлежала Европейскому космическому агентству (ЕКА, ESA). Первый запрос на эксперименты для марсохода был в 2000 г. Основная идея проекта — проработать поверхность Красной планеты. За годы подготовки проекта подобное никак больше не планировалось. Это сложная технологическая операция, но она того стоит.

Марс постоянно испытывает воздействие радиации, космических лучей. А значит, поверхность все время подвергается эрозии. И если мы хотим найти на Марсе следы жизни, нужно искать на глубине, там, где грунт не затронут радиацией. Для этого создано буровое устройство для марсохода «Розалинд Франклин», которое, мы надеемся, сможет достичь глубины двух метров.

Система очень сложная. Бур состоит из секций, они наращиваются. Затем нужно вынуть керн, который загружается в специальный отсек. В нем керн измельчается, полученное вещество исследуется с помощью продвинутых современных приборов так называемой аналитической лаборатории ровера.

За 20 лет работы миссия так или иначе видоизменялась. В какой-то момент в ЕКА и NASA созрело решение сделать совместный проект, дополнив

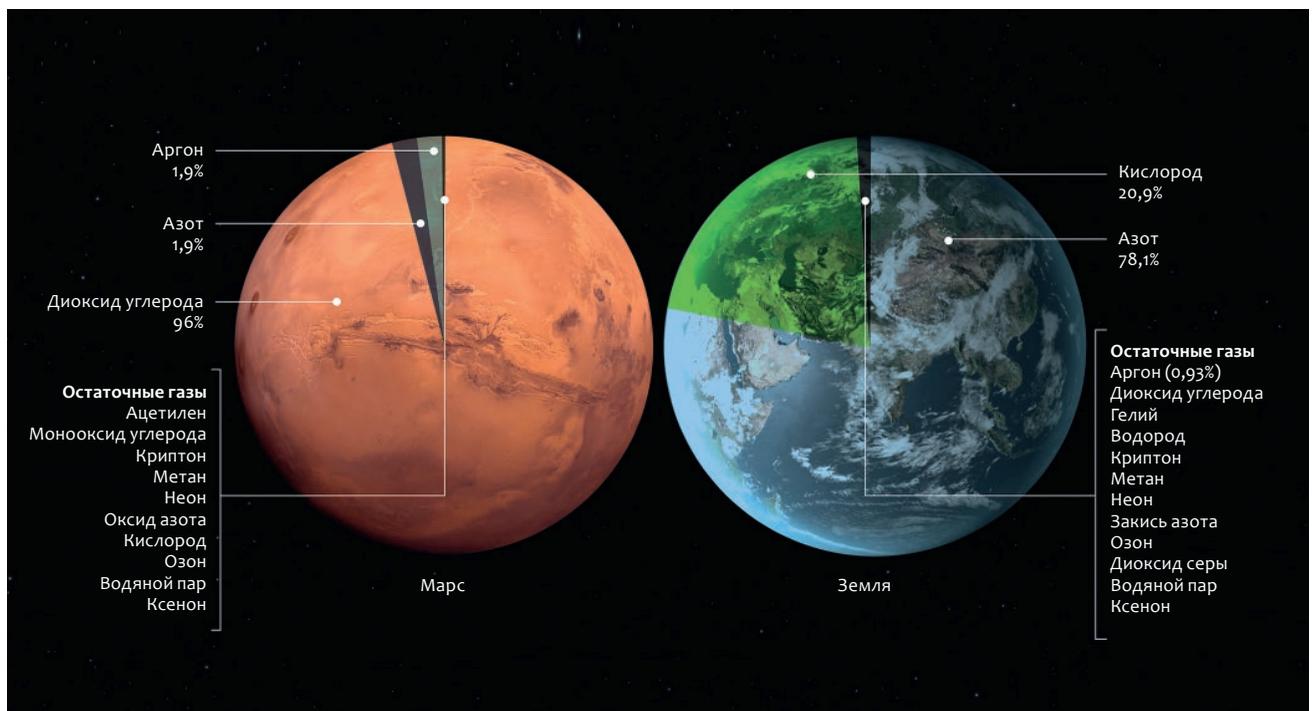
его спутником для измерения малых атмосферных составляющих. Кстати, раньше атмосферы планет были единственными объектами, которые можно было изучать методами наземной астрономии. А когда стали запускать первые спутники и марсоходы, на первый план вышла геология. Именно она десятилетиями доминировала. Но сейчас произошёл некий поворот и все вновь стали интересоваться атмосферой.

— **С чем это связано?**

— Во-первых, возникла идея, что малые газы в атмосфере могут о многом рассказать: о вулканической или тектонической активности на планете. Во-вторых, появилось и активно развивается направление по исследованию экзопланет. Есть надежда, что скоро мы получим такие телескопы, которые позволят оценить состав атмосферы и на внесолнечных планетах.

Помимо этого, исследования атмосферы связаны с поиском следов жизни на Марсе. Например, наличие метана на Красной планете позволяет предположить, что его производят какие-то микроорганизмы. Существует гипотеза, что на Марсе есть так называемые клатраты — газогидраты с соединением метана. Этот газ — самый интересный кандидат для исследователя.

Исследования атмосферы позволяют также вести общий мониторинг атмосферы и климата Марса. Климат здесь влияет и на формирование поверхности планеты, его изучение значимо для планирования будущих экспедиций. Вспомните фильм «Марсианин». Там буря принесла немало



Сравнение атмосфер Марса и Земли. Источник: ЕКА.

бед главным героям. Конечно, в фильме есть некоторые преувеличения. Тем не менее условия на поверхности планеты существенно меняются в зависимости от погоды.

Во второй половине 2000-х гг. разрабатывалась концепция спутника для исследования малых атмосферных составляющих и ровера. NASA предложило свой уникальный опыт посадки на поверхность, в том числе достаточно тяжелых аппаратов. Но в 2011 г. NASA отказалось от участия в проекте. Однако поскольку у «Роскосмоса» (в те годы Федерального космического агентства) и Европейского космического агентства были давние тесные связи, работа продолжилась. Было достигнуто соглашение, в рамках которого запуск спутника должен был осуществляться с помощью российской ракеты. А еще через несколько месяцев было решено, что и вторая часть экспедиции с марсоходом будет запущена российской ракетой.

Возник вопрос, как она сядет. Ведь ранее за эту часть должны были отвечать специалисты из NASA. Тогда европейские коллеги решили создать демонстратор посадки (*Entry Decent Module*). Его назвали «Скиапарелли». К сожалению, его посадка прошла неудачно из-за досадной ошибки в компьютерной программе, которая отвечала за обработку данных при посадке. Но все же был приобретен ценный опыт.

— **Как вы оцениваете вклад российских коллег?**

— Вклад очень большой. Разработка системы посадки марсохода, который будет запущен в 2022 г., совместная. Аэродинамический экран, да и сам посадочный аппарат разработаны в России. Парашютная система и система управления посадкой европейские. Наш ровер унаследовал самое лучшее от «Скиапарелли», при этом проведена соответствующая работа над ошибками.

Напомню, что на борту марсохода установлены два российских эксперимента. Плюс ко всему мы серьезно поработали над посадочной платформой, которая тоже оснащена приборами и предназначена для исследований, которые удобно и целесообразно проводить на неподвижной автоматической станции. Основная часть приборов на ней российская, с небольшим участием европейских коллег. То есть техническая симметрия соблюдена, как и на космическом аппарате *TGO*, который продолжает успешно работать.

На борту орбитального аппарата установлены четыре прибора: два европейских, два российских.



Экспонаты музея Института космических исследований РАН

Один из них измеряет малые атмосферные составляющие и анализирует особенности атмосферы, второй занимается исследованием воды на поверхности.

— **Недавно была опубликована новость, что российский спектрометр обнаружил следы хлороводорода на Марсе. Что это может значить для научного сообщества и для нашего понимания того, как устроен Марс?**

— В принципе, мы и раньше знали, что на поверхности Марса есть хлор. Скорее всего, его происхождение связано с существованием океана. Но было странно, что его нет в атмосфере, ведь соединения хлора очень активные. Благодаря нашему прибору его наконец обнаружили. И теперь фотохимия марсианской атмосферы нуждается в существенной доработке. Но пока ни одной модели опубликовано не было.

Такая вот маленькая атмосфера, почти в сто раз слабее земной, но каждый раз преподносит что-то новое. Поэтому прежде чем кого-то туда посылать, надо еще немного поработать.

— **Чего мы ждем от запуска в 2022 г.?**

— Мы ждем успешного запуска, перелета и посадки на Марс. Это самое главное для миссии. А дальше мы начнем реализацию научной программы. Сверхзадача — протестировать поверхность, возможно, найти следы или свидетельства биологических процессов в прошлом планеты, а может и в настоящем.

И, конечно, необходимо выполнить большую программу экспериментов и на марсоходе, и на посадочной платформе. Наконец-то мы и европейские коллеги вступим в дружную семью людей, которые «прикоснулись» к поверхности Марса. ■

Беседовала Анастасия Рогачева

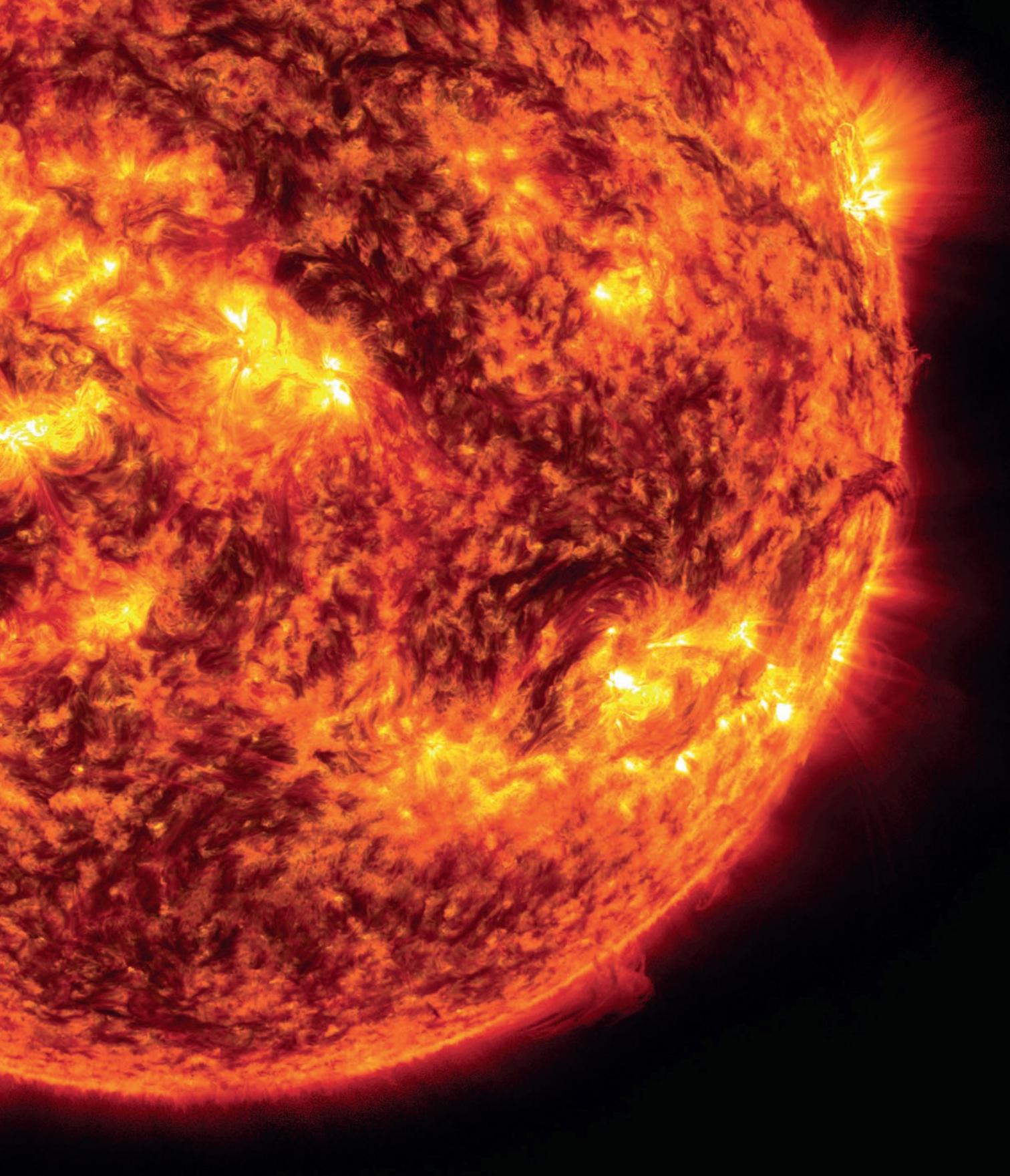
КОСМИЧЕСКАЯ ПОГОДА

Разрушительные
геомагнитные бури,
возможно, происходят
чаще, чем полагали
ученые, и это
не предвещает ничего
хорошего для нашего
в буквальном смысле
опутанного проводами
глобального сообщества

Джонатан О'Каллаган

УГРОЗА СОЛНЕЧНЫХ СУПЕРВСШЫ





III EK



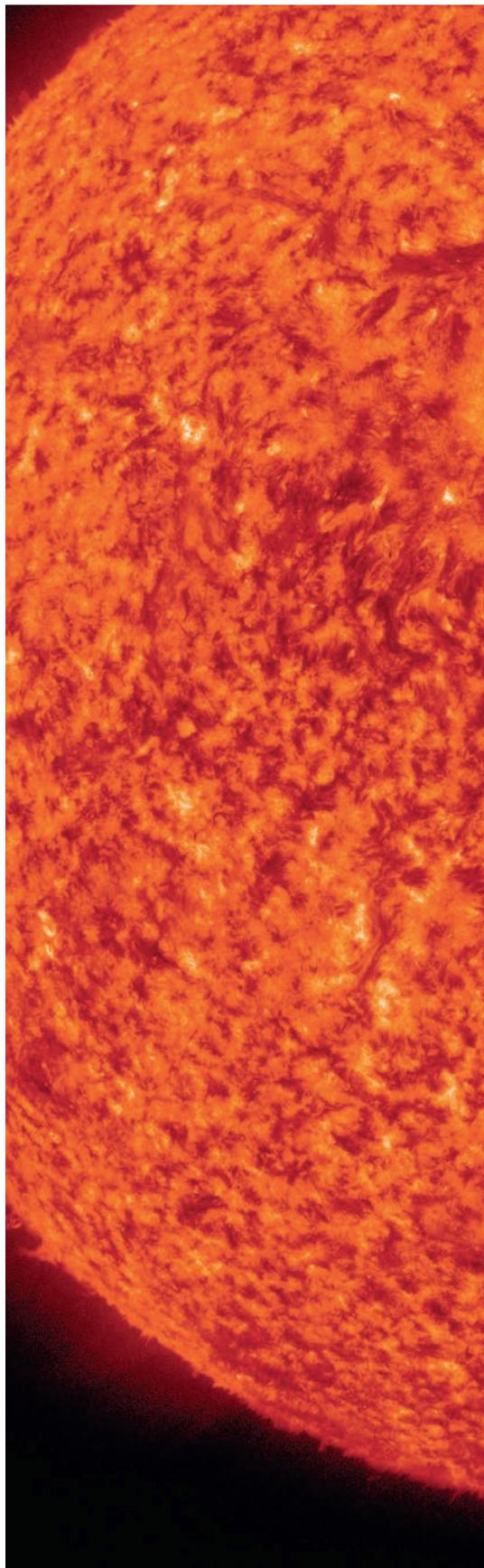
ОБ АВТОРЕ

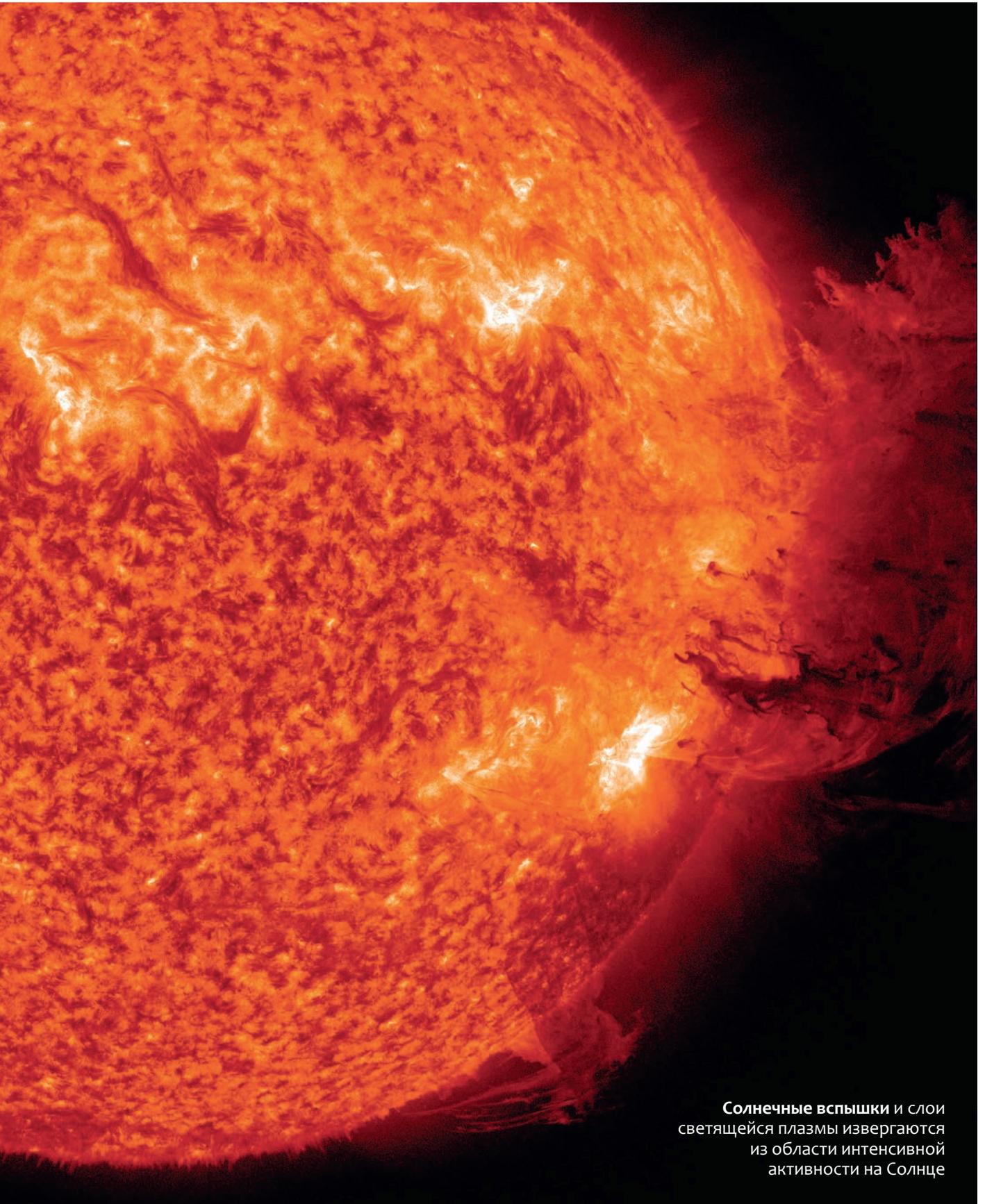
Джонатан О'Каллаган (Jonathan O'Callaghan) — независимый журналист, освещающий коммерческие полеты в космос, космические исследования и астрофизику.

Время от времени на нашей звезде происходят гигантские выбросы частиц и излучения, способные вызвать на Земле серьезные разрушения. Более 150 лет ученые, изучающие эти вспышки и то, как они влияют на нашу планету, самое большое внимание уделяли одному, казалось бы, самому яркому — в буквальном смысле — событию: солнечной буре 1859 г., которую принято называть «событие Кэррингтона». Извержение на Солнце нанесло сильный удар по Земле, накачав в магнитное поле нашей планеты энергию, достаточную, чтобы вызвать гигантскую геомагнитную бурю, которая не только породила красивейшие картины полярного сияния, но и вызвала электрические возгорания в телеграфных линиях.

Эту бурю сочли случайным, незначительным, доставившим временное неудобство явлением, которое причинило ограниченный ущерб инфраструктуре электрических сетей того времени. Однако сегодня ученые рассматривают событие Кэррингтона, наряду с геомагнитной бурей сопоставимой силы 1921 г., как зловеющий предвестник будущих катастроф.

Первое указание на то, что солнечные бури могут быть ужасающими, появилось в 2012 г., когда были обнаружены свидетельства гигантской бури, случившейся около 775 г. н.э., которая примерно в 10–100 раз сильнее солнечной бури Кэррингтона. «Это было удивительно, — говорит Николас Брем (Nicolas Brehm) из Швейцарской высшей технической школы Цюриха. — Мы не ожидали, что может произойти нечто такого масштаба».





Солнечные вспышки и слои светящейся плазмы извергаются из области интенсивной активности на Солнце

NASA, SDO and the AIA, EVE and HMI science teams (all photographs)

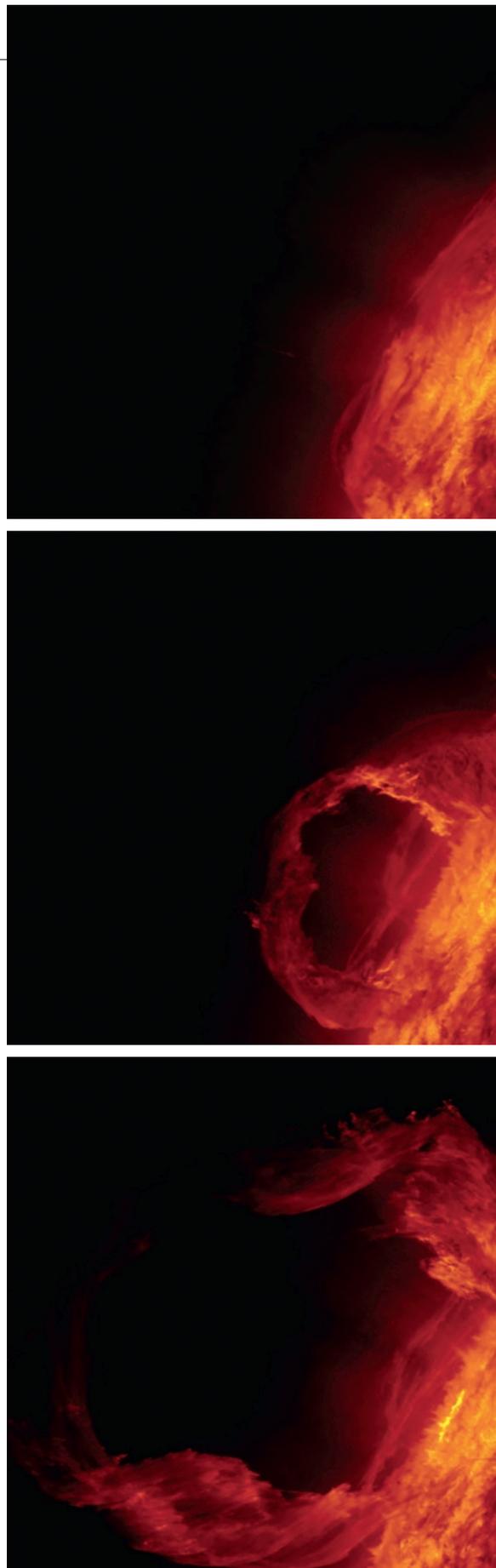
Ученые в то время предположили, что мощнейшая [геомагнитная] буря в далеком прошлом могла возникнуть в результате происходящей раз в 10 тыс. лет гигантской вспышки, в тысячи раз более мощной, чем обычная солнечная вспышка. Сегодня такая колоссальная вспышка имела бы опустошительные последствия для нашего в буквальном смысле опутанного проводами глобального сообщества.

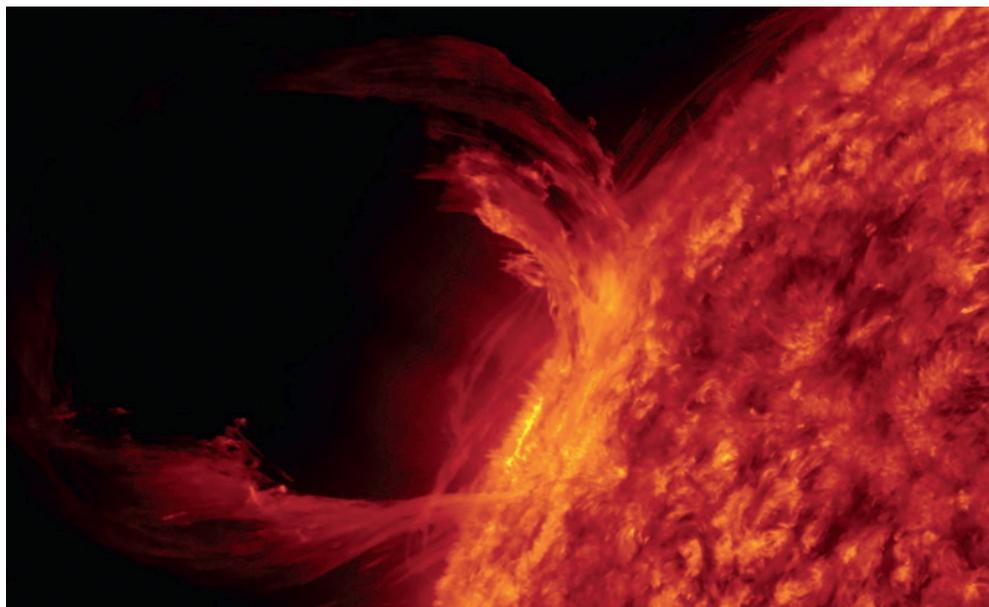
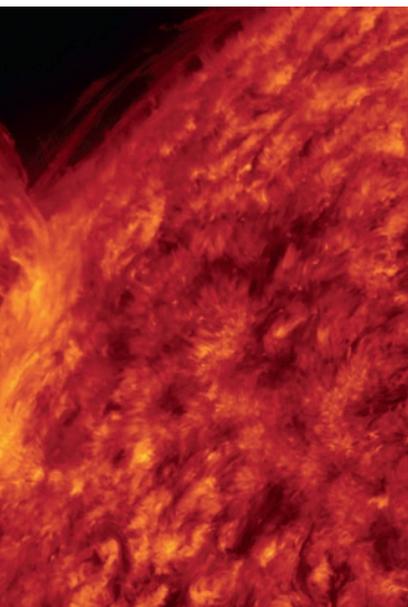
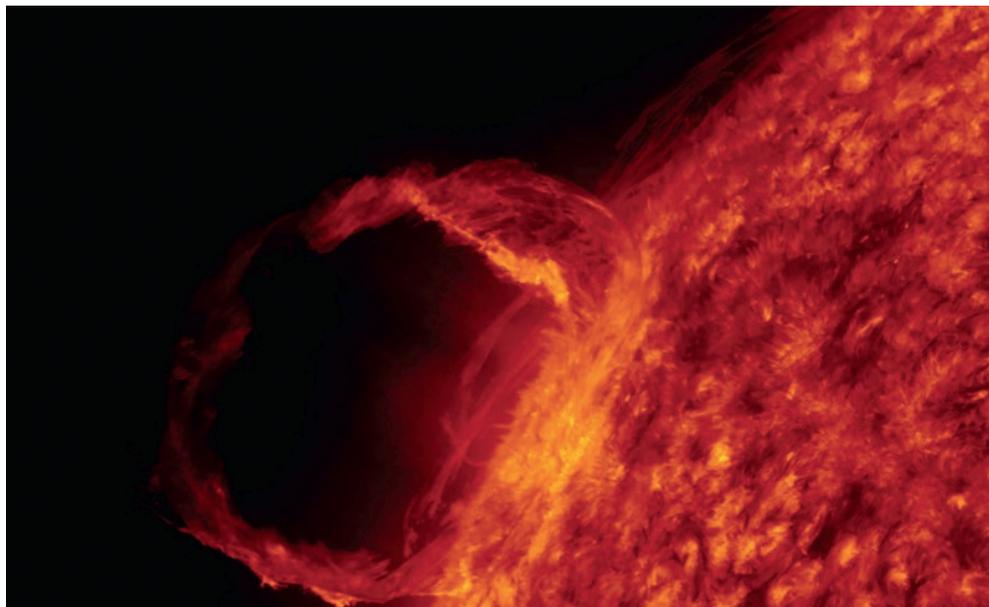
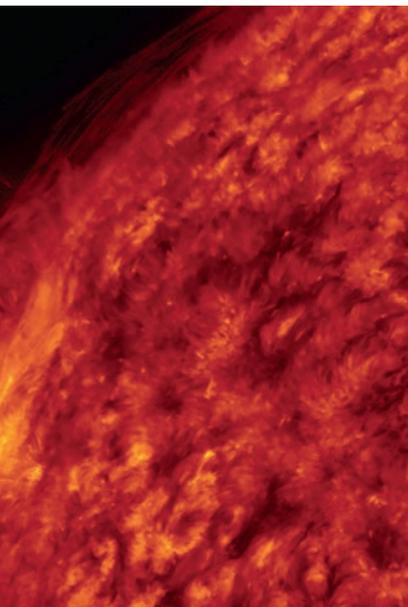
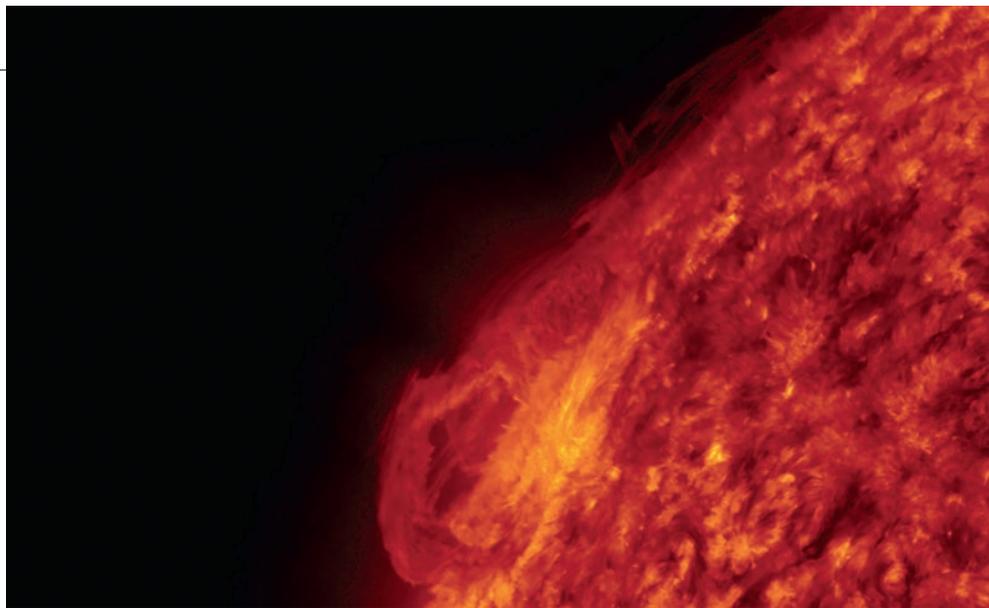
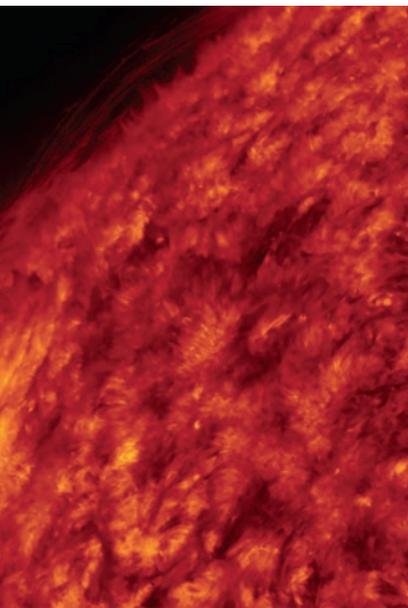
В настоящее время представляется, что эти явления происходят даже чаще, чем мы предполагали: ученые, исследующие геохимические анналы новейшей истории Земли, нашли свидетельства еще двух таких вспышек.

В статье Брема с соавторами, доступной в качестве препринта на издательской интернет-платформе *Research Square*, ученые сообщают о возможном открытии двух невероятно сильных солнечных вспышек. Первая произошла в 7176 г. до н.э., когда кочевые сообщества охотников-собираателей уступали место аграрным поселениям. Другая случилась в 5259 г. до н.э., когда планета вышла из последнего ледникового периода. Полагают, что обе вспышки были не менее сильными, чем буря 775 г. н.э., и в течение последнего десятилетия ученые искали аналогичные экстремальные явления. Научная группа Брема нашла их первой. «Это огромное достижение», — считает Фуса Мияке (Fusa Miyake) из Нагойского университета в Японии, в 2012 г. руководивший исследованием, в ходе которого была выявлена вспышка 775 г. до н.э. Ученые теперь называют вспышки такого масштаба «вспышками Мияке».

Чтобы найти свидетельства подобных солнечных вспышек, ученые проводят химический анализ образцов из полярных ледниковых шапок и древних деревьев, сохранившихся в болотистых торфяниках или высоко на горных вершинах. Когда частицы солнечной плазмы с огромной скоростью влетают в атмосферу, они могут производить нестабильные радиоактивные формы различных элементов, называемых изотопами, которые накапливаются в этих местах. Например, в результате солнечной активности может образовываться углерод-14, который поглощается деревьями по мере их роста. Поскольку каждое кольцо ствола дерева соответствует одному году роста, ученые могут определить точные даты любых пиков количества изотопов, вызванных повышенной солнечной активностью: чем больше углерода-14 содержится в одном кольце, тем больше солнечных частиц влетело в нашу атмосферу в то время. Такие кольца «позволяют нам реконструировать картину [образования] радиоактивных атомов углерода во времени, — объясняет Шарлотт Пирсон (Charlotte Pearson) из Лаборатории исследования древесных колец Аризонского университета, соавтор статьи Брема. — Один из ключевых факторов, влияющих на эти флуктуации, — активность Солнца».

Гигантский по сравнению с планетой солнечный протуберанец вырывается из нашей звезды, высвобождая огромное количество вещества и радиации ▶



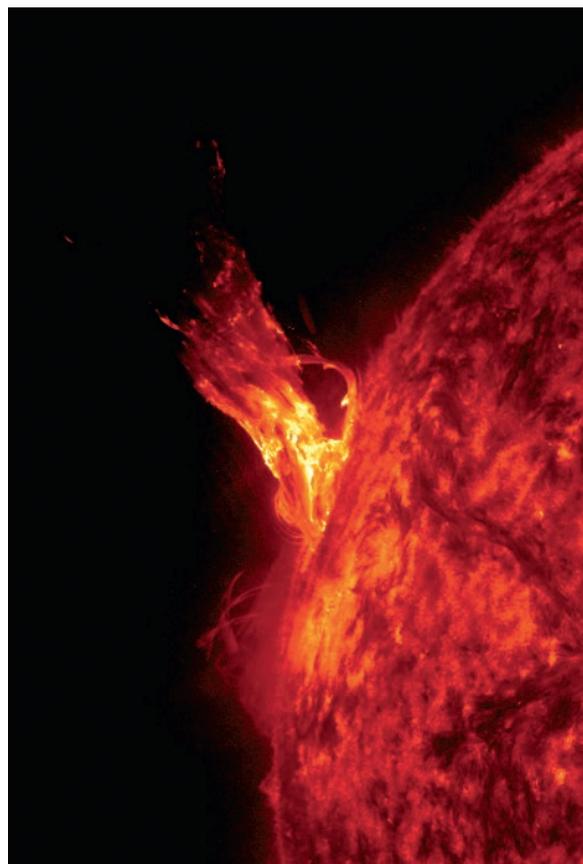
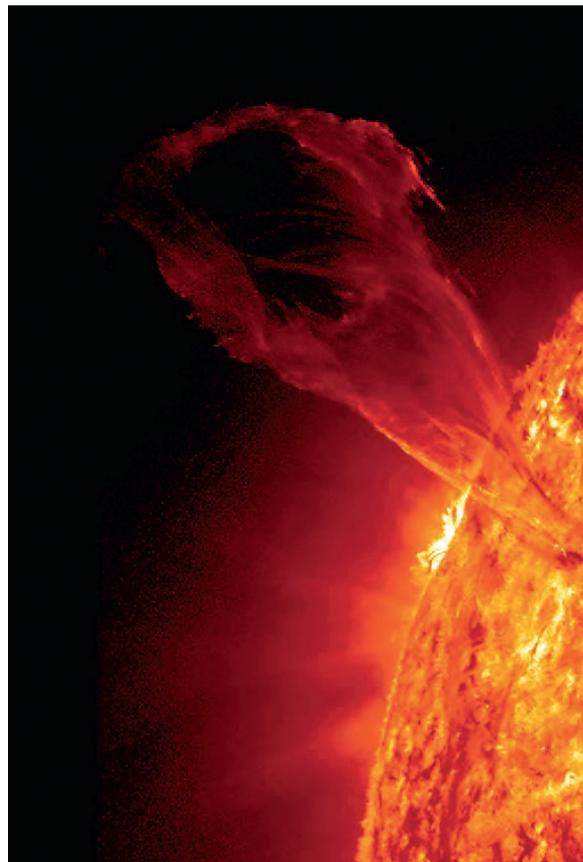


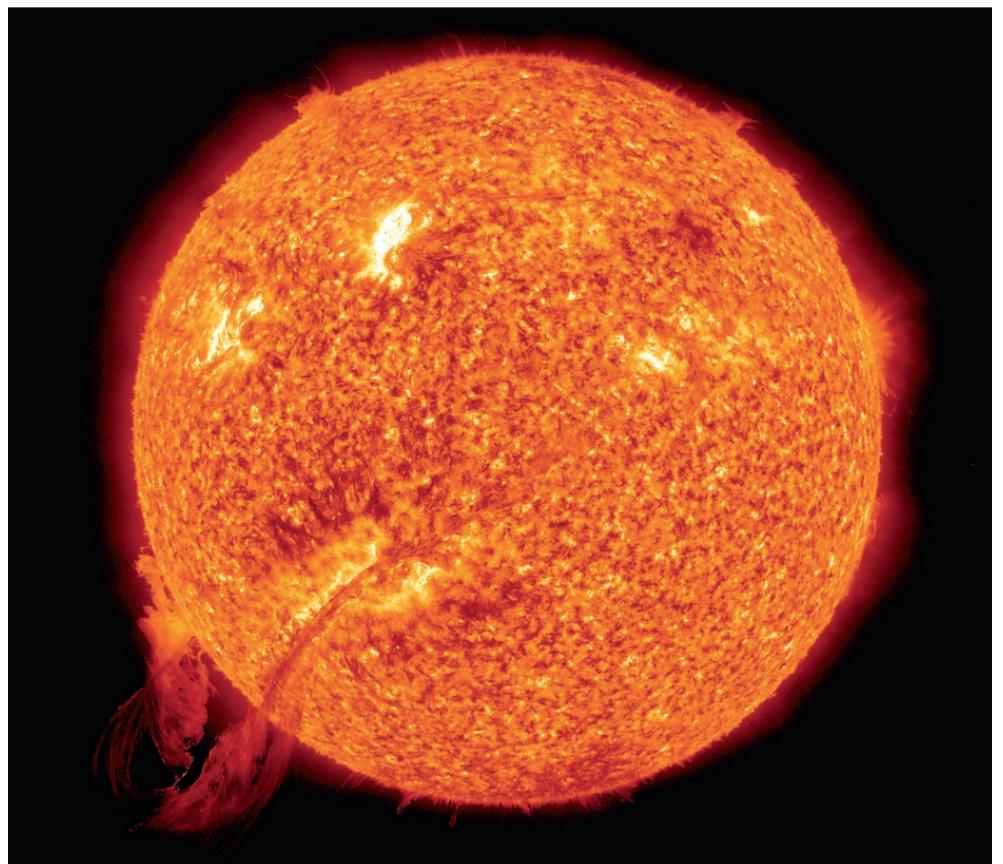
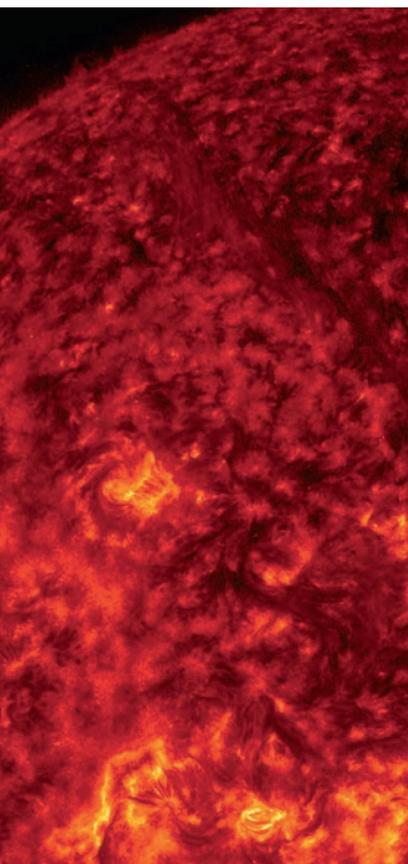
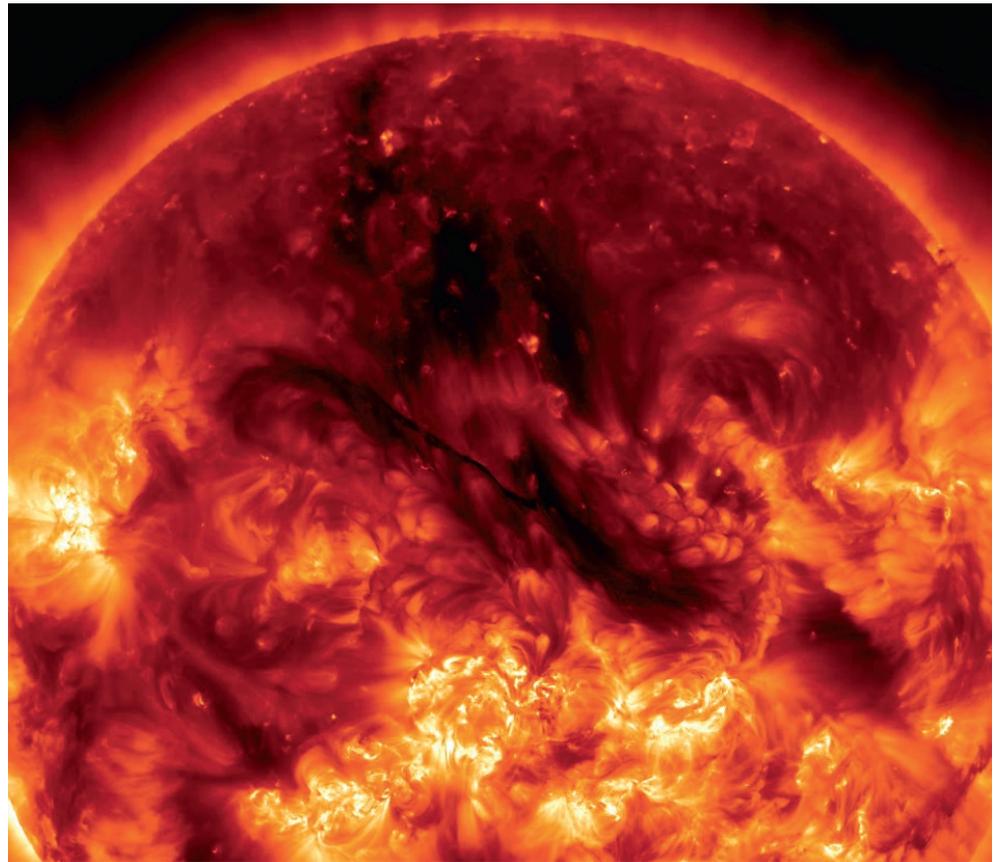
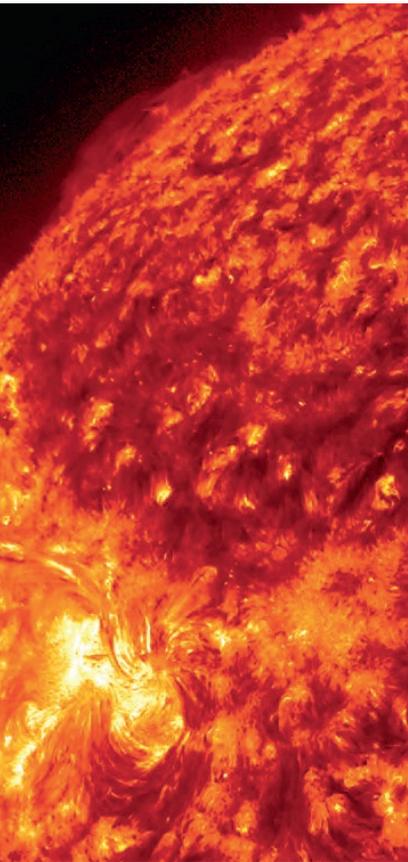
Изучая концентрации бериллия-10 и хлора-36 в ледяных ядрах, ученые могут проводить аналогичные, хотя и немного менее точные измерения. Вместе эти два метода могут дать точный отчет об исторических событиях. У нас есть данные на основе годовых колец для большей части голоцена — нынешней геологической эпохи, которая началась около 12 тыс. лет назад. Однако их изучение в поисках пиков [концентрации] углерода-14 занимает много времени. Рассмотрение только одного года обычно требует недель анализа и взаимной корреляции [данных] от нескольких образцов годовых колец. «Предстоит изучить данные 12 тыс. лет голоцена, и мы проделали 16% работы. Это вопрос времени и денег», — рассказывает Александра Бэйлисс (Alexandra Bayliss), руководитель отдела научных исследований комиссии «Историческая Англия» (официально *Historic Buildings and Monuments Commission for England*, Комиссия по историческим зданиям и памятникам Англии, — исполнительный вневедомственный государственный орган британского правительства, задача которого — защита исторической среды Англии. — Примеч. пер.).

Брему и его команде сопутствовала удача. В случае вспышки 7176 г. до н.э. ее предварительные свидетельства они обнаружили как пик концентрации бериллия-10 в ледяных ядрах. Ученые провели дальнейшие исследования, изучив годовые кольца деревьев, и заметили соответствующий всплеск содержания в них углерода-14. Что касается вспышки 5259 г. до н.э., Бэйлисс заметила пробел в археологических данных этого периода. Изучая данные по содержанию углерода-14 в кольцах деревьев той эпохи, научная группа засвидетельствовала еще один всплеск. «Мы обнаружили эти огромные пики для обеих дат», — говорит Брем, и каждый из них по величине аналогичен пику [концентрации углерода-14], который Мияке увидел в образцах, зафиксировавших вспышку 775 г. до н.э.

Поначалу исследователи не были уверены, что именно стало причиной этих пиков, а некоторые даже думали, что вероятность солнечной вспышки такого масштаба крайне мала. Однако исследование 2013 г., проведенное Брайаном Томасом (Brian Thomas) из Уошбернского университета, показало, что, скорее всего, причиной этого была солнечная вспышка. «Некоторые даже высказывали предположение, [что пик 775 г. до н.э.] мог быть результатом взрыва сверхновой или даже гамма-всплеска, — говорит Томас, которого нет среди авторов последней статьи Брема и его коллег. — Но они крайне редки и вряд ли могли следовать с подобной частотой. Такое объяснение явно хромает, и, скорее всего, это явление солнечной природы». Он утверждает, что такие частые и большие выбросы были, по-видимому, результатом возросшей

Бурлящий водоворот перекрученных магнитных полей питает вспышки, которые определяют 11-летний цикл активности Солнца





солнечной активности — возможно, сопровождавшейся геомагнитной бурей, аналогичной событию Кэррингтона, но гораздо более мощной. «Следы события Кэррингтона невозможно даже обнаружить» в годичных кольцах деревьев и ледяных кернах, отмечает Бейлисс, а это позволяет предположить, что по сравнению с ними она была весьма незначительной.

И тем не менее точная корреляция между пиковыми значениями количества частиц солнечного ветра и интенсивностью любой сопутствующей геомагнитной бури остается неясной. «Вспышка с большим выбросом частиц часто ассоциируется с геомагнитной бурей, но это вовсе не обязательно», — объясняет Томас. Возможно даже, что геомагнитные бури, такие как солнечная буря Кэррингтона, вообще не вызывают всплесков в содержании углерода-14, — это могло бы объяснить их отсутствие в данных, полученных на основе изучения годичных колец деревьев и ледяных кернов, соответствующих дате этого события. Однако есть косвенные указания на то, что по крайней мере солнечная буря 775 г. до н.э. сопровождалось мощными полярными сияниями, зарегистрированными в Китае, что говорит о сильной геомагнитной буре в купе с соответствующим огромным потоком [на Землю] частиц солнечного ветра. «Разумнее всего предположить, что все эти события были большими геомагнитными бурями», — полагает Томас.

Если эта связь верна, все говорит о том, что только за последние 10 тыс. лет на Землю обрушились как минимум три мощнейшие солнечные вспышки. (Свидетельства того, что их еще больше, в конечном итоге, возможно, будут найдены в оставшихся 84% имеющихся годичных колец деревьев, которые еще предстоит проанализировать в поисках всплесков содержания в них углерода-14.) «На самом деле весьма сомнительно, что за минувшие 10 тыс. лет была только одна [солнечная буря такого масштаба], — говорит Пирсон. — Но до настоящего момента можно было считать, что это был просто единичный случай. Теперь, когда мы обнаружили еще две, я не уверен, что это неожиданно, — и это может быть предметом беспокойства».

Основную обеспокоенность вызывает то, что, случись сегодня такая вспышка, это имело бы катастрофические последствия для спутников на орбите и инфраструктуры на Земле. В марте 1989 г. геомагнитная буря, намного более слабая, чем событие Кэррингтона, вызвала 12-часовое отключение электроснабжения в Квебеке, когда стала причиной перегрузки электrorаспределительной сети всей провинции. Сегодня геомагнитная буря, возникшая в результате солнечной вспышки Мияке, по всей видимости, вызовет гораздо более широкомасштабные последствия, в том числе

потенциально катастрофические отключения электроснабжения и выход из строя спутников.

Сангита Абду Джиоти (Sangeetha Abdu Jyothi) из Калифорнийского университета в Ирвайне недавно подсчитала, что в наши дни геомагнитная буря масштаба события Кэррингтона, по всей видимости, вызовет «апокалипсис интернета». Частицы высокой энергии, порожденные такой бурей, скорее всего, выведут из строя связывающие страны подводные кабели, нарушив тем самым работу интернета на недели, а возможно, и на месяцы. По оценкам Абду Джиоти, только Соединенным Штатам такая катастрофа будет стоить \$7 млрд в день. Что-нибудь еще более мощное, такое как солнечная вспышка Мияке, вероятно, нанесет почти неисчислимый урон. «После [геомагнитной бури] масштаба события Кэррингтона мы, вероятно, смогли бы все восстановить, потому что сами наши данные не будут уничтожены, — говорит Абду Джиоти. — Если случится что-нибудь в десять или сто раз более мощное, я не знаю. Не думаю, что кто-нибудь уже это смоделировал. Подозреваю, это приведет к значительной потере данных. Существует вероятность, что мы утратим все наши данные — банковскую информацию и важную медицинскую информацию — и они не будут подлежать восстановлению».

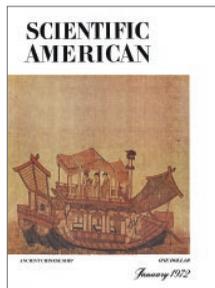
Возможность того, что наша глобальная цивилизация вернется в «темные века» в результате солнечной вспышки Мияке, в настоящее время кажется несущественной. Однако, согласно некоторым оценкам, вероятность бури на уровне события Кэррингтона в следующем десятилетии составляет не менее 12%. Мы сможем подготовиться к ситуации подобного масштаба, отслеживая солнечную активность, чтобы отключить спутники и электрические сети накануне возникновения сверхмощной вспышки и следующей за ней геомагнитной бури. А вот от бури масштаба солнечной вспышки Мияке защититься, вероятно, будет гораздо труднее.

Между тем ученые продолжают находить свидетельства новых экстремальных солнечных вспышек в годичных кольцах древних деревьев и ледяных кернах. «Мы начинаем понимать, что Солнце может быть гораздо более энергичным и активным, чем мы думали, — говорит Томас. — Когда люди изучали такие сверхмощные вспышки на других звездах, все споры сводились к тому, возможно ли подобное на Солнце. Судя по этим историческим свидетельствам, Солнце вполне может попасть в этот список». ■

Перевод: А.П. Кузнецов

ИЗ НАШИХ АРХИВОВ

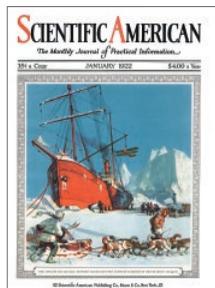
■ Холман Д. Загадка солнечных вспышек // ВМН, № 7, 2006.



ЯНВАРЬ 1972

Расплавленное лунное сияние. Термопары, размещенные в двух шурфах, пробуренных на поверхности Луны астронавтами «Аполлона-15», показывают, что поток тепла наружу примерно в три раза больше, чем ожидалось. Предполагается, что источник тепла — распад радиоактивных элементов, что подтверждает высокий уровень радиоактивности, измеренный ранее в образцах лунного грунта. Загадочный аспект измерений заключается в том, что если бы вся Луна была столь же радиоактивной, как ее поверхностный слой, то все небесное тело, по словам одного из исследователей, «было бы просто расплавленной лужей».

Автомобильный радар. Автомобилист, едущий сквозь густой туман, может задуматься о том, насколько полезен был бы ему радар. Хотя маловероятно, что радар для частных автомобилей будет доступен в ближайшем будущем, многие технические проблемы решены в оригинальной системе, разработанной в Научно-исследовательских лабораториях Малларда для транспортных средств аэропортов. Изображение, проецируемое системой на телевизионный кинескоп в их кабинах, отображает картину, открывающуюся перед водителем.



ЯНВАРЬ 1922

Послевоенный мусорный кризис. Современная система переработки мусора базируется на соображении, что часть его — ценное сырье. Уберите его ценность, и вся система рухнет. Именно это и случилось. Основной материал мусора, поддающийся утилизации, — жир.

До войны этот жир широко использовался производителями мыла и свечей. Но после подписания мирного договора страну наводнили миллионы фунтов масла из Азии и сала из Южной Америки, себестоимость которых настолько мала, что конкуренция невозможна. Все частные заводы по переработке мусора, которые еще не закрылись, вскоре вынуждены будут это сделать, а за ними, должно быть, и муниципальные.

Изобилие асбеста. Недавно были открыты значительные залежи асбестосодержащей породы. Месторождение расположено в серпентиновых породах вдоль Канадской тихоокеанской железной дороги к северу от Арроухеда. Газета *Montreal*

Daily Star недавно объявила, что скоро в Квебеке закончится строительство крупного завода по производству изделий из асбеста. Около 80% асбеста, добытого в Канаде, до настоящего времени экспортируется в США.



ЯНВАРЬ 1872

Бустерные прививки от оспы.

Из всех угрожающих человечеству болезней оспа по праву вызывает больше всего опасений. Обезображивающие шрамы, которыми она покрывает многих из тех, кто избежал смерти, — остающиеся на всю жизнь отметины этого мучительного недуга. Статистические данные говорят о том, что около половины из тех, у кого в результате прививки развилась вакцинальная болезнь, подвержены форме оспы, называемой вариолоидом, которая по характеру течения более или менее приближается к тяжелым формам болезни. Для обеспечения безопасности необходимо ввести практику ревакцинации. В медицинской науке нет более достоверного факта, чем то, что постоянная ревакцинация практически сведет оспу на нет. Если бы у нас был принят закон, обязывающий проходить вакцинацию и ревакцинацию, мы уже скоро забыли бы о губительных последствиях этого страшного бича. Но весьма сомнительно, что такой закон мог быть введен в действие, даже если бы он был принят.

Удаление зубов без боли. Доктор Касл в своей публикации в журнале *Dental Cosmos* отмечает, что в течение 30 лет он вызывал онемение височных нервов для безболезненного удаления зубов из их альвеол, не используя для этого хлороформ, эфир или закись азота. На выбор — один из двух способов. При прикладывании льда к вискам создавалось впечатление, что холод проникает глубоко в голову. Другой способ осуществлялся ассистентом, который средними пальцами с постоянным усилием надавливал на впадины за гребнем височной кости. Надавливание в течение одной минуты — все, что необходимо. Такой метод не вызывал беспокоящих пациента неприятных ощущений. Это часто интуитивно применяется людьми: они сдавливают пальцами виски, чтобы на время избавиться от головной боли. ■



Различные виды парусов отображены на карте Старого Света. Жирные линии — это мачты, бушприты, гафели и т.п. Сплошные стрелки показывают возможное происхождение, а пунктирные указывают на предполагаемое родство (1972).

КОСМО
П



ОС НА ЗЕМЛЕ



Как длительная изоляция может сказаться на психологическом и физическом здоровье человека, если говорить о долгосрочных космических миссиях? Это выясняют в изоляционных экспериментах *SIRIUS*, которые проводят в Институте медико-биологических проблем РАН.



том, как проходят эксперименты, рассказывает научный координатор проекта *SIRIUS*, заместитель главного врача проекта **Стефания Олеговна Федяй**.



— **Стефания Олеговна, в чем суть эксперимента *SIRIUS*? Что пытаются узнать ученые, изолируя людей на длительный срок с имитацией космического полета?**

— Проект *SIRIUS* (*Scientific International Research In Unique terrestrial Station*) помогает изучать адаптационные возможности человеческого организма к условиям изоляции. При этом в изоляцию мы включаем не только ограничение пространства, но и другие факторы: ограниченные ресурсы, строгое расписание, регламентированное общение между экипажем и внешним миром, различные функции в экипаже. Все это тоже факторы изоляции, которые влияют на адаптацию.

Конечно, в наших экспериментах не моделируются такие факторы космического полета, как, например, радиация или невесомость, которые во многом влияют на физиологию. Поэтому большую часть мы посвящаем психологическим исследованиям, хотя есть и микробиологические эксперименты, в которых присутствует медицинская часть. Физиологические исследования связаны, например, с физическими тренировками. Как известно, космонавты на МКС регулярно проходят программу профилактики, в которую включены специальные физические тренировки. У нас в изоляции ученые проверяют новые техники и модели, модернизируют расписание тренировок, чтобы узнать, как изменятся физиологические показатели.

— **Как начиналась история изоляционных экспериментов в целом и проекта *SIRIUS* в частности?**

— Когда люди вышли в космос, стало понятно, что на состояние экипажа влияют физические факторы, которые не сразу были очевидны, а к ним добавляется и психологическая составляющая. Соответственно, ученые начали строить различные модели, и изоляция — не единственная из них, хотя и одна из основных.

Самый известный эксперимент — «Год в земном звездолете». Очень тяжелый, но интересный эксперимент проходил в 1967–1968 гг. именно у нас в институте. Наверное, его уже не удастся повторить. С тех пор увеличивалось пространство орбитальных станций, в соответствии с этим расширялись площади изоляции. В эксперименты начали собирать полноценные экипажи, сегодня в них входят шесть человек.

Первая изоляция проекта *SIRIUS* состоялась в 2017 г., это был непродолжительный двухнедельный эксперимент, который уже имел характерные черты проекта, а именно смешанный экипаж — как по гендерному, так и по национальному признаку.

— **Как сегодня выглядит изоляционный комплекс?**

— Изоляционный комплекс — это несколько модулей, которые формируют абсолютно замкнутое пространство. Никто не заходит к участникам эксперимента за весь период исследований, техническое

оснащение позволяет проводить эксперименты длительностью в год. Комплекс одновременно и похож на орбитальную станцию, и отличается от нее.

В самом большом модуле проходят физические тренировки, там установлены беговые дорожки и велотренажер. В этом модуле располагается также склад со всеми запасами экипажа. Запас ресурсов в проекте *SIRIUS* ограничен, поэтому склад — очень важная часть жизни экипажа.

Следующий модуль — кухня, совмещенная с зоной отдыха. У каждого члена экипажа есть маленькое личное пространство — индивидуальная каюта. В нее помещаются небольшая кровать и тумбочка — все богатство. Тем не менее это место, где есть возможность уединиться от вынужденного общения с членами экипажа.

Есть медицинский модуль с лекарствами и расходными медицинскими материалами. В том числе там установлено научное оборудование.

И есть модуль, который имитирует посадочную капсулу и грузовики. Например, когда экипажу передают дополнительные ресурсы, имитируется их доставка на грузовом корабле. Соответственно, модуль недоступен все время, пока не произойдет «стыковка». В этот момент у экипажа появляется главная задача — разгрузить грузовой корабль, забрать все, что ученые должны им по своим методикам, а потом «отстыковать» этот модуль с мусором, чтобы он условно сгорел в атмосфере.

Есть еще модуль, который имитирует поверхность другой планеты или, в случае нынешнего эксперимента *SIRIUS-21*, поверхность Луны. Этот модуль будет доступен экипажу совсем непродолжительное время, только когда будет проходить имитация высадки. Наверное, это будет максимально разнообразный эпизод в жизни экипажа за весь восьмимесячный период.

За комплексом через камеры непрерывно наблюдают из пункта управления. Там постоянно дежурят четыре человека — врач, лаборант, инженер и техник.

— Космонавты, отправляющиеся на МКС, могут взять минимальный набор личных вещей. Какие ограничения есть в проекте *SIRIUS*?

— Ограничения, которые накладывают на участников экипажа *SIRIUS*, не такие жесткие, как при полете в космос, но они есть. Можно взять около 6 кг личных вещей. Есть ограничения и по весу, и по габаритам, и по составляющей.

Конечно, нельзя брать скоропортящиеся продукты, рекламную продукцию или алкоголь. Все, что можно распылить, тоже остается «за бортом» — весь комплекс оснащен датчиками, которые очень чувствительны к мелкодисперсному распылению, поэтому ограничений достаточно много.

— Как обстоят дела с питанием и водой во время эксперимента? Ведь в космических миссиях эти ресурсы ограничены.

— Вопрос еды через определенное время встает очень остро. Конечно, еда ограничена, можно съесть только определенное количество на завтрак, обед и ужин. При этом вся еда однообразная: в основном это сублимированные продукты, которые нужно разводить водой. По большому счету, рисовая каша с мясом отличается от гречневой названием на этикетке и совсем немного запахом. Еда и питание в тюбиках, это могут быть или супы, или, например, пюре с котлетой.

Стефания Федяй участвовала в эксперименте *SIRIUS-19*, где входила в экипаж как врач-испытатель. Это была четырехмесячная изоляция с марта по июль 2019 г.

Когда такое питание продолжается две недели — это интересный опыт. Но когда это длится много месяцев подряд, приходишь к пониманию, что от еды пропадает психологическое удовлетворение. Конечно, это неприятно, но это одна из областей исследования.

Что касается воды, она в проекте *SIRIUS* не ограничена, но учитывается. То есть мы следим, сколько воды человек тратит в тех или иных условиях, от чего эти траты зависят, при каких факторах снижаются, а при каких увеличиваются.

Единственное жесткое ограничение, связанное с водой, — это прием душа. Несмотря на частые физические тренировки, душ можно принять раз в неделю, причем на него отводится определенное время.

Наши испытатели живут по строгому расписанию. Каждую неделю им высылаются циклограмма — почасовое расписание, которое регламентирует, как будут выглядеть

следующие семь дней твоей жизни: когда ты будешь завтракать, тренироваться, выполнять научную работу, делать ЭКГ и, в конце концов, мыться. Соответственно, просто пойти в душ на час нельзя, потому что через 20 минут у испытуемого может быть запланирована конкретная научная методика, на которой он обязан присутствовать.

— **Насколько высока чистота эксперимента? Ведь люди понимают, что они на Земле и при реальной угрозе жизни и здоровью эксперимент остановят, чего нельзя сделать при реальном полете в космос...**

— Конечно, проект не предусматривает никаких факторов, угрожающих жизни и здоровью. Испытуемые знают, что сами могут в любой момент прервать эксперимент по собственному желанию, без объяснения причин, чего нельзя представить в настоящем космическом полете.



Тренировки и эксперименты в изоляционном комплексе.
Источник: фото предоставлено О.В. Волошиным, ИМБП РАН.

Мы не можем уйти от этих нюансов, все-таки это эксперимент с участием людей и данный фактор нужно учитывать. Но и такие исследования дают результаты — и потому они настолько популярны. Ведь SIRIUS — не единственное исследование, связанное с изоляцией.

— **Космонавты проводят на МКС по несколько месяцев. Это достаточно долгая изоляция, причем в реальных космических условиях. Зачем проводить такие эксперименты на Земле, если есть настоящие объекты для исследований?**

— Конечно, космонавты — это объекты для исследований, но есть нюанс. Мы отправляем одного-трех космонавтов в год, и желающих с ними поработать действительно много. При этом время космонавтов стоит очень дорого: они обслуживают станцию, выполняют конкретные технические задачи, занимаются научными исследованиями. Работа непосредственно с космонавтами, эксперименты с их участием, конечно, очень интересны и результативны. Практически каждая лаборатория ИМБП РАН работает с проектами, которые подразумевают участие космонавтов.

Но этого совершенно недостаточно, чтобы добиться необходимых результатов и собрать хотя бы минимальную статистику. Чтобы подготовить космический эксперимент, нужно несколько лет на подготовку и проверку оборудования. Например, в изоляционных экспериментах мы еще и проверяем оборудование для перспективных космических исследований.

— **Какую информацию о влиянии изоляции на организм удалось получить за то время, что проходят изоляционные эксперименты?**

— Конечно, изоляция очень по-разному сказывается на людях, и эффект складывается из массы составляющих. Например, если это изоляция с методами профилактики, где люди регулярно занимаются спортом, — это одни результаты. Если мы отправим экипаж без профилактических занятий, будет абсолютно другое влияние на физиологические параметры.

В психологической области исследований многое зависит от сформированного экипажа и внутреннего взаимодействия его членов. Мы видим несколько типов конфликтов, которые могут возникнуть.

Например, возможны конфликты и бесконечные попытки притереться друг к другу. Экипаж может и выступать как единое целое против наземных служб, например



*Наблюдение за экспериментом из пункта управления.
Источник: фото предоставлено О.В. Волошиным, ИМБП РАН.*

против дежурных. Наземные службы тоже могут вступать в конфликт или с экипажем в целом, или с кем-то конкретным из участников эксперимента. И те и другие конфликты считаются нормой, если не ставят под угрозу выполнение научной программы. Если показатели здоровья в норме, а работа продолжается, значит конфликт нужен людям, чтобы снять напряжение.

Изоляционные эксперименты помогают выявить мотивы, стимулы и последствия подобных конфликтов. Уже есть известные опубликованные результаты. Например, считается, что экипаж адаптировался и его члены начали неплохо взаимодействовать, если вместо внутренних конфликтов они объединяются и выбирают врага «снаружи», например кого-то из пункта управления или всех вместе. С точки зрения психологии это неплохой выход. То есть экипаж нашел возможность снять напряжение, сохраняя при этом внутренние взаимоотношения: в их системе ценностей отношения между ними становятся важнее, чем с учеными.

— Это могут быть реальные ситуации, возникающие в космических полетах?

— Да, в институте рассказывают подобные истории. Конкретные космические миссии и проекты не называют,

но возникали ситуации, когда в экипаже появлялось серьезное напряжение. В таком случае кто-то из ЦУП брал на себя ответственность, давал экипажу абсолютно бессмысленное задание и обвинял космонавтов в том, что они с ним не справляются. Появлялся внешний враг, против которого экипаж объединялся. Когда напряжение спадало, внешний враг тоже исчезал.

— Что нового ученые узнали именно при работе с проектом SIRIUS?

— SIRIUS дает нам первые, очень важные результаты в исследованиях взаимодействия гендерно смешанного экипажа. До этого проекта мужчины и женщины нигде не участвовали в равном соотношении, это новый опыт и для психологов, и для физиологов, хотя, разумеется, составляющая пола влияет не на все сферы.

Одно из исследований касается повседневной двигательной активности экипажа — это бытовая активность, которая не связана с тренировками. Выяснилось, что группой с самой низкой активностью стали мужчины. Конечно, у нас еще не так много данных для полноценной статистики, но мы продолжим эти исследования, в частности в эксперименте, который происходит сейчас.

Отдельные исследования касались изменения двигательной активности на протяжении всего периода изоляции. Сейчас у нас есть результаты по 17 суткам и четырем месяцам. При изоляции на 17 суток двигательная активность держится на достаточно высоком уровне у всех испытуемых: небольшие колебания связаны с личной экспериментальной программой каждого. За 17 суток экипаж еще не успевает полностью адаптироваться к условиям изоляции, идет гонка за выполнением научных экспериментов. Все это влияет на уровень активности.

В четырехмесячном эксперименте подобную картину мы наблюдали только во время относительно недолгого адаптационного периода. Затем двигательная активность у всех пошла на спад. Интересно, что те, у кого в начале эксперимента активность была крайне высокая, начиная со второго месяца очень резко ее сократили. Видно, насколько сильно изменилось поведение человека внутри объекта всего за месяц. Те, кто начинал эксперимент спокойнее, снижали активность более плавно, они адаптировались гармоничнее.

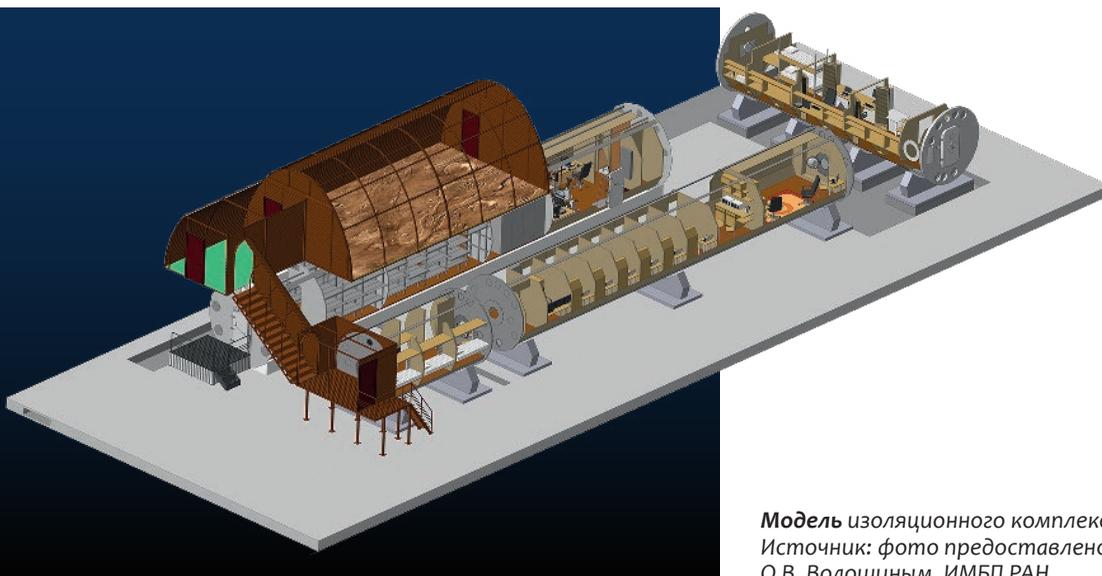
Тем не менее обе группы людей в итоге значительно сокращают двигательную активность, и даже к четвертому месяцу изоляции эти показатели не вышли на плато. То есть они будут падать, и пока нам неизвестно, когда уменьшение активности выровняется. Эти наблюдения проводили во время четырехмесячного изоляционного эксперимента *SIRIUS-19*. Они касались только шести человек, и этого недостаточно для полноценной статистики.

В восьмимесячном эксперименте, который проходит сейчас, мы собираем данные, чтобы понять, в частности, как снижение двигательной активности может повлиять на системы профилактики.

Интересные результаты были получены в области изучения сна. Есть данные, что во время краткосрочных изоляций качество сна испытуемых сильно ухудшается. Во многом это связано с тем, что испытуемые не успевают освоить всю научную программу за день, доделывают ее вечером и ночью, в итоге количество времени сна снижается.

В четырехмесячной изоляции экипаж уходил спать строго по расписанию, значимого ухудшения сна не было зарегистрировано на протяжении всего эксперимента. Хотя, например, в исследовании «Марс-500» была заметна инверсия — снижалось качество ночного сна, но проявлялся продолжительный дневной сон. Тогда циклы сна и бодрствования сместились на совершенно другое время. Отсутствие подобной инверсии в четырехмесячном эксперименте мы объясняем введением определенной системы профилактики подобных нарушений. Это специальное освещение, которое имитирует световой день, а также новые спальные места, поскольку от того, на чем ты спишь, сильно зависит качество сна.

Исходя из результатов исследований, которые, в частности, касаются двигательной активности и сна, мы меняем распорядок, корректируем циклограммы. Во многом это индивидуальный подход, но, думаю, скоро выработаем систему



Модель изоляционного комплекса *SIRIUS*.
 Источник: фото предоставлено
 О.В. Волошиным, ИМБП РАН.

и выясним, в какое время испы­татели лучше работают с науч­ными программами.

Видно, что в первые четыре не­дели изоляции идет серьезная адаптация к новой среде. В этот период даже выполнение из­вестных научных методик, при­вычных действий на знакомом оборудовании может занимать вдвое или втрое больше време­ни. Все это необходимо учиты­вать в циклограмме.

— **Какие негативные сто­роны изоляции выражаются наиболее ярко у всех участни­ков эксперимента, независимо от пола, возраста и роли в эки­паже?**

— У меня нет доступа ко всем исследовательским данным, на­верняка каждый ученый может внести в этот список что-то свое. Могу ответить на основе личного опыта, как участник эксперимента.

Абсолютно точно на всех сказывается не­достаток движения. В изоляции все пыта­лись дополнительно заниматься спортом: зарядкой, йогой, растяжкой. Каждый пы­тался дать себе дополнительную нагрузку. Кстати, по правилам нынешнего экспери­мента исследователям нельзя этим зани­маться, они должны довольствоваться той программой, которую для них разработа­ли ученые.

Очень сильно чувствовался недостаток ресурсов. Постоянно нужно считать одеж­ду, еду или гигиенические принадлежно­сти: все это заканчивается, а очередная по­ставка может быть только через месяц или два. Об однообразии еды я уже говорила.

И, конечно, сказывается ограничение контактов для общения. Есть только пять человек, с которыми ты находишься в экс­перименте, и прямого общения нет больше ни с кем.

Это неприятные факторы, связанные с изоляцией, но необходимо их понимать, чтобы сформировать теоретические моде­ли и использовать при подготовке дальней­ших космических миссий.

— **Нынешний эксперимент начался в ноябре 2021 г. и рассчитан на восемь месяцев. Будущее исследование в рам­ках проекта SIRIUS по прогнозам прод­лится год. Что ученые хотят узнать за год по сравнению с восьмимесячным экспериментом?**



Предстартовые эксперименты в изоляционном комплексе SIRIUS. Источник: фото предоставлено О.В. Волошиным, ИМБП РАН.

— Полноценно ответить на этот вопрос получится только после того, как мы пой­мем, что узнали за восемь месяцев. В конце концов, именно это отличает наши экс­перименты с увеличивающимся сроком изо­ляции.

В годовом эксперименте мы планируем еще жестче регламентировать дефицит ре­сурсов, возможно, появится даже ограни­чение воды. Пока это обсуждается и окон­чательное решение не принято. Будет более жестко ограничен подход к поставкам про­дуктов.

Важный аспект — психологическая под­держка. Мы организовали ее в восьмиме­сячном эксперименте с отдельными ню­ансами. Например, есть задержка связи и службе психологической поддержки при­ходится работать в условиях, когда нет пря­мого общения с испытуемым. Нужно ду­мать, как в такой ситуации организовать полноценную психологическую помощь.

Мы планируем получить и более развер­нутые данные по сумме двигательной ак­тивности.

Эксперименты, которые проходят сейчас, в восьмимесячной изоляции, дадут свои ре­зультаты, и мы будем ставить новые зада­чи после их оценки. Например, с учетом ин­формации, полученной в четырехмесячном эксперименте, мы изучаем разницу между индивидуальными особенностями испыта­телей и непосредственно факторами изоля­ции, которые на них влияют. ■

Беседовал Александр Бурмистров



ДЕСЯТКА ЛУЧШИХ ТЕХНОЛОГИЙ 2021 ГОДА

**Важнейшие инновации и технологии прошедшего
года в ключевых сферах жизнедеятельности
и отраслях промышленности**



Задумайтесь о задачах планетарного масштаба, стоящих перед человечеством: контроль над изменением климата, снижение энергопотребления, производство продуктов питания в необходимых объемах, поддержание здоровья, улучшение качества жизни... Многие из этих задач тесно связаны друг с другом, что позволяет искать и находить объединяющие решения. Неудивительно, что ООН называет вопросы партнерства своей 17-й целью в области устойчивого развития.

В этом, десятом по счету, выпуске «Десятки лучших технологий», составленном журналом *Scientific American* и ВЭФ (Всемирным экономическим форумом), центральной темой становится взаимосвязь технологий.

Принятие правительствами различных стран обязательств по декарбонизации и переход к низкоуглеродной экономике влекут за собой новые требования, предъявляемые к транспорту, промышленным процессам, жилой и коммерческой инфраструктуре, с целью снижения уровня вредных выбросов. Две такие технологии — производство «зеленого» аммиака и искусственных самоудобряющихся культур — увеличат эффективность в области сельского хозяйства.

В отдельных регионах появилась возможность добиться снижения энергопотребления за счет введения технологий 3D-печати жилых зданий с использованием местных доступных материалов.

Одной из главных тем прошедшего года по-прежнему остаются здоровье и профилактика заболеваний. Поэтому в десятку лучших технологий вошли такие разработки, как датчики дыхания, способные выявлять COVID-19, а также специальные биомаркеры, упрощающие диагностику и лечение хронических болезней. Новые исследования в области геномики дадут возможность создавать и поддерживать более длительные «периоды здоровья», а производство индивидуальных «лекарств по запросу» поможет решить многие актуальные сегодня проблемы, связанные с масштабным массовым производством лекарственных препаратов.

Объединение различных вычислительных устройств, встроенных в повседневные объекты, в единую сеть, подключение их к интернету, постоянно растущее количество этих объектов, разработка систем орбитальных наноспутников — одним словом, наше будущее еще никогда не выглядело таким взаимосвязанным.

Мариэтт Ди Кристина и Бернارد Мейерсон



ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА

ПЕРСПЕКТИВЫ ДЕКАРБОНИЗАЦИИ

Расширение мер по борьбе с изменением климата приведет к созданию новых технологий

Бернард Мейерсон

Больше 100 лет прошло с тех пор, как впервые было доказано, что углекислый газ может удерживать тепло в атмосфере, а понятие «изменение климата» вошло в обиход не одно десятилетие назад. Сегодня многие страны и отдельные отрасли промышленности берут на себя все новые обязательства по сокращению своего углеродного следа. В 2021 г. США, занимающие второе место в рейтинге стран с наибольшим объемом выбросов углекислого газа в атмосферу, обязались к 2030 г. уменьшить вдвое объем его производства по сравнению с уровнем 2005 г. Великобритания объявила о своей цели: к этому же времени сократить производство на 68% по сравнению с уровнем 1990 г. Парламент Евросоюза недавно принял закон, требующий повсеместного снижения выбросов диоксида углерода минимум на 55% к 2030 г. по сравнению с уровнем 1990 г. Хотя такие отрасли, как нефтяная и авиационная, более устойчивы к изменениям, скорость, с которой компании присоединяются к инициативе «Научно обоснованные цели» (*Science-Based Targets*), которая помогает им сокращать выбросы в соответствии с Парижским соглашением, с 2015 г. увеличилась вдвое. *General Motors*, *Volkswagen* и другие крупные производители автомобилей в прошлом году поставили перед собой амбициозные цели по декарбонизации.

Возрастающие темпы принятия новых обязательств, а также выявление связанных с этим проблем служат явным индикатором признания процесса декарбонизации во всем мире. В ближайшие три-пять лет этот процесс неизбежно повлечет за собой создание новых технологий, призванных продемонстрировать способность компаний и целых отраслей работать на больших масштабах и в условиях более жестких ограничений. Существующие технологии будут подвергаться анализу и претерпевать изменения во все возрастающих темпах. Выявляемые в процессе технологические пробелы потребуют создания и внедрения новых устойчивых инноваций.



Сегодня, несмотря на очевидный первоначальный успех компании *Tesla* в стимулировании потребительского интереса, доля частных и коммерческих автопарков во всем мире, способных похвастаться нулевыми выбросами в атмосферу, составляет менее 2%. Между тем для массовых перевозок как по железной дороге, так и по морю уже разработаны технологические решения с низким уровнем эмиссии диоксида углерода. Тем не менее многие из них, такие как *Coradia iLint*, — первый в мире пассажирский поезд, работающий на водородных топливных элементах, производимый компанией *Alstom*, — еще не получили широкого применения. Если учитывать то, что подобные инновационные программы требуют значительных капиталовложений, препятствия имеют не только технический, но и политический характер.

В США около 13% от общего объема выбросов CO_2 приходится на технологии, используемые для отопления и приготовления пищи в жилых и коммерческих зданиях. Снижение этого значения в Америке и других странах приведет к требованиям нулевого выброса в рамках сегмента HVAC (англ. *Heating, Ventilation, and Air Conditioning*, «Отопление, вентиляция и кондиционирование») и повсеместному распространению пассивных солнечных экологических систем. Важно также организовать переход к использованию натуральных и инновационных строительных материалов, таких как возобновляемая древесина и цемент с низким уровнем выбросов CO_2 .

При достаточном количестве возобновляемых источников энергии необходимо превратить их в инструмент, способствующий снижению вредных выбросов при повсеместном использовании источников парниковых газов. Один из примеров — «зеленый» водород. В рамках производства, не использующего топлива на основе углерода, водород может не только сам по себе стать экологически чистым топливом, но и послужить химической промышленности в качестве основного компонента с нулевым углеродным следом. Аналогично, если компьютерные

центры обработки данных (которым часто требуются мегаватты электроэнергии) расположены в непосредственной близости к возобновляемым источникам энергии, их собственный углеродный след резко сокращается.

Для достижения целей, объявленных странами и различными отраслями промышленности в области производства электроэнергии, требуется радикальное расширение фотоэлектрических, ветряных, гидроэлектрических, приливных, ядерных и других технологий с нулевым уровнем вредных выбросов. Однако на пути к этой цели встает ряд серьезных препятствий.

Надежные, эффективные и доступные по цене хранилища энергии в промышленных масштабах находятся в стадии разработки. Безопасные и доступные по цене технологии, использующие безуглеродную ядерную энергию, основанную на расщеплении (включая технологию уничтожения отходов), пока отсутствуют. Кроме того, существующая выработка электроэнергии на ископаемом топливе требует немедленного внедрения большого количества технологий по улавливанию и повторному безопасному использованию диоксида углерода.

В сельскохозяйственном секторе заменители белка, производимые такими крупными компаниями, как *Impossible Foods* и *Beyond Meat*, должны будут занять гораздо большую долю рынка. Это позволит снизить невероятно высокие уровни углекислого газа и метана, образующихся в процессе животноводства. Данные множества датчиков, включенных в единую систему (так называемый интернет вещей), в скором будущем позволят с большой эффективностью осуществлять управление земельными ресурсами и урожаями, использование удобрений и воды, организацию всего сельскохозяйственного процесса в целом — при обязательном условии сокращения выбросов CO_2 .

Помимо огромного количества технологических проблем, мешающих быстрой декарбонизации, странам придется разработать методы глобального управления и обеспечения энергетического равенства. Государства, находящиеся на различных стадиях формирования рыночной экономики, неспособны достичь идентичных результатов по сокращению выбросов диоксида углерода. Каждой стране необходимо также продумать план по выделению земли для расширения инфраструктуры возобновляемых источников энергии. С целью обеспечения соблюдения международных договоренностей правительствам потребуется также глобальная инфраструктура мониторинга окружающей среды, аналогичная протоколам Международного агентства по атомной энергии. ■

СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО



САМОУДОБРЯЮЩИЕСЯ КУЛЬТУРЫ

Зерновые культуры равняются на бобовые

Вилфрид Вебер и Карло Ратти

Численность населения нашей планеты все время возрастает, и вопрос обеспечения продовольствием во многом зависит от использования азотсодержащих промышленных удобрений. По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН, для поддержания мирового растениеводства ежегодно требуется около 110 млн т азота. Азотные удобрения обычно производят путем преобразования азота в аммиак, форму азота, которая может усваиваться растениями. По некоторым оценкам, с одной стороны, этот процесс обеспечивает примерно 50% мирового производства продуктов питания, а с другой — составляет 1% общемировых потребностей в первичной энергии. Однако по энергозатратам на него приходится 1–2% глобальных выбросов углекислого газа. Кроме того, промышленные удобрения слишком дороги для мелких фермеров во многих странах, что приводит к значительному снижению урожайности и увеличению нагрузки на землю.

Ученые, занимающиеся этим вопросом, обратили внимание на естественные способы образования азотных удобрений в природе. В то время как основные пищевые культуры, такие как кукуруза и другие зерновые, зависят от неорганического азота из почвы, бобовые растения, такие как соя, фасоль или горох, сохранили «умный» способ производить собственные удобрения. Корни бобовых

растений взаимодействуют с почвенными бактериями, что приводит к симбиотической азотфиксации и образованию у растений специальных органов, называемых клубеньками. Клетки корня растения превращают сахар в органические кислоты, которые затем поставляются бактериям. А растение со своей стороны извлекает выгоду из способности бактерий связывать азот, то есть превращать атмосферный азот в аммиак. Таким образом, благодаря естественному и древнему симбиозу с почвенными бактериями бобовые культуры не зависят от современных азотных удобрений.

Исследования показали, что процесс формирования клубеньков — фабрик по производству натуральных удобрений — включает образование тесной молекулярной связи между почвенными бактериями и корнями бобовых растений. Эти знания вдохновили ученых на поиски новых механизмов фиксации азота небобовыми растениями. Например, биологи пытаются «уговорить» корни злаков вступить в симбиотическое взаимодействие с азотфиксирующими бактериями. Исследователи имитируют молекулярную связь между бобовыми и бактериями и управляют процессом колонизации бактериями корней растений. В альтернативном подходе рассматривается другой тип почвенных бактерий, которые естественным образом ко-

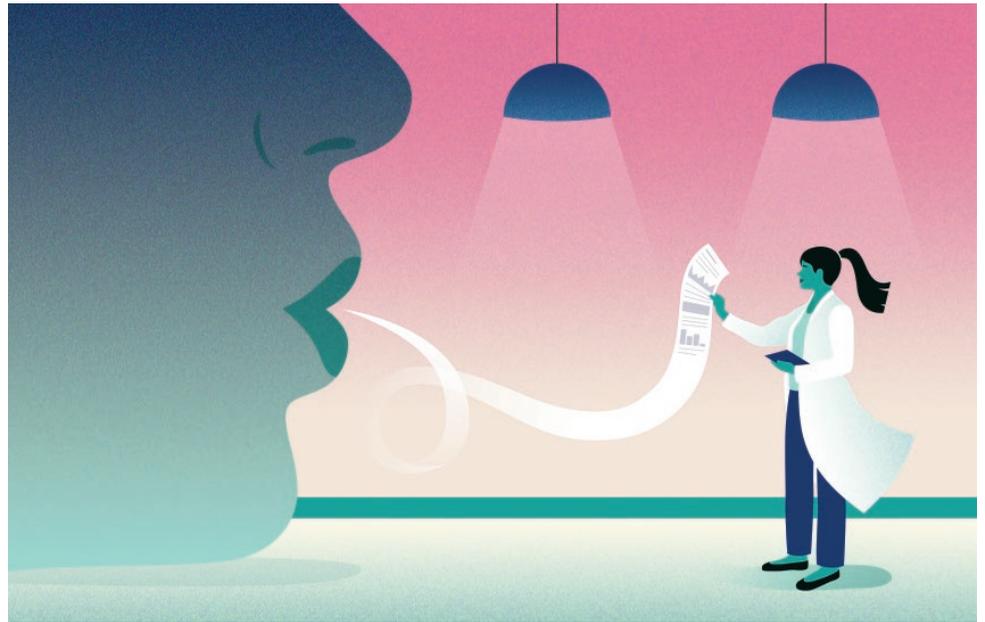
лонизируют корни злаков, но не могут связывать азот. Ученые пытаются заставить эти бактерии вырабатывать нитрогеназу, ключевой фермент, превращающий азот из воздуха в совместимый с растениями аммиак.

Недавно правительства и частные фонды обратили свое внимание на эти исследования и оказали поддержку разработкам в области инженерной фиксации азота. Велика вероятность того, что культуры, использующие силу естественного симбиоза, вскоре могут стать ключевым элементом в более надежных и эффективных технологиях производства продуктов питания. ■





БИОХИМИЯ



ДАТЧИКИ ДЫХАНИЯ ДИАГНОСТИРУЮТ ЗАБОЛЕВАНИЯ

Подышать — это намного быстрее и проще, чем сдать кровь

Даниэль Уртадо и Рона Чандравати

Когда полицейские подозревают, что автомобилист находится в состоянии алкогольного опьянения, они могут использовать алкотестер — портативное устройство, измеряющее уровень алкоголя в крови. Можно ли сделать то же самое для диагностики заболеваний?

Короткий ответ — да. Человеческое дыхание содержит более 800 соединений, и недавние открытия показали сильную корреляцию между определенными их концентрациями и различными болезненными состояниями. Например, дыхание со значительно повышенной концентрацией ацетона — убедительный признак сахарного диабета; более высокая концентрация оксида азота в выдыхаемом воздухе может быть связана с воспаленными клетками и, следовательно, может использоваться в качестве биомаркера респираторных заболеваний; большее количество альдегидов тесно связано с раком легких.

Когда человек дышит в специальный прибор, то воздух попадает на датчик, который обычно устроен по принципу измерения электрического сопротивления металлооксидных полупроводников. В течение нескольких минут программный анализ создает профиль присутствующих в выдыхаемом воздухе соединений.

Помимо того что получение результата происходит намного быстрее, чем при анализе крови, датчики дыхания могут упростить медицинскую диагностику, предоставляя неинвазивный способ сбора критически важных данных о состоянии здоровья. В странах с низким уровнем доходов и ограниченными медицинскими ресурсами простота использования, мобильность и экономическая эффектив-

ность таких приборов открывают новые возможности для оказания медицинской помощи. Подобные устройства могут также помочь снизить темпы распространения вируса — аналогично проверке температуры перед входом в супермаркет или рестораны.

В марте 2020 г. Хоссам Хайк (Hossam Haick) и его коллеги из Техниона (Израильского технологического института) завершили клиническое исследование в китайском городе Ухане на предмет обнаружения вируса COVID-19 в выдыхаемом воздухе. Точность тестируемых датчиков достигла 95%, а чувствительность при определении, заражен человек вирусом или нет, — 100%. В 2021 г. Министерство здравоохранения и социальных служб США выделило \$3,8 млн на перепрофилирование «электронного носа» NASA (прибора, который использует систему наносенсоров для автономного сканирования воздуха на Международной космической станции на предмет потенциально опасных химикатов) для обнаружения вируса COVID-19.

Прежде чем технология датчиков дыхания получит широкое распространение, нужно решить несколько серьезных проблем. Во-первых, необходимо повысить точность обнаружения туберкулеза и рака. Во-вторых, различные соединения в образце выдыхаемого воздуха могут искажать результаты тестов, создавая ложноположительные результаты. Алгоритмы, которые анализируют данные датчиков, также должны быть улучшены для достижения большей точности. Наконец, необходимы дополнительные инвестиции в клинические испытания, чтобы проверить эту технологию на большем количестве людей. ■

ТЕХНОЛОГИИ



ПРОИЗВОДСТВО ЛЕКАРСТВ ПО ЗАПРОСУ

Создание фармацевтических препаратов там и тогда, когда они необходимы

Элизабет О'Дэй и Мине Орлу

Представьте себе, что вы пришли в местную аптеку, а фармацевт, вместо того чтобы снять с полки и предложить вам готовое лекарство, приготовил бы препарат, дозировка и состав которого были бы подобраны специально для вас. Последние достижения в области микрофлюидики и технологии производства лекарств по запросу готовы претворить эту идею в жизнь.

Производство лекарственных препаратов большими партиями — это многоэтапный процесс, даже в рамках одной компании, традиционно распределенный между различными городами или даже странами. В массовом производстве задействуются сотни тонн различных материалов, что неизбежно создает проблемы в обеспечении согласованности действий, необходимой для качественных и надежных поставок. На создание лекарств, их комплектование и доставку в магазины может уходить несколько месяцев.

Технология производства лекарств по запросу, также известная как непрерывное фармацевтическое производство, напротив, позволяет производить необходимые препараты за один этап. Их создание происходит путем подачи ингредиентов по трубкам в серию небольших реакционных камер. Такое одноэтапное производство может оказаться незаменимым в удаленных местах или в полевых госпиталях. Кроме того, в этом случае для хранения и транспортировки лекарств требуется меньше ресурсов и дозы могут быть адаптированы к индивидуальным особенностям пациентов.

В 2016 г. исследователи Массачусетского технологического института, работающие с Управлением перспективных исследовательских проектов Министерства обороны США (DARPA), впервые продемонстрировали возможность производства лекарств по запросу. Они создали машину размером с холодильник, способную производить четыре распространенных препарата: дифенгидрамин (аналог димедрола), который применяют для облегчения симптомов аллергии; диазепам, использующийся для лечения беспокойства и мышечных спазмов; антидепрессант флуоксетин

и местный анестетик — лидокаин. При помощи этой машины за 24 часа они произвели 1 тыс. доз каждого лекарства.

Компания *On Demand Pharmaceuticals* в настоящий момент коммерциализирует оригинальную разработку Массачусетского технологического института. Работа ведется с несколькими доступными или находящимися в разработке платформами: это «Американские прекурсоры по запросу» (*American Made Precursors on Demand, AMPoD*) — организация, специализирующаяся на производстве лекарственного препарата полного цикла; *Bio-Mod* — компания, производящая биопрепараты; *IV Medicines on Demand*, где создаются стерильные инъекционные препараты. Ряд крупных фармацевтических компаний, в том числе *Eli Lilly*, *Johnson & Johnson*, *Novartis*, *Pfizer* и *Vertex Pharmaceuticals*, также используют технологию непрерывного производства, по крайней мере на отдельных этапах своих технологических процессов.

В настоящее время портативные машины для производства лекарств по запросу стоят миллионы долларов, что препятствует их широкому распространению. В будущем потребуются также новые методы обеспечения и контроля качества, чтобы регулировать как персонализацию формул, так и отдельные партии лекарств. По мере снижения стоимости и развития нормативно-правовой базы производство лекарств по запросу может произвести революцию в том, где, когда и как создаются препараты. ■





ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

ЭНЕРГИЯ БЕСПРОВОДНЫХ СИГНАЛОВ

5G будет способствовать развитию интернета вещей

Джозеф Костантин

Беспроводные устройства, образующие единую сеть, — так называемый интернет вещей (англ. *Internet of Things*, *IoT*), — основа нашего ближайшего технологического будущего. Это могут быть любые устройства: домашние гаджеты, специальные биомедицинские аппараты, датчики, предупреждающие об опасности загрязнения или отравления, и т.д. Использование интернета вещей со временем даст нам более эффективную организацию работ в сельском хозяйстве, при которой, например, используется меньше воды и пестицидов; более энергоэффективные интеллектуальные сети; системы датчиков, отслеживающих дефекты сооружений, мостов и бетонной инфраструктуры; датчики раннего предупреждения о стихийных бедствиях, таких как оползни и землетрясения.

По некоторым оценкам, к 2025 г. к единой сети будет подключено около 40 млрд устройств интернета вещей, поэтому естественным образом встает вопрос об эффективных способах их подзарядки. Одно из перспективных решений данной проблемы использует беспроводные сигналы, исходящие от маршрутизаторов *Wi-Fi*. Речь идет о разрабатываемом в настоящее время пятом поколении сотовых технологий *5G*. Федеральная комиссия по связи впервые разрешает сотовым сигналам переходить в более высокий (но все еще безопасный для человека) миллиметровый диапазон электромагнитного спектра. Наряду с более высокой скоростью передачи данных беспроводные сигналы *5G* способны передавать большее количество энергии, чем

4G. Это дает возможность дистанционно заряжать большое количество беспроводных устройств с низким энергопотреблением.

Каким образом устройства могут получать энергию от беспроводных сигналов? *Wi-Fi* и *5G* — это электромагнитные волны, которые распространяются на частотах в широком спектре, в диапазоне между *FM*-радио, микро- и миллиметровыми волнами. На первом этапе процесса используется приемная антенна, которая улавливает энергию, переносимую беспроводным сигналом. Антенна направляет энергию в схему электронного выпрямителя, которая, в свою очередь, использует полупроводники для преобразования ее в напряжение постоянного тока, способное заряжать или питать устройство. Устройство, состоящее из антенны и выпрямителя (или преобразователя), называется ректенна. Схема управления питанием следует за выпрямительной антенной, усиливая напряжение и потребляя при этом незначительную мощность.

Многие компании сейчас оснащают свои продукты беспроводной зарядкой, основанной на специальных беспроводных передатчиках. Исследования показывают, что с высокой степенью вероятности такие устройства смогут аккумулировать сигналы *Wi-Fi* и *5G* в ближайшем будущем. Подобно тому как сотовые аппараты освободили нас от стационарных телефонов и изменили наши коммуникационные возможности, эта новая технология подарит нам еще больше свободы. ■



ГЕНОМИКА



ТЕХНОЛОГИЯ СТАРЕНИЯ

Не только «продолжительность жизни», но и «продолжительность здоровья»

Вилфрид Вебер и Мурали Дорайсвами

По данным Всемирной организации здравоохранения, с 2015 по 2050 г. доля мирового населения старше 60 лет почти удвоится с 12 до 22% — серьезный вызов для здравоохранения и социальных систем. Старение связано с хроническими заболеваниями, такими как деменция, рак, диабет II типа и атеросклероз. Желание обратить процесс старения вспять или найти «источник молодости» старо как человечество. Но лишь сейчас мы начинаем понимать молекулярные механизмы старения, которые могут помочь нам вести не только более долгую, но и более здоровую жизнь.

Благодаря появлению и совершенствованию так называемых омиксных технологий (с их помощью можно одновременно определять различные количественные характеристики, например активность всех генов или концентрацию всех белков и метаболитов в клетке) в сочетании с данными эпигенетики механизмы старения человека становятся все более понятными. Например, комбинации конкретных эпигенетических меток (отклонений, изменяющих активность генов вследствие поведения и окружающей среды) или метаболических соединений могут служить идентификаторами биологического возраста организма.

Такие метки служат также надежными предсказателями заболеваний у пожилых людей и индикаторами сопутствующего риска смерти. Успехи в секвенировании генетической информации отдельных клеток в организме показали, что количество мутаций увеличивается с возрастом. Восстановление организма после подобных мутаций может оставлять связанные со старением следы на ДНК, то есть образовывать другой тип маркеров. Повреждение

ДНК связано и со старением обычных клеток (вследствие чего они больше не могут делиться) или истощением стволовых клеток, ключевых для обновления тканей.

Последние исследования проливают свет на механизмы старения и позволяют разрабатывать целевые методы лечения. Например, одно недавнее клиническое исследование показало, что годичный прием фармацевтического коктейля, включающего гормон роста человека, способен перевести биологические часы на полтора года назад. Аналогично успешные опыты на грызунах продемонстрировали, что генная терапия, нацеленная на три гена, связанные с долголетием, способна на какое-то время обратить вспять старение организма. Кроме того, в крови молодых людей были найдены белки, которые при введении старым грызунам улучшают маркеры возрастной дисфункции мозга. Результат предполагает терапевтический потенциал для обращения вспять когнитивных нарушений в организме, связанных со старением.

Вдохновленные новым пониманием процесса старения на молекулярном уровне и воодушевленные первыми многообещающими результатами клинических испытаний, более 100 компаний активно разрабатывают фармацевтические и генно-инженерные подходы для анализа и конструирования продолжительности здоровья и жизни. Большинство компаний находятся на стадии доклинических или ранних клинических испытаний. Эти научно-исследовательские работы, подкрепленные высокими ожиданиями инвесторов, вселяют в нас надежды на более здоровую старость. ■

ХИМИЯ



«ЗЕЛЕНЫЙ» АММИАК

Снижение выбросов CO_2 при производстве удобрений

Хавьер Гарсиа Мартинес и Сара Фосетт

Процесс Габера — Боша, возможно, одно из самых важных изобретений XX в., о котором многие никогда не слышали, позволяет проводить синтез аммиака в промышленных масштабах. Полученный таким способом аммиак используется для производства удобрений, которые в свою очередь обеспечивают 50% мирового производства продуктов питания. Аммиак становится ключом к продовольственной безопасности во всем мире. Однако синтез аммиака — это энергоемкий химический процесс, требующий катализатора для связывания азота с водородом.

В отличие от азота, составляющего большую часть воздуха, которым мы дышим, водород должен производиться синтетическим путем, и в настоящее время это производство связано с использованием ископаемого топлива. Природный газ, уголь или нефть подвергаются воздействию пара при высоких температурах, в результате чего получают водород. Проблематично то, что в результате этого процесса образуется огромное количество двуокиси углерода, что составляет от 1% до 2% от общих глобальных выбросов в атмосферу.

Решением данной проблемы может стать так называемый «зеленый» водород, производимый путем расщепления

воды с использованием возобновляемых источников энергии. Помимо устранения выбросов CO_2 , этот процесс дает значительно более чистый конечный результат. Полученный таким образом водород не содержит химикатов, образующихся вследствие использования ископаемого топлива, таких как соединения, содержащие серу и мышьяк. Они могут «отравить» катализатор, тем самым снижая эффективность реакции.

Пример химически более чистого водорода показывает, что аналогичным образом могут быть разработаны и более совершенные катализаторы. Больше не нужно мириться с ядовитыми химическими веществами из ископаемого топлива. Фактически такие компании, как датская *Haldor Topsoe*, уже объявили о разработке новых катализаторов из полностью возобновляемых источников для производства «зеленого» аммиака.

Значительное расширение планов по производству экологически чистого аммиака привело к плодотворному сотрудничеству испанского производителя удобрений *Fertiberia* с энергетической компанией *Iberdrola* — начиная с пилотной установки мощностью 20 МВт, введенной в эксплуатацию в 2021 г., и до создания установок мощностью 800 МВт по производству электролитического водорода на солнечных батареях к 2027 г. Инвестиции оцениваются в €1,8 млрд. Как ожидается, этот проект создаст 4 тыс. рабочих мест и снизит выбросы углекислого газа на 400 тыс. т в год, что эквивалентно выхлопам около 60 тыс. автомобилей.

Основным препятствием становится высокая стоимость «зеленого» водорода. Чтобы помочь решить эту проблему, 30 ключевых европейских игроков в сфере энергетики запустили проект *HyDeal Ambition*, направленный на поставку «зеленого» водорода по цене €1,5 за килограмм до 2030 г. за счет внедрения инноваций в производстве, хранении и транспортировке водорода. В случае успеха подобные усилия могут открыть целый ряд новых применений для «зеленого» аммиака, включая его способность разлагаться обратно в водород, что позволит создать эффективный «зеленый» водородно-аммиачный круг. ■

БИОИНФОРМАТИКА



БЕСПРОВОДНЫЕ ДАТЧИКИ БИОЛОГИЧЕСКИХ МАРКЕРОВ

Непрерывный неинвазивный мониторинг хронических заболеваний

Джозеф Костантин

Никто не любит иглы. Но мониторинг хронических заболеваний, таких как диабет и рак, требует частого анализа крови для выявления и отслеживания определенных биологических маркеров. В настоящее время более 100 компаний разрабатывают беспроводные портативные и переносные датчики, которые в ближайшем будущем позволят осуществлять непрерывное отслеживание этих биомаркеров.

Существуют различные подходы для обнаружения биомаркеров в поте, слезах, моче или крови. Чтобы заглянуть внутрь нашего организма, можно использовать световое или маломощное электромагнитное излучение (аналогичное тому, что используется в сотовых телефонах или в умных часах) в сочетании с антеннами и специальной электроникой. Гибкие датчики можно разместить непосредственно на коже человека. С их помощью по изменению

тока, напряжения или электрохимической концентрации можно обнаружить необходимый биомаркер.

Диабет — вот главная цель этой технологии. К 2030 г. ожидается, что в мире это заболевание будет диагностировано более чем у 578 млн человек. В настоящее время, чтобы удовлетворить возрастающую потребность в регулярной проверке уровня глюкозы в крови, ведется разработка портативного устройства, осуществляющего неинвазивный мониторинг данного параметра при помощи беспроводных электромагнитных полей в миллиметровом и близком к инфракрасному диапазонах. При этом изменение напряжения, измеренного на пальце пациента, можно соотнести с уровнем глюкозы в его крови. Другой подход заключается в специальных приборах, встраиваемых в одежду пациента и определяющих уровень глюкозы при помощи электромагнитных волн в микроволновом диапазоне. Третий подход состоит в том, что специальная микросхема, размещенная прямо на коже пациента наподобие татуировки, оценивает уровень глюкозы в выделяемом поте. В данном случае при помощи специальных электродов оценивается состав мельчайших капелек межклеточной жидкости, естественным образом вытекающей из капилляров. Подобно детекторам глюкозы, такие «вытатуированные» схемы могут анализировать пот человека.

Это направление исследований завоевало популярность в спортивной медицине и привлекло дополнительные инвестиции.

Системы беспроводной передачи данных могут работать с различными типами устройств, в том числе с датчиками, изготовленными из плотно расположенных углеродных нанотрубок, или с датчиками, направляющими магнитные наночастицы в крошечные микрофлюидные каналы с целью обнаружения биомаркеров посредством изменения напряжения или тока. Такие технологии позволяют создать аналог «электронного языка», способного различить на «вкус» и состав различные образцы жидкостей.

Слезы тоже могут о многом рассказать. Электронные прозрачные контактные линзы могут быть снабжены датчиками, отслеживающими биомаркеры рака или уровень глюкозы в крови, передавая данные по беспроводной сети. Биомаркеры слюны способны указывать на физиологический и психологический стресс или такие заболевания, как ВИЧ, различные кишечные инфекции, рак или COVID-19. Датчики слюны с технологией радиочастотной идентификации могут быть встроены в специальную капю. При этом они эффективно контролируют состояние полости рта, диагностируя малейшие изменения микрофлоры или появление каких-либо аномалий. ■

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ



3D-СТРОИТЕЛЬСТВО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕСТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Грунт вместо бетона

Бернард Мейерсон и Карло Ратти

Такие технологии, как детские вакцины или лазерная коррекция зрения LASIK, способны значительно улучшить качество жизни в рамках современной индустриальной цивилизации. Однако влияние подобных технологий в развивающихся странах значительно слабее. Зачастую их введение постоянно откладывается из-за других более насущных проблем, требующих немедленного решения. Согласно оценке ООН, одной из перспективных технологий может стать строительство домов при помощи 3D-принтеров. Это позволило бы решить проблему жилья, не соответствующего необходимым стандартам, для 1,6 млрд человек во всем мире.

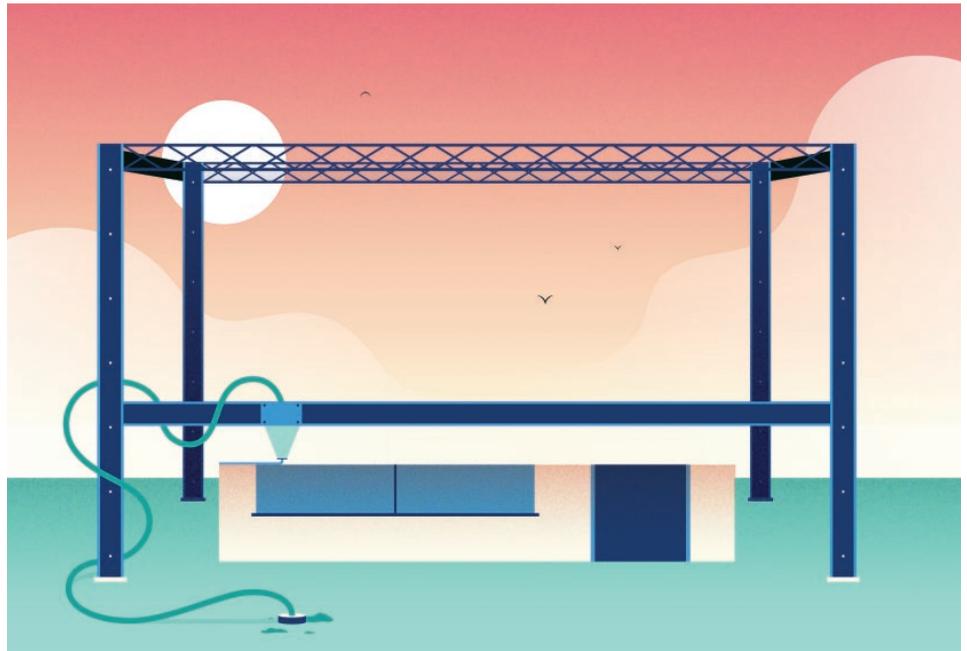
Концепция 3D-печати зданий не нова. Дома, созданные по этому методу, есть на Лонг-Айленде в Нью-Йорке, в Остине, штат Техас, и в других местах. Такие материалы, как бетон и различные смеси песка, пластика и связующих веществ, доставляются на строительную площадку и экструдируются при помощи массивного 3D-принтера. С точки зрения простоты и относительно низкой себестоимости данного подхода возведение 3D-домов могло бы стать

решением жилищного вопроса в отдаленных и бедных регионах. Однако камнем преткновения стало отсутствие инфраструктуры для транспортировки необходимых для строительства материалов.

В последнее время многие фирмы, специализирующиеся на 3D-строительстве, черпали вдохновение из проектов, предназначенных для покорения Марса, где местные материалы — единственный доступный вариант. В небольшом итальянском городке Масса-Ломбарда двумя компаниями, *Mario Cucinella Architects* и *WASP (World's Advanced Saving Project)*, был создан прототип подобного 3D-принтера. Это устройство, предназначенное для печати строительных блоков, использует местную глинистую почву, что значительно снижает сложность, себестоимость и энергопотребление при возведении зданий. Почва смешивается с коноплей и жидким связующим веществом, а затем слой за слоем прессуется в сложные формы и поверхности, необходимые для последующего строительства. Использование местных природных элементов обеспечивает экономию при транспортировке сторонних материалов до 95%.

Другой подход, продемонстрированный WASP в сотрудничестве с дизайнерской компанией RiceHouse, основан на многовековом опыте создания глиняных кирпичей в засушливых регионах. Процесс заключается в традиционном включении в еще сырую глину связующих элементов-нитей, например из натурального волокна. Но далее вместо того, чтобы вручную вдавливать эту смесь в форму для создания кирпичей, данный материал прокачивается через специальный 3D-принтер, разработанный WASP. Это позволяет построить дом, обладающий большей прочностью и за гораздо меньшее время, чем при использовании традиционных технологий. А большая часть основного материала поступает непосредственно со строительной площадки.

Важно отметить также, что при таком подходе к строительству конструкции, срок службы которых подошел к концу, нетрудно просто разбить, раздробить на части



и использовать повторно. Фактически этой безотходной технологии уже больше тысячи лет. В городе Эриче на западном побережье Сицилии все еще существуют дома, которые были построены из материалов, оставшихся от домов X в. и старше. ■

ИНЖЕНЕРИЯ



СЕТЕВЫЕ РЕШЕНИЯ В КОСМИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Интернет вещей выходит на орбиту

Раджалакшми Нандакумар

Сегодня интернет вещей включает в себя не менее 10 млрд активных устройств, а по некоторым данным, в ближайшие десять лет их число увеличится более чем вдвое. Чтобы максимально использовать преимущества интернета вещей в области связи и автоматизации, необходимо, чтобы сеть из данных устройств получила максимально широкое распространение по всему миру. Собранные зеттабайты данных аккумулируются в облачных центрах, а для их анализа используется искусственный интеллект, выявляющий закономерности и аномалии, например погодные условия и стихийные бедствия. Однако есть большая проблема: подобные сети охватывают менее половины земного шара, оставляя огромные пробелы и разрывы связи.

Космическая система интернета вещей могла бы восполнить эти пробелы, используя сеть недорогих, легких (весом менее 10 кг) наноспутников, находящихся на орбите в нескольких сотнях километрах от Земли. Первый подобный аппарат был запущен еще в 1998 г., а сегодня уже около

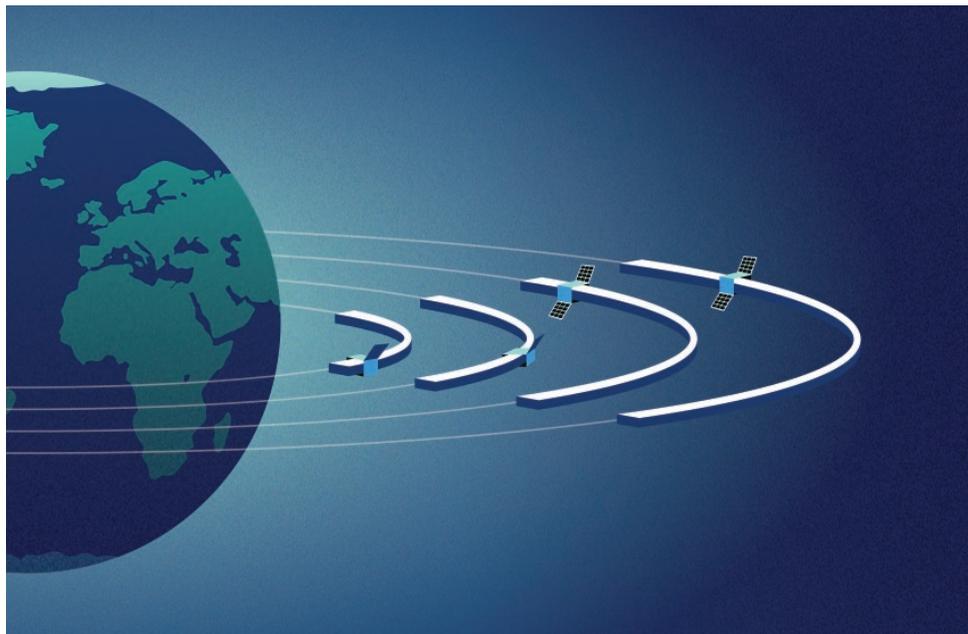
2 тыс. спутников *CubeSats* используются в качестве орбитальных мониторов. Такие компании, как *SpaceX Starlink*, *OneWeb*, *Amazon* и *Telesat*, уже используют наноспутники для обеспечения глобального доступа в интернет.

Скоро на Земле появится возможность связываться с ними при помощи небольших устройств, образующих единую сеть интернета вещей. Данные с такого устройства, — скажем, местоположение, определяемое при помощи датчика слежения, — будут отправляться на спутник с применением маломощных и недорогих протоколов связи, которые способны декодировать даже слабые сигналы. Затем данные будут переданы для обработки на наземные станции.

Такая технология позволяет использовать различные приложения в ранее недоступных или труднодоступных местах. Коммуникационная компания *Iridium*, например, имеет сеть из 66 низкоорбитальных спутников, которые могут соединять корабли с самолетами, летящими в любую

точку мира. Датчики с батарейным питанием от *Lasipa Space* в Великобритании могут подключаться к собственной сети спутников, находящихся на низкой околоземной орбите. Таким образом можно, например, отследить текущее местонахождение посылки или получить данные с определенного сельскохозяйственного объекта, чтобы обеспечить более эффективное использование воды, удобрений и гербицидов. Австралийская компания *Myriota* из Аделаиды использует аналогичную технологию для отслеживания исчезающих видов животных, таких как носороги. Для передачи данных со спутников на централизованные серверы в центрах обработки данных компания *Microsoft* в партнерстве со *SpaceX Starlink* запустила платформу облачных вычислений космического базирования.

Однако космический интернет вещей все еще сталкивается с множеством проблем на пути к окончательной глобализации. Например, наноспутники имеют относительно короткий срок службы (около двух лет) и, кроме того, они должны поддерживаться дорогой инфраструктурой наземных станций. Наконец, встает вопрос о непрерывно возрастающих объемах космического мусора. Для решения этой проблемы *NASA* и другие организации разрабатывают



планы по автоматическому спуску спутников с орбиты в конце их функционального срока службы или же по сбору отслуживших устройств при помощи других космических аппаратов.

Не менее важно обеспечить безопасные, надежные и широкополосные каналы связи со спутниками, их поддержание в различных погодных и географических условиях. Для этого компании работают над другим частотным спектром и разрабатывают новые схемы кодирования, что позволит повысить качество и надежность систем связи. ■

Перевод: Д.С. Хованский

Авторы | Руководящая группа

Мариэтт Ди Кристина (Mariette DiChristina) — председатель руководящей группы, декан и профессор журналистики Колледжа связи Бостонского университета, бывший главный редактор журнала *Scientific American* и исполнительный вице-президент редакционно-издательского отдела журналов издательской группы *Springer Nature*.

Бернард Мейерсон (Bernard S. Meyerson) — вице-председатель руководящей группы, почетный директор по инновациям в *IBM*, обладатель множества наград за работы в области физики, инженерии и бизнеса.

Энасс Або-Хамед (Enass Abo-Nameed) — генеральный директор компании *H2GO Power*, сотрудник Королевской инженерной академии Великобритании.

Джефф Карбек (Jeff Carbeck) — основатель нескольких компаний, вице-президент по корпоративным инновациям в *Eastman*.

Рона Чандравати (Rona Chandrawati) — доцент Школы химической инженерии в Университете Нового Южного Уэльса в Сиднее.

Джозеф Костантин (Joseph Costantine) — доцент кафедры электронно-вычислительной техники Американского университета Бейрута, член сообщества молодых ученых ВЭФ.

Мурали Дорайсвами (P. Murali Doraiswami) — профессор психиатрии и медицины медицинской школы Дюкского университета, сотрудник Дюкского института наук о мозге.

Яббал Тадессе Фантайе (Yabebal Tadesse Fantaye) — соучредитель компании *10 Academy*, руководитель отдела науки о данных в *Adludio*.

Сара Фосетт (Sarah E. Fawcett) — старший преподаватель океанографии и главный исследователь Лаборатории морской биогеохимии Кейптаунского университета в Южной Африке.

Ольга Финк (Olga Fink) — профессор интеллектуальных систем обслуживания в Швейцарской высшей технической школе Цюриха.

Хавьер Гарсиа Мартинес (Javier García Martínez) — профессор неорганической химии и руководитель Лаборатории молекулярной нанотехнологии Университета Аликанте в Испании.

Даниэль Уртадо (Daniel E. Hurtado) — доцент Инженерной школы Папского католического университета Чили, где он возглавляет Группу вычислительной медицины.

Грета Кинан (Greta Keenan) — специалист программы ВЭФ по вопросам науки и общества. Возглавляет сообщество молодых ученых и Глобальный совет ВЭФ по вопросам будущего в области научного сотрудничества.

Коринна Лэйтан (Corinna E. Lathan) — соучредительница и генеральный директор компании *AnthroTronix*, входит в совет директоров компании *PTC*. Была соосновательницей и сопредседательницей Глобального совета ВЭФ по вопросам будущего в области расширения возможностей человека.

Сан Юп Ли (Sang Yup Lee) — ранее сопредседатель Глобального совета ВЭФ по вопросам будущего в области биотехнологий, почетный профессор химической и биомолекулярной инженерии и вице-президент по исследованиям Корейского института науки и технологий (*KAIST*).

Джеффри Линг (Geoffrey Ling) — полковник армии США в отставке, профессор неврологии Университета Джонса Хопкинса и Военно-медицинского университета, генеральный директор компании *On Demand Pharmaceuticals*. Линг отказался от участия в обсуждениях и голосовании по поводу лекарств по запросу.

Эндрю Мейнард (Andrew Maynard) — заместитель декана Колледжа глобального будущего и директор Лаборатории по оценке риска инноваций Университета штата Аризона.

Рут Морган (Ruth Morgan) — профессор криминалистики и судебной медицины, заместитель декана (по междисциплинарному предпринимательству) Университетского колледжа Лондона, член Глобального совета ВЭФ по вопросам будущего в области научного сотрудничества.

Раджалакшми Нандакумар (Rajalakshmi Nandakumar) — доцент Корнеллского технологического института и факультета информатики Корнеллского университета.

Элизабет О'Дэй (Elizabeth O'Day) — генеральный директор и основатель корпорации *Olaris* в Кеймбридже, штат Массачусетс.

Мине Орлу (Mine Orlu) — доцент фармацевтической школы Университетского колледжа Лондона.

Карло Ратти (Carlo Ratti) — профессор урбанистики и городского планирования Массачусетского технологического института, где он руководит лабораторией *Senseable City Lab*.

Барри Шуп (Barry Shoop) — бригадный генерал армии США в отставке, декан Инженерной школы Альберта Неркена при Союзе содействия развитию науки и искусства Купера.

София Веластеги (Sophia M. Velastegui) — технический директор компании *Microsoft*, отвечающая за программный продукт *Dynamics 365*, член совета директоров *BlackLine*, сопредседатель Глобального совета ВЭФ по вопросам будущего в области производства.

Вилфрид Вебер (Wilfried Weber) — профессор синтетической биологии в Центре исследований биологических сигналов Фрайбургского университета в Германии.

Сюнь Сюй (Xun Xu) — директор *BGI-Research*, член Глобального совета ВЭФ по вопросам будущего в области биотехнологий.



В ПОИСКАХ ДВОЙНИКА

Что такое цифровой двойник? Правда ли, что он есть у каждого из нас? Зачем нам нужны суперкомпьютеры? Как с помощью наноспутников зажечь вторую Луну? О таких, казалось бы, разных проблемах — наш разговор с директором Института прикладной математики им. М.В. Келдыша, членом-корреспондентом РАН Александром Ивановичем Аптекаревым.



Член-корреспондент РАН А.И. Антекерев

— Александр Иванович, мы находимся в мемориальном кабинете М.В. Келдыша, который основал этот институт. Какова была главная идея его создания?

— Наш институт был организован в марте 1953 г. указом заместителя председателя Совета министров СССР Л.П. Берии. Он должен был выполнять работы для больших проектов в области энергетики и освоения космического пространства. Тогда уже разрабатывались ракеты, которые выводили аппараты в космос, создавались ракетные двигатели. Основная задача состояла в том, чтобы привлекать математические методы для решения таких задач, в первую очередь связанных с вычислительной техникой.

В то время существовали большие расчетные бюро, где сидели девушки и на импортной технике — арифмометрах «Мерседес» — выполняли соответствующие вычисления. Сегодня такой арифмометр есть в экспозиции нашего музея. Девушки считали, а между рядов ходили умудренные ученые мужи и смотрели, правильно ли они все делают.

— Говорят, эти девушки даже не знали, что считают.

— Конечно, они не знали. Они были как полуавтоматы, действующие согласно четким схемам. Хотя многие из них впоследствии остались и работали еще очень долго. А потом, буквально за пять лет, появились первые отечественные вычислительные машины на лампах. Они занимали большие залы. В этом была наша задача —

быстро перевести математические расчеты и обоснования различных моделей, экспериментов на современный язык.

Наша страна ничуть не проиграла тогда в этой гонке. Это было не только развитие базы электронных вычислительных машин, но и создание новых алгоритмов для счета. Все это сложилось благодаря организаторскому таланту М.В. Келдыша, который собрал лучших математиков. Вместе с ним работали ученые, составившие гордость мировой математики и механики: И.М. Гельфанд, Д.Е. Охоцимский, К.И. Бабенко. Тогда в институте А.Н. Тихонова и А.А. Самарский разработали технологии численных решений дифференциальных уравнений, моделирующих физические процессы. С.К. Годунов и Н.Н. Яненко — одни из основателей вычислительной газовой и гидродинамики, А.А. Ляпунов — пионер отечественного программирования. Эти ученые начинали свой путь в науке в нашем институте, а потом уехали в новосибирский Академгородок и зародили там замечательный росток всей сибирской науки. Это было время настоящих энтузиастов.

— Понятно, что в те времена удалось создать мощную математическую базу. А как вы оцениваете наш нынешний уровень вычислительной математики?

— Это вопрос непростой. Да, у нас есть отставание, и не на один порядок, в том, что называется суперкомпьютерной базой, — и в стране, и, в частности, в нашем институте. В этом году мы отмечаем 110-летие со дня рождения М.В. Келдыша. Я делал доклад на заседании президиума академии наук, посвященный этой дате, и при подготовке к докладу увидел записку Мстислава Всеволодовича А.Н. Косыгину в Совет министров, где он писал об отставании от западных стран, в первую очередь от США. Это были уже 1970-е гг.

М.В. Келдыш приводил цифры, сколько электронно-вычислительных машин вводится в Америке и сколько у нас. Отставание началось уже давно. Но, несмотря на это, я думаю, что у нас в стране все не так плохо. У нас есть свои методы счета, мы много сотрудничаем с организациями, которые имеют свои суперкомпьютеры. У нас много международных проектов. Поэтому я смотрю в будущее с оптимизмом.

— Как вы думаете, у нас появятся свои достаточно мощные суперкомпьютеры, которые будут удовлетворять задачам, стоящим перед страной?

— Да, конечно. Ведется большая работа, развивается и элементная база. Наши процессоры «Эльбрус» вполне неплохи. Могут рвануть совершенно новые вычислительные направления, такие как квантовые технологии, связанные с искусственным интеллектом. И все это может произойти очень скоро. Сегодня многим ясно: для выполнения народно-хозяйственных задач стране нужны мощные суперкомпьютеры.

— У вас институт прикладной математики, а значит, ваша работа имеет практический характер. Это так?

— Да, безусловно. Мы идем широким фронтом. Традиционно наше любимое детище — это баллистика космических полетов. Мы гордимся тем, что именно в нашем институте впервые рассчитали траекторию спутника, который смог сфотографировать обратную сторону Луны. Используя гравитационное поле самой Луны, спутник удалось вернуть обратно на Землю, чтобы он передал эту сенсационную фотографию.

Кстати, один французский винодел заключил пари на вагон вина, что никто никогда не увидит обратную сторону Луны. Сегодня в нашем музее хранится бутылка из того вагона.

— Сейчас это направление исследований продолжается?

— Да, и одно из наших достижений — запущенный несколько лет назад космический телескоп «Спектр-РГ». Он был отправлен в определенную точку пространства, где на него не действуют, уравниваясь, силы Луны, Солнца и Земли. Это так называемая точка Лагранжа, где он может теоретически стоять неподвижно. Но если за ним не следить, не держать его на неустойчивой орбите вокруг этой точки, он очень скоро оттуда уйдет. Нам удастся его поддерживать, и он передает ценнейшую информацию. Мы получаем картину всей Вселенной в диапазоне рентгеновского и гамма-излучения.

— Знаю, у вас есть такое направление, как микроспутники. Что это такое?

— Это, пожалуй, один из самых молодых отделов в нашем институте. Более того, в нем ведется большая работа со школьниками, которые постоянно участвуют в различных олимпиадах, связанных с космосом. Недавно у нас проводился квест среди вузов Москвы. Ребята готовили миссию на один из спутников Юпитера. Участники разбивались на команды и должны были полностью просчитать все полетные характеристики, траектории спутников, и было

Траектория аппарата «Луна-3» (1959)

Гравитационное поле Луны стало космической пращой, вернувшей аппарат в околоземное космическое пространство с фотографиями обратной стороны Луны.



очень интересно на это смотреть. А главная их задача — управление роем маленьких спутников, которые могут, например, так направить свои рефлекторы, что высветится какая-то надпись на небе.

— Можно заказывать на день рождения?

— Это обязательно будет. Но вообще, это очень сложные научные задачи — управление тысячами крошечных спутников, способными так выстроить свою отражательную поверхность, чтобы на Земле где-то сфокусировалась надпись. Насколько я помню, в 1990-е гг. на нашей космической станции должны были запустить очень большое зеркало, фактически «включить» еще одну Луну. В тот раз не получилось. Но такое зеркало можно направлять на выполнение самых разных задач — разведку, освещение каких-то важных объектов.

— Или использовать в северных регионах, где полярная ночь и не хватает света.

— Думаю, фантазировать тут можно много. Исторически так сложилось, что в нашем институте занимаются проблемами искусственного интеллекта, и здесь тоже много новостей. Сейчас ИИ во многом уже стал технологией, и мы подключаемся тогда, когда эту технологию можно убыстрить, улучшить.

Вот пример. К нам обратилось Министерство чрезвычайных ситуаций с просьбой

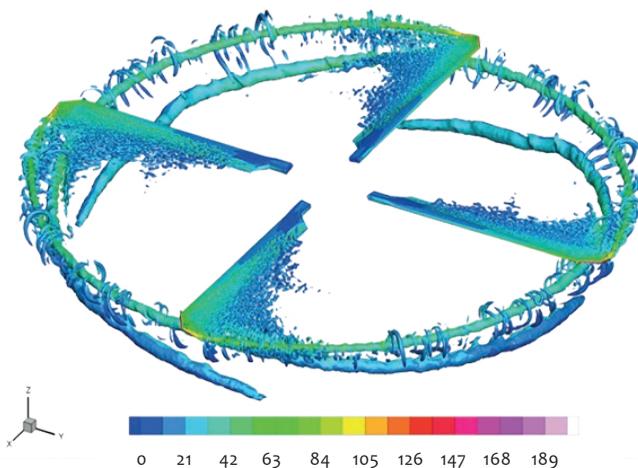
о помощи в предсказании наводнений. Это огромная проблема. Мы смотрели конкретную задачу — наводнения в районе Новороссийска. У них была сделана специальная нейронная сеть, которая предсказывала по многим параметрам, когда случится наводнение.

— Как работает эта технология?

— Это технология черного ящика. С одной стороны, вы вводите какие-то показатели, с другой — данные, когда и после каких признаков происходит наводнение. Это целая шкала предвестников — температура воды и воздуха, дожди и т.д. Сеть тренируется и выдает желаемый результат. Как она это делает? Это известная система угадывания: чем чаще ты это делаешь, тем быстрее угадываешь.

Конечно, тренировки на природных катастрофах — звучит плохо. Поэтому решили подключать сюда математические модели, разработанные в нашем институте, и ситуация изменилась. Мы учитываем множество неслучайных параметров — вопросы, связанные с течением жидкости, фильтрацию, гидродинамику... Математические модели, включающие в себя физические явления, которые происходят в гидродинамике наших рек, позволяют значительно уточнить предсказание наводнения. Если простые модели ИИ предсказывали, что через три часа будет наводнение, то наша модель может сделать это с точностью до девяти часов, когда можно и корову увести, и жителей эвакуировать.

— Замечательный пример. Есть ли у вас еще какие-то истории, когда вам удалось конкретно помочь людям?



Турбулентное течение, создаваемое четырехлопастным несущим винтом вертолета, и генерируемое при этом акустическое поле. Источник: ИПМ им. М.В. Келдыша РАН.

— Наш научный руководитель академик Б.Н. Четверушкин предложил проект, который регулировал движение транспорта в маленьком подмосковном городе Звенигороде. Эти проблемы, связанные с решением множества экстремальных задач, переплетены в один клубок. Такая модель универсальна, с ее помощью можно решать задачи пробок и других транспортных проблем в любых населенных пунктах, в том числе в Москве.

Среди наших традиционных направлений также исследования в гидро- и газовой динамике, аэроакустике. Сейчас в стране создан ряд научных центров мирового уровня, и мы в консорциуме с Центральным аэрогидродинамическим институтом и Центральным авиамоторным институтом входим в такой центр под названием «Сверхзвук», предназначенный для построения сверхзвукового пассажирского самолета. Сверхзвуковые пассажирские самолеты Ту-144 и «Конкорд» успешно эксплуатировались, но потом оказалось, что они не соответствуют современным требованиям по экологии и экономии. Они были очень шумными. Проекты были закрыты, но тем не менее нужда в гражданских сверхзвуковых полетах существует.

— Чтобы полет до Владивостока занимал пару часов?

— Да, именно так. И основная проблема тут — это шумы, которые присущи сверхзвуковой авиации. Когда речь идет о гражданской авиации, существуют повышенные требования ввиду массовости этого вида человеческой деятельности. Для страны это архиважная задача, и мы заняты решением проблемы аэроакустики нашей гражданской авиации. Мы моделируем сверхзвуковые течения вокруг самолетов, выясняем, какие советы можно дать авиастроителям, конструкторам, чтобы у них получился такой самолет.

— Как вы думаете, скоро он у нас появится?

— Тут нет ничего невозможного. У нас уже есть «Сухой-Суперджет-100», который прошел международную стандартизацию на средние линии. Делается дальнемагистральный самолет. И хотя это тяжелая работа, мы с ней справимся.

— У вас есть филиал в подмосковном Пущине, специализирующийся на биологических исследованиях. Чего удалось достичь?

— Этот филиал был создан при непосредственном участии Мстислава Всеволодовича в начале 1970-х гг., когда он был

президентом академии наук. Уже было ясно, что современные исследования в биологии сулят нам огромные перспективы. Это требовало математической поддержки, в первую очередь вычислительной.

Если помните, в романе А.Н. и Б.Н. Стругацких «Понедельник начинается в субботу» программист Александр Привалов приехал в городок, где живут волшебники, чтобы открыть там вычислительный центр. Этот сюжет в точности повторяет историю создания нашего филиала, когда М.В. Келдыш послал сотрудника нашего института А.М. Молчанова, чтобы он открыл вычислительный центр для поддержки работы всех пушинских биологических институтов.

Потом этот вычислительный центр сам стал институтом, который назывался «Математические проблемы биологии». В нем решались очень важные задачи, связанные с исследованием электрофизических свойств молекул ДНК для создания аналога вычислительной техники, но основанной на других принципах.

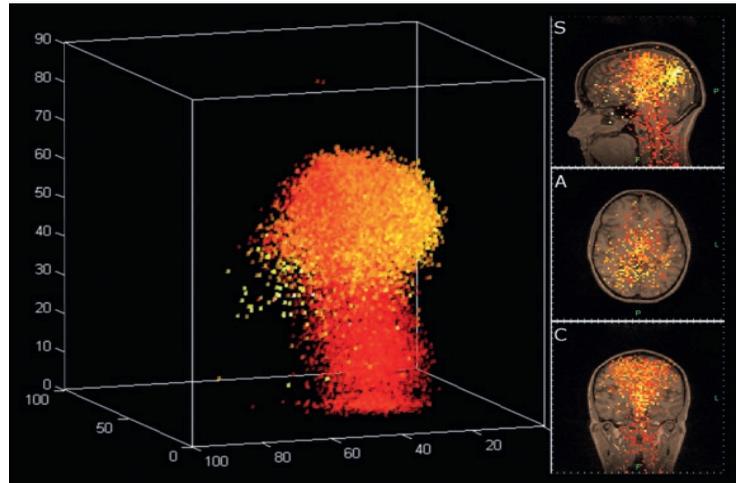
Сейчас там ведется множество интересных работ, связанных с исследованием мозга, невозможных без привлечения математических исследований, которые носят название «Анализ больших данных». Например, наши коллеги из Пущина проводят анализ магнитного поля, которое исходит из нашего мозга. Для этого нужны тончайшие магнитометры, которые рисуют картины, и их удается обрабатывать цифровым образом. Таким образом мы получаем так называемых цифровых двойников.

— **Что это такое?**

— Цифровые двойники были всегда. Когда только начиналось масштабное строительство самолетов, выпускник МГУ молодой Мстислав Келдыш был направлен в ЦАГИ, и уже тогда он поражал своих коллег тем, что мог любую область — сечение фюзеляжа или профиль крыла — отобразить конформно на стандартную область в виде конкретных формул. Это значит, что все элементы конструкции можно задать математическими формулами, то есть создать цифровой двойник самолета.

— **А сейчас появились цифровые двойники нашего мозга?**

— Да, в этом исследовании надо обработать и сохранить измерения магнитного поля нашего мозга, а это гигантские массивы данных, чтобы, например, видеть разницу между мозгом здорового и больного человека. Так можно диагностировать, скажем, эпилепсию.



Электрическая структура головы человека, найденная по магнитному полю. Источник: ИПМ им. М.В. Келдыша РАН.

— **У них разные показатели магнитного поля?**

— Да, в разных состояниях эти показатели меняются. Это новое направление в медицине, когда сам мозг выдает определенный сигнал без внешнего сигнала, без источника раздражения, как делается во время МРТ. Думаю, со временем этот метод станет незаменимым в диагностике самых разных состояний.

— **А что за цифровой керн вы создаете? Неужели у нефти тоже есть двойник?**

— Да, это тоже цифровой двойник, связанный с добычей нефти. Керн — это то, что образуется, когда бурят скважины и достают породу, после чего подвергают ее различным физическим и геофизическим экспериментам, проверяют на плотность, фильтрацию, выясняют, как сквозь нее проходят различного сорта жидкости.

Но есть большие проблемы. Во-первых, достать эту породу очень тяжело, а во-вторых, после каждого эксперимента она разрушается, потому что все нужно делать под очень большим давлением. При этом нефть становится все менее доступной и все более трудно добываемой.

Для того чтобы выяснить, где залегает нефть, как ее лучше выкачивать, нужны геофизические данные грунта, который находится на глубине. Мы их моделируем в этом эксперименте и получаем очень впечатляющие результаты. Это конкретная работа, которую мы выполняем по заказу «Роснефти». Прикладных задач много, и мы стараемся решать их успешно. ■

Беседовала Наталья Лескова



БИОРАЗНООБРАЗИЕ

ПТИЧИЙ ДЕНЬ

Коннектикутская команда орнитологов-любителей (бердеров) участвует в жарких состязаниях по спортивному бердингу, цель которых — обнаружить за 24 часа как можно большее число видов птиц

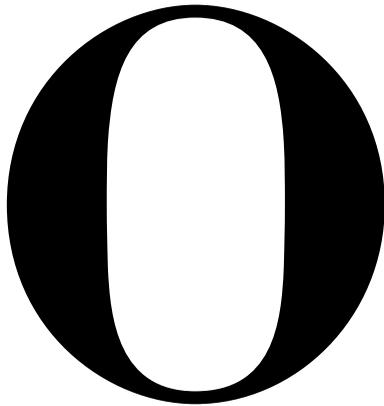
Кейт Вонг



Средний кроншнеп стал 188-м видом птиц, зарегистрированным командой бердеров в Большой день

ОБ АВТОРЕ

Кейт Вонг (Kate Wong) — старший редактор разделов об эволюции и экологии журнала *Scientific American*.



Одним теплым погожим днем в конце апреля Фрэнк Галло (Frank Gallo) уверенно направляется к заветному месту, куда он частенько навещал всю зиму, — очистной канализационной установке неподалеку от Норуолка, штат Коннектикут. Мужчина шагает по мощеной тропе, внимательно вглядываясь в растущую слева сосновую рощу и протекающую справа реку. Над головой Фрэнка в безоблачном небе кружат восемь пампасных ласточек, время от времени по очереди пикирующих к поверхности заполняющих отстойники сточных вод, чтобы поймать какое-нибудь крылатое насекомое. Золотистый лесной певун, сидящий в растущем по соседству кустарнике, старательно высвистывает свою звонкую незатейливую песенку.

Фрэнк Галло, натуралист и бердвотчер, или попросту бердер (*от англ. birdwatcher и birder — орнитолог-любитель, занимающийся наблюдением за птицами и их изучением на досуге. — Примеч. пер.*), регулярно посещает это место с прошлой осени. Натуралист заметил, что многие виды мелких певчих пернатых (тигровые и сосновые лесные певуны, прерийные певуны, пальмовые певуны и др.) решили остаться на зиму у очистной станции, вместо того чтобы мигрировать на юг к своим привычным местам зимовки. Бердеры стекались к этому месту всю зиму, с трудом добираясь до него по скользкой обледеневшей тропе в надежде увидеть необычных пернатых, добывающих корм у отстойников и в зарослях вечнозеленых растений. Но с приходом весны, когда на северо-восток страны начинают возвращаться стаи перелетных птиц, пернатых на очистных установках становится меньше. Галло, однако, продолжает навещать к отстойникам: ему хочется узнать, когда отсюда начнут отлетать к своим северным местам гнездования тигровые лесные и теннессиjsкие певуны. Хотя зимовка в Коннектикуте для этих птичек была сопряжена с большим риском, весной выжившие особи находятся к северным гнездовьям гораздо ближе, чем их сородичи-мигранты, а значит, они смогут раньше прилететь туда,

обзавестись самыми удобными индивидуальными участками и раньше приступить к размножению. Вполне возможно, что в результате необычной зимовки птицы получают перед своими сородичами значительные преимущества во время размножения, размышляет натуралист.

Сегодня Галло поглощен подготовкой к очередному птичьему проекту. Всего через несколько недель сам Галло и пятеро его друзей, одни из самых активных бердеров штата Коннектикут, примут участие в ежегодных состязаниях под названием «Большой день» (*The Big Day*), когда команды бердеров соревнуются друг с другом в том, чтобы ровно за сутки увидеть и услышать как можно больше видов пернатых. Наблюдения будут продолжаться с полуночи до полуночи дня, выбранного самими конкурсантами. Цели коннектикутских бердеров — зарегистрировать 200 видов птиц, чего до сих пор не удалось сделать ни одной команде бердеров Новой Англии; побить существующий рекорд в 195 видов пернатых, установленный в 2014 г. одной из команд в Массачусетсе; и превзойти собственный рекорд в 193 вида, установленный в 2018 г.

Для достижения любой из этих целей команде прежде всего нужно заранее определить, в каких местах с наибольшей вероятностью можно встретить тех или иных птиц. Кроме того, необходимо



Команда бердеров в составе (слева направо) Патрика Дьюэна, Дейва Провенчера, Ника Бономо, Дейва Триппа, Фрэнка Галло и Фрэна Зигмонта за 24 часа зарегистрировала в штате Коннектикут 192 вида птиц

разработать маршрут, перемещаясь по которому, команда сможет посетить наибольшее число мест в штате, богатых пернатыми, и определить время, которое следует провести в каждом из этих мест. Счет времени в конкурсе пойдет на секунды: его участники не смогут ни полюбоваться красотой оперения одних птиц, ни насладиться мелодичным пением других, ни присмотреться к необычному поведению третьих видов. Ведь неслучайно один из друзей Галло как-то раз пошутил по поводу состязаний Большого дня: «Какая это спортивная орнитология? Это самая настоящая война!»

«Чтобы зарегистрировать 200 видов птиц, нужно выбрать поистине идеальный день, — говорит мне участник команды Дейв Трипп (Dave Tripp). — и для этого все должно пройти без сучка без задоринки. В принципе, это возможно — но только в том случае, если все звезды на небе выстроятся в ряд!» Дейв и все остальные члены команды сделали все возможное, чтобы помочь звездам занять именно такое положение. Они оттачивали свое мастерство с тех пор, как более десяти лет назад объединились в одну команду и начали соревноваться вместе в Нью-Джерси.

Самой престижной частью состязаний в рамках Большого дня в стране считается Мировая серия

бердинга (*World Series of Birding*), ежегодно проводимая в Нью-Джерси. Коннектикутская команда бердеров, назвавшаяся «Вóронами-лунатиками», участвует в этом состязании уже много лет, расширяя свои знания о птицах Нью-Джерси и совершенствуя навыки их подсчета. В 2008 г. команда увезла домой приз, зарегистрировав 222 вида пернатых и, таким образом, завоевав в этом конкурсе второе место, — выдающийся результат, учитывая, что ее участники приехали в Нью-Джерси из другого штата. Но в Коннектикуте рекорд по подсчету пернатых во время Большого птичьего дня составил 186 видов и был установлен в 1994 г. другой командой. «Нужно вспомнить навыки, которыми мы овладели в Джерси, и воспользоваться ими в Коннектикуте. — учил тогда Трипп своих товарищей. — Пора ставить рекорды и у себя».

Принять участие в состязаниях Большого дня может любой желающий, согласившийся соблюдать соответствующие правила Американской ассоциации бердинга (*American Birding Association*). Участникам состязания отводятся 24 часа, с полуночи предыдущего дня до полуночи следующего, за которые они должны отметить как можно больше видов птиц в официальном перечне видов; они могут знакомиться с необходимой информацией перед началом игрового дня, но не вправе

запрашивать эту информацию извне во время самого конкурса; виды птиц должны идентифицироваться по внешнему виду или голосовым сигналам с абсолютной определенностью; участники состязания вправе воспроизводить записи звуковых сигналов для привлечения пернатых; по меньшей мере 95% всех видов, перечисляемых в окончательном отчете, должны быть замечены (визуально или на слух) всеми членами команды (до 5% видов могут быть «грязными», то есть идентифицированными некоторыми, но не всеми членами команды); и, наконец, во время наблюдений все члены команды должны перемещаться совместно на каком-либо одном транспортном средстве и постоянно оставаться в пределах слышимости друг друга.

В 2009 г. «Вóроны-лунатики» впервые приняли участие в состязаниях Большого дня птиц в Коннектикуте, зарегистрировав 177 видов пернатых — на девять видов меньше многолетнего рекорда этого штата. «Поскольку дело было в конце мая, результат оказался не очень высоким, — вспоминает Трипп. — Нам нужны были птицы, которые размножаются в северных лесах и тундре и мигрируют к гнездовьям через Коннектикут, плюс виды, гнездящиеся в самом этом штате». Май — лучший месяц для участия в конкурсе Большого дня, потому что в эту пору отмечается пик весенней миграции птиц. Но если немного припоздниться, окажется, что многие водоплавающие и некоторые другие птицы, зимовавшие в Коннектикуте, уже улетели к своим гнездовьям в Арктике и других северных регионах. А если проводить наблюдения слишком рано, бердеры могут не увидеть певунов, мухоловок, виреонов и прочих перелетных птиц, направляющихся на север со своих южных зимовок в более поздние сроки.

В 2011 г. «Вóроны-лунатики» совершили крупный прорыв, зарегистрировав 192 вида птиц, тем самым побив предшествующий рекорд штата Коннектикут и всей Новой Англии в целом. Десять лет спустя эта команда по-прежнему остается рекордсменом Коннектикута по бердингу: в 2018 г. ей удалось зарегистрировать 193 вида пернатых. Но ее триумф в качестве лидера Новой Англии оказался недолгим: через несколько дней после победы «Лунатиков» в 2011 г. их рекорд был побит бердерами из Массачусетса, которым удалось зарегистрировать 193 вида птиц. А в 2014 г. массачусетская команда и вовсе зарегистрировала 195 видов пернатых, что и по сей день остается наибольшим количеством видов, когда-либо замеченных наблюдателями за одни сутки во всей Новой Англии. «Но Массачусетс больше Коннектикута и там больше места для птиц», — быстро поясняет Трипп.

Однако, по словам коннектикутского орнитолога Маргарет Рубеги (Margaret Rubega), хотя этот штат и вправду сравнительно невелик, он отличается

значительным разнообразием местообитаний: здесь есть степи, луга, леса, морские побережья, сельская местность, а также города и пригородные зоны. Кроме того, он занимает значительную часть Атлантического маршрута миграции птиц — главного пути пролета североамериканских пернатых. К тому же он охватывает самую южную часть ареала ряда северных птиц и самую северную часть ареала южных видов. Следовательно, Коннектикут обладает весьма внушительным разнообразием пернатых: по данным последних подсчетов, здесь обитает 450 видов птиц — по сравнению с 507 и 488 видами, встречающимися соответственно в Массачусетсе и Нью-Джерси. Более половины из этого числа видов коннектикутских птиц гнездятся на территории штата. Остальные встречаются здесь главным образом во время пролета. Иногда отмечаются и залетные виды, по разным причинам сбившиеся с курса во время миграций.

Для того чтобы добиться успеха в состязании, команде нужно посетить как можно больше богатых пернатыми мест в местообитаниях разного типа по всему штату и сделать это в надлежащее время





в Торрингтон, где работает заместителем начальника пожарной охраны города. По выходным он оптимизирует маршрут перемещений, изменяя его по мере поступления новой информации и определяя, какие места необходимо посетить в первую очередь, а какие могут подождать, потому что птицы там менее разнообразны и встречаются реже.

Но даже при столь тщательной подготовке многие ключевые факторы остаются вне контроля бердеров. Птицы, замеченные во время «разведки», в Большой день могут перелететь в другое место или хранить молчание (так, пернатые часто перестают петь в период гнездования). Мигранты с юга ино-

гда не показываются на глаза из-за плохой погоды. Сейчас есть ощущение, как доверительно сообщает мне Трипп, что самый подходящий день наступит через неделю и это будет 17 мая. Во-первых, это единственный день, когда в состязании смогут участвовать все шестеро членов команды, а кроме того, синоптики пока не обещают никаких резких перемен погоды, которые могли бы согнать птиц с разведанных мест. Но любое изменение прогноза на предстоящей неделе может потребовать серьезной корректировки планов — даже такой, в результате которой команде придется участвовать в состязании не в полном составе.

«Вороны-лунатики» разрешили мне сопроводить их по всему штату во время разведок птичьих местообитаний в преддверии состязаний и даже присутствовать вместе с ними в различных пунктах маршрута во время самих соревнований Большого дня. Проведя взаперти около 15 месяцев, я наконец-то сделала прививку от COVID-19, и теперь от перспективы выйти из дома и сделать несколько репортажей под открытым небом у меня слегка кружится голова. Тем более что к бердвотчингу я испытываю особые чувства. Наблюдениями за птицами я занялась в мае 2020 г. от безделья во время пандемии — вначале во дворе своего дома в Коннектикуте, а затем и в соседних городах штата. Сейчас, год спустя, в моем личном регистрационном списке пернатых числятся 158 видов птиц. Я легко сумею различить по внешнему виду похожих на обычных воробьев саванную овсянку и певчую зонотрихию, волосатого дятла и пушистого дятла, ястреба Купера и полосатого ястреба. И я сразу же распознаю на слух флейтовую песню



В игровой день бердерам удалось увидеть виргинского филина (слеток, слева), белолобых горных ласточек (вверху) и даже редкого в Коннектикуте опоясанного пегего зимородка (внизу)

суток. Так, совы и болотные птицы кричат в основном по ночам. А прибрежных птиц в некоторых местах лучше всего наблюдать во время прилива, когда прибывающая вода заставляет их сосредотачиваться на открытых песчаных отмелях.

В начале мая игроки приступают к разведке богатых птицами мест. Трипп отвечает за северную часть штата. По будням он выходит из дома на утренней заре, чтобы посвятить несколько часов поискам птиц, а затем отправляется



Восточный луговой трупиал — небольшая птица, чья численность в Коннектикуте быстро сокращается из-за уничтожения лугов и болот

древесного дрозда, беспорядочную какофонию звуков голубой сойки и незатейливые трели черношапочной гаички.

И в то же самое время я отлично понимаю, что научусь безошибочно идентифицировать всех птиц, с которыми столкнусь в природе, лишь после многолетней практики. Галло, Трипп и их товарищи по команде, имеющие долгий опыт наблюдения за птицами, великолепно знают всех пернатых — будь то молодые или взрослые особи, птицы в брачном или повседневном оперении либо пернатые, исполняющие замысловатые песни во время ухаживания или издающие односложные позывки в полете. И все-таки мне трудно поверить, что эти ребята сумеют за один день обнаружить больше видов птиц, чем мне удалось увидеть и услышать за целый год. «Ты и понятия не имеешь, во что ты ввязываешься», — предупреждает меня Трипп.

Через три дня в 8:30 утра я встречаюсь на одной из автостоянок, расположенной на межштатной автомагистрали № 95 в прибрежном городе

Гилфорде, с членом команды Ником Бономо (Nick Bonomo). Этот бердер выслеживает птиц уже с двух часов ночи. До состязания осталось всего несколько дней, а Ник немного запаздывает с разведкой своего участка. Бономо и Галло при поддержке товарищей по команде Патрика Дьюгэна (Patrick Dugan) и Дейва Провенчера (Dave Provencher) отвечают за разведку южной часть маршрута, включая морское побережье. Сегодня Ник Бономо, работающий ассистентом врача, занимается главным образом поиском водоплавающих, прибрежных и болотных птиц, а также некоторых других видов пернатых, характерных для южных регионов Коннектикута. Я запрыгиваю в машину Ника, и мы направляемся на восток, один за другим посещая намеченные пункты маршрута на извилистом морском побережье.

Вначале наша разведка складывается не совсем удачно. На глаза не показываются ни коричневые пересмешники, ни белоглазые виреоны — скрытные виды птиц, предпочитающие держаться в густой растительности, которых, однако, Бономо надеялся обнаружить в прибрежных кустарниковых зарослях. При осмотре грязной лужи неподалеку от ярмарочной площади мы не заметили ни одного улита-отшельника, которых надеялся увидеть здесь мой спутник. «До встречи с тобой мне везло куда больше», — ворчит Бономо и поясняет, что рано утром того же дня на глаза ему попались несколько пестроносых турпанов, краснозобых гаргар, серых уток, хохлатых крохалей и один большой баклан. Но, впрочем, до конца дня еще далеко. Во время состязаний команда обычно регистрирует на юге около трети всех видов птиц и большинство из них — прибрежные виды.

День выдался чудесным, солнечным и ветреным — бальзам на раны после пандемической зимы. Но блики солнца и поднимаемые ветром волны, а также мерцание воздуха от жары затрудняют поиск птиц на воде. Следующая наша остановка на берегу моря оказывается более продуктивной. Бономо замечает двух карликовых крачек — маленьких изящных птичек с черно-белой головой и ярко-желтым клювом. Этот вид, гнездящийся по берегам морей и больших рек, в Коннектикуте находится под угрозой исчезновения из-за уничтожения людьми среды его обитания. Карликовая крачка — один из всего лишь двух видов крачек, которых команда надеется обнаружить в день состязания (второй вид — обыкновенная, или речная, крачка). Кроме того, Бономо замечает неподалеку стайку чернозобиков — небольших коренастых куликов с длинным черным клювом, гнездящихся в арктической тундре.

Рассматривая море в подзорную трубу с соседнего пляжа, Бономо обнаруживает качающуюся на волнах морянку — элегантную морскую утку с эффектными хвостовыми перьями. К середине

мая большинство морянок уже отлетают к своим арктическим гнездовьям, так что во время состязаний «мы регистрируем этот вид лишь примерно в 50% случаев», — говорит бердер. На отдаленном выступе скалы Бономо замечает коренастую птицу с темным «фартучком» и торжественно объявляет ее имя — камнешарка. Мне остается лишь поверить ему на слово: детали оперения птицы, названной так за умение ловко переворачивать камни в поисках прячущейся под ними мелкой живности, теряются в тени, а потому ее точная идентификация становится для меня невозможной.

Мы продолжаем продвигаться на восток к зоне приливных болот — среде обитания, которая в Коннектикуте мало-помалу исчезает из-за повышения уровня моря, вызванного глобальным потеплением климата. Подъезжая к болоту, мы видим, как стайка куликов-улитов атакует северного луня — стройного ястреба с ярким белым пятном на надхвостье, — отгоняя его от своих гнезд. «Увидеть луня в Большой день обычно не удастся», — жалуется Бономо. Но больше всего бердера интересуют овсянки. Где-то поет приморская овсянка-барсучок; сама птицы при этом остается невидимой. А через несколько минут мы замечаем притаившуюся в траве острохвостую овсянку-барсучка, непоседливую птичку с оранжевой головой. Встретить овсянок двух видов в одном месте — большая удача для любого бердера, а мне особенно радостно оттого, что наконец-то увидела острохвостого барсучка. Поскольку вода во время приливов с каждым годом стала подниматься все выше, затопляя гнезда этой птички, за последние два десятилетия и без того узкий ареал данного вида сократился примерно на 87%.

Затем Бономо регистрирует еще два вида морских уток — пестроногого турпана и американскую синьгу, а также замечает в кронах деревьев колонию ушастых бакланов. Но прежде чем продолжить наблюдения, натуралисту необходимо немного поспать. «Мало спать, не заниматься спортом и питаться чем ни попадя очень вредно для здоровья», — говорит Бономо о своем образе жизни в течение недели, предшествующей состязанию. — Слава богу, что в году всего лишь одна такая неделя!»

На следующий день я присоединяюсь к Галло, который также проводит орнитологическую разведку в южной части штата. Вторая половина дня начинается с удачи. Галло едет по городскому мосту, пытается отыскать сокола-сапсана — быстрокрылого пернатого хищника, охотно гнездящегося на конструкциях, созданных руками человека. Затем кажется мне малоосуществимой, но, когда мы проезжаем по мосту, с него слетает какая-то птица. Я не имею ни малейшего понятия о ее видовой принадлежности, а Галло считает, что, судя по размерам, это вполне мог быть сапсан. Он поворачивает назад, и мы выходим из машины, чтобы лучше рассмотреть птицу.

Я указываю на бетонную балку, с которой, как мне кажется, взлетела птица. Плавным и точным движением Галло подносит к глазам бинокль и мгновение спустя громко кричит: «Сукин сын!» На балке установлен гнездовой ящик, а в нем, без всяких сомнений, сидит сапсан. В победном жесте Галло вскидывает вверх руку с растопыренной пятерней. Хищные птицы — преданные и заботливые родители, а потому высока вероятность, что птицы окажутся на этом месте и во время соревнований.

Остальная часть дня — сплошная невезуха. И от каждой неудачи настроение Галло портится все сильнее. В разных местах побережья он обнаруживает нескольких песчанок, морских песочников, малых песочников и песочников-крошек. Но ему нужны другие виды пернатых — черный водорез, кулик-дутьш и бонапартов песочник, а эти птицы как нарочно куда-то подевались. «Просто прибрежных птиц пока нет в штате: погодные условия были слишком неблагоприятными», — говорит Галло. — Чтобы эти пернатые появились в Коннектикуте, южные ветры должны дуть подольше».

Галло звонит Бономо, чтобы проверить и сравнить наблюдения. Отсутствие в заметках некоторых болотных птиц ввергает Бономо в шок. В них пока не значится даже индейский волчок, или американская малая выпь, — маленькая цапля, широко распространенная в восточной части Северной и Южной Америки. А еще им нужно увидеть пастушковых птиц — скрытных пернатых, незаметно живущих среди густой болотной растительности, в том числе редко встречающегося каролинского погоныша и более обычного виргинского пастушка. «Если нам попадется виргинский пастушок, день можно будет считать успешным и даже выпить по этому поводу пива», — говорит Бономо. Прогнозы погоды вселяют в наших бердеров некоторый оптимизм относительно появления перелетных птиц: ожидаются переменные ветры, «которые могут занести к нам и кое-каких пичуг», — надеется Бономо.

Следующие два утра я провожу на северо-западе Коннектикута. Первым утром я сопровождаю Триппа, а вторым — его товарища по команде и лучшего друга со школьной скамьи Фрэна Зигмонта (Fran Zygmont). Каждый день я выезжаю из дома в три часа утра и в четыре встречаюсь с ними в округе Личфилд, глотая налитый из термоса кофе и сварливо недоумеваю, почему в эту историю ввязалась именно я — особа, привыкшая в этот ранний утренний час наслаждаться сладким здоровым сном.

Для того чтобы добиться успеха в Большой день, в северной части штата команда проводит орнитологическую разведку иначе, чем на юге. На юге, где птицы населяют в основном открытые

местообитания, бердеры идентифицируют их главным образом визуально — по внешнему виду. На севере участники команды ведут поиск пернатых по преимуществу в лесах и прочих закрытых биотопах, нередко в темноте, а потому здесь они полагаются главным образом на слух. Хотя температура воздуха снаружи едва выше нуля, Трипп и Зигмонт едут с опущенными окнами, чтобы слышать птиц. Следуя их примеру, я пристегиваю ремень безопасности, но закидываю его через голову за спину. С одной стороны, это позволяет мне быстро выпрыгивать из машины во время наших частых остановок, с другой — блокирует подаваемый автомобилем надоедливый сигнал о необходимости пристегнуть ремень.

Трипп ведет машину по проторенному маршруту, проверяя, на месте ли еще птицы, обнаруженные во время предварительных разведок, и стараясь уложиться в отведенное для поездки время. В 4:36 он останавливается у сосновой рощи, прилегающей к широкому полю, и с помощью мобильного воспроизводит запись крика виргинского филина через установленную на крыше автомобиля колонку *Bluetooth*. К моему изумлению, вскоре над нашими головами бесшумно пролетает какая-то крупная птица, которая усаживается в крону одной из сосен и начинает ухать в ответ воспроизводимым звукам. А еще через несколько минут откуда-то с поля доносятся встревоженные гнусавые крики американского вальдшнепа. Поскольку оба вида птиц живы и здоровы, Трипп решает с этого места и начать поиск пернатых в Большой день. Но тут же добавляет: «Единственное, чего я боюсь, — как бы за оставшиеся дни наш филин не съел нашего вальдшнепа!»

К пяти утра небо светлеет и воздух наполняется рассветным хором птичьих голосов. Трипп останавливается в одном из разведанных прежде мест и воспроизводит записи голосов канадского поползня и американской пищухи. Бердеры очень надеются зарегистрировать этих пичуг в день состязаний, но пока ни одна из них на запись не откликается. «Возможно, сюда стоит приезжать чуть позже, — говорит Трипп. — Для этих птиц еще рано». Немного отъехав от этого места, мы слышим сухие трели серого юнко — еще одной птицы, которую обязательно нужно зарегистрировать на севере. Но нигде не слышно и не видно представителей семейства славковых. Похоже, эти птахи, как и поползень и пищуха, еще крепко спят. «Наверно, и в этом месте мы появились слишком рано», — решает Трипп. А я тем временем подавляю зевок.

Иногда птица удостоивает своих слушателей одним-единственным звуком. Подъезжая к ручью, Трипп слышит позывку — короткий голосовой сигнал, с помощью которых многие птицы поддерживают друг с другом контакт или предупреждают



сородичей об опасности. «Белобровый дроздовый певун», — объявляет Трипп. Из всех навыков наблюдения за птицами, которые в своем безудержном стремлении к самосовершенствованию стараются развить бердеры, больше всего меня поражает идентификация птиц по голосу. Я допускаю, что со временем и я научусь безошибочно распознавать птиц на глаз, по их внешним признакам.



Темноглазого юнко (вверху слева) и золотоголового королька (внизу слева) бердеры зарегистрировали на севере штата, а эффектную утку-морянку (вверху) — в его южной части.

Но чтобы помнить полные голосовые репертуары огромного множества пернатых во всем их разнообразии — вплоть до простеньких односложных позывок? По-моему, это дар свыше!

Некоторые птицы способны издавать звуки без помощи голоса. Стоя у лесного болота, мы слышим, как по дереву стучит дятел. Трипп объясняет мне, что барабанные дробы, выбиваемые некоторыми коннектикутскими видами дятлов, на слух практически неразличимы, но дробь нашего дятла обладает характерной особенностью: вначале она звучит быстро, а к концу замедляется. «Желтобрюхий дятел-сосун», — сообщает мне Трипп, ввергая меня в трепет широтой своих познаний. Эту-то звуковую фигуру смогу запомнить даже я!

Без участия голосового аппарата издает звуки и воротничковый рябчик — птица, обитающая в густых лесах и гнездящаяся на земле. Самец при этом усаживается на пенек или поваленный ствол дерева и принимается быстро хлопать крыльями, выбивая с их помощью своеобразную глухую дробь. Звучит она около десяти секунд — довольно медленно вначале и ускоряясь к концу.

Чем сильнее разгорается заря, тем больше просыпается пернатых, которые приветствуют своим пением новый день. Сидящий за рулем Трипп вслушивается в их голоса и то и дело сообщает мне

названия их обладателей. Черношапочная гаичка, желтогорлый певун, хохлатый желтобрюхий тиранн, красногрудый дубоносый кардинал, синеголовый виреон, красноглазый виреон, желтогорлый виреон... Время от времени натуралист указывает мне и на других животных: бредущего по обочине дороге дикобраза или убегающую в лесную чащобу рысь. Мало-помалу я прихожу к выводу, что ранний подъем явно имеет свои преимущества.

К концу утра Трипп все отчаяннее пытается отыскать в кронах высоких норвежских елей тигровых лесных певунов: хотя этим птичкам и нравится зимовать у канализационных отстойников, они очень привередливы в отношении местообитаний, а потому в природе попадаются на глаза довольно редко. Но сегодня куда-то подевались даже самые обычные пичуги! Нигде, например, не видно золотоголовых корольков — крошечных непоседливых обитателей хвойных лесов с ярко-золотистой полоской на темени и тихой серебристой песенкой. Куда-то пропали восточные луговые трупиалы — довольно крупные певчие птицы, живущие в зарослях травы. И даже поездка к мосту, где Трипп надеется увидеть белолобых горных ласточек, заканчивается ничем. «Вот черт, — бормочет бердер. — Кошмар какой-то!»

Следующее утро, проведенное мною в компании Фрэна Зигмонта, тоже полно удач и разочарований. Поскольку до состязания остается всего один день, команда бердеров не отрывается от метеосводок и карт птичьих миграций, отслеживаемых с помощью радаров. Участники команды надеются, что с юга придут новые перелетные птицы, но им очень не хочется, чтобы уже отысканные ими решили вдруг откочевать дальше к северу. Весной перелетные птицы, направляющиеся с мест зимовок к местам гнездования, нередко испытывают так называемое миграционное беспокойство, поясняет Зигмонт. Большинство птиц мигрируют ночью, когда спят хищники, ориентируясь по положению луны и звезд на небосводе. «Они отправляются в путь через один-два часа после наступления темноты, а затем, около четырех часов утра, садятся на землю или деревья и начинают кормиться», — говорит натуралист. Интересно, что этим утром мы увидели сидящих на дороге трех птиц, которые даже не сдвинулись с места, когда мимо проезжал наш автомобиль. Зигмонт предположил, что эти птицы были сильно истощены, поскольку провели всю ночь в воздухе.

Теперь Зигмонт фокусирует все свое внимание на поиске видов, которых команде во что бы то ни стало нужно зарегистрировать на севере штата. Один из них — североамериканский мохноногий сыч, миниатюрный обитатель смешанных лесов. Высунувшись из окна своего красного пикапа, Зигмонт высвистывает брачную позывку этой

совы — череду гулких монотонных звуков. «Это единственный музыкальный инструмент, на котором я когда-либо играл в жизни», — говорит он, указывая на свои губы. Зигмонт и Дьюгэн — великолепные звукоподражатели, способные имитировать голоса более чем 100 видов пернатых. Мохноногий сыч натуралисту не отвечает, но вдалеке начали ухать две пестрые неясыти. Вполне возможно, допускает Зигмонт, что мохноногих сычей здесь и вовсе нет, потому что на них охотятся пестрые неясыти.

Не годится, если во время разведки обнаружен всего один представитель того или иного вида птиц: в игровой день он может не появиться, объясняет Зигмонт, когда в салон нашего автомобиля врывается звучная песня крапивника. «На то, чтобы этот крапивник заявил здесь о своем присутствии в Большой день, мы сможем дать ему не более 30 секунд, — говорит бердер. — а потому сейчас нам лучше подыскать ему дублера».

Требования к поиску более редких птиц отличаются еще большей жесткостью. За исключением Бономо, самого молодого игрока команды, возраст ее участников составляет 50–60 лет. «С каждым годом мы слышим все хуже», — жалуется Трипп. А потому, когда речь идет о птицах, издающих сигналы на самых высоких и самых низких звуковых частотах (как, например, золотоголовые короляки или воротничковые рябчики соответственно), Зигмонту приходится выслеживать птиц, держащихся не только у самой дороги, но и неподалеку от нее, — для того, чтобы их могли услышать все члены команды. «Правило 95%» весьма коварно: если в Большой день игроки регистрируют 200 видов птиц, только десять из них могут быть «грязными».

В понедельник 17 мая, ровно в полночь, в некоем тайном месте на севере Коннектикута команда «Воронов-лунатиков» пустилась в бешеную марафонскую гонку с целью идентификации пернатых обитателей штата. Члены команды, опасаясь конкурентов, взяли с меня обещание не раскрывать названия регионов, где пролегал их маршрут. Не имея возможности присоединиться к команде в самом начале состязания, я согласилась встретиться с ребятами во время их первой же остановки.

В 1:13 утра на парковке возле универсама *Kohl's* въезжает черный *Chevrolet Suburban*. Из машины выходят шестеро мужчин с биноклями, поворачиваются лицом к его стеклянной витрине и пристально вглядываются в глиняные гнезда белолобых горных ласточек, расположенные под карнизом крыши здания. Птицы на месте. Спустя 30 секунд мужчины забираются обратно в свой внедорожник и исчезают в ночной тьме. Они получили именно то, за чем приехали, — ни больше ни меньше.

Не зная точного маршрута, я еду следом за автомобилем бердеров и невольно задаюсь вопросом об ограничениях скорости движения, когда мы летим по пустым городским улицам. Терять ребят из виду мне нельзя: Трипп, сидящий за рулем *Chevrolet*, с самого начала предупредил меня, что, если я отстану, ждать меня они не смогут. Во время следующих остановок как по заказу раздаются крики североамериканской совки и жалобного козодоя, которым вторят желтоклювая кукушка и американская зеленая кваква.

Трипп спонтанно отменяет плановую остановку на заправочной станции и направляется к пруду, где ранее он заметил пару американских камышниц — похожих на миниатюрных кур птиц из семейства пастушков с темным оперением и желтым кончиком клюва. Мы съезжаем на обочину проселочной дороги и глушим моторы. Под слабым светом луны и звезд мужчины разбредаются в разные стороны и прикладывают ладони к ушам, чтобы усилить издаваемые птицами звуки. Но пока тишину нарушает лишь звонкое брачное кваканье зеленых лягушек. Мы тихо стоим между прудом и окружающими его болотом и лесом и ждем, пока не подадут голос несколько обитающих здесь птиц. Наконец вдалеке раздается первый птичий крик — гулкое уханье пестрой неясыти. Затем сове отвечает американская выпь — скрытная и осторожная птица, чей голос напоминает серию громких звуков, напоминающих рев быка. К выпи присоединяются камышницы, а потом болотный крапивник, болотная зонотрихия и виргинский пастушок.

Когда в 2:28 утра команда завершает остановку у пруда, в ее предварительно составленном списке птиц отмечено уже 22 вида. Неплохое начало: чтобы набрать рекордные 200 видов, им нужно за 22 часа зарегистрировать «всего» 178 видов птиц. Тут я оставляю команду и отправляюсь домой, взяв с ребят обещание постоянно держать меня в курсе всех их успехов и неудач вплоть до следующей нашей встречи днем. Когда я возвращаюсь домой, меня уже ждет текстовое сообщение Галло о встрече с медведем, за которым следует зернистое фото зверя, шествующего перед их автомобилем. «ДЕРЖИСЬ, ГАЛЛО! ЭТО ВОЙНА!» — отвечаю я и иду спать.

Команда завершает работу на севере в 9:36 утра, набрав, согласно данным ее главного «счетовода» Зигмонта, 124 вида птиц, включая лугового трупиала, рябчика и короляка. «Результат средненький, но обнадеживающий», — констатирует Галло. Работа идет точно по графику. Трипп любит выезжать на шоссе, ведущее на юг, около 10:00 утра — так, чтобы в течение поездки команда смогла бы зарегистрировать ястребов, которые как раз в это время кружат в небе в восходящих потоках теплого воздуха.

Когда в 16:00 я вновь встречаюсь с командой в парке Хаммонассет-Бич в Мадисоне, главном месте на морском побережье для орнитологических наблюдений в южной части штата, число зарегистрированных командой видов птиц составляет уже 176. Бердеры расположились на смотровой площадке, сгорбившись над своими подзорными трубами. Небо слегка затянуто тучами, дует легкий бриз. Хотя игроки не спали уже 16 часов, они выглядят бодрыми и веселыми. Вот они добавляют в список зарегистрированных видов малую голубую цаплю, пастушка-трескуна, камнешарку, приморскую овсянку-барсучка и острохвостую овсянку-барсучка. Сейчас, когда с наблюдениями на севере покончено и Трипп намного расслабился, он собирает ребят для группового фото. Но вскоре Бономо заставляет команду двигаться дальше. Сейчас бердеры находятся на его территории, и впереди их ждет еще много работы.

Через два часа, сделав несколько остановок, команда зарегистрировала в общей сложности 186 видов пернатых — рекорд штата, который держится уже 17 лет. Галло констатирует, что у бердеров осталось еще почти шесть часов, чтобы обнаружить 14 дневных и четыре ночных вида птиц, числящихся в фауне штата. Задача кажется вполне выполнимой, но чем меньше времени остается до конца игры, тем реже попадаются новые виды птиц.

Тем временем бердеры достигают мыса Милфорд, где в устье реки Хусатоник раскинулся обширный песчаный пляж. По винтовой лестнице они тащат свои подзорные трубы к площадке на верху наблюдательной башни. Небо, покрытое легким облаками, и зеркальная гладь воды — идеальные условия для наблюдения за пернатыми. Повсюду плавают маленькие водоплавающие птицы. «Ну же, утки!» — бормочет Галло, которому не терпится увидеть зеленокрылого чирка и американскую свистку, обнаруженных им здесь на днях. Но утки улетают, зато Дьюгэн замечает желтоголовую квакву, а Галло и Бономо — пару средних кроншнепов — крупных куликов с длинными ногами и длинным изогнутым клювом. Разглядывая далекую стаю пернатых, Галло замечает среди них красноватую птицу. «Кажется, у меня исландский песочник!» — кричит он товарищам. В последнее время численность этого кулика с рыжими грудкой и брюшком быстро сокращается: люди добывают слишком много мечехвостов, чьи яйца составляют основу питания птицы. Увидеть песочника в Большой день — редкая удача. Остальные бердеры быстро поворачиваются, чтобы увидеть находку. Бономо наводит на песочника подзорную трубу, пытаясь исключить другие возможности. «Точно песочник, — подтверждает Галло. — Все согласны?». Когда бердеры покидают мыс Милфорд, а я отправляюсь домой, в их

реестре — 189 зарегистрированных видов птиц, а в душе — огромное желание установить новый рекорд штата.

Во время следующих двух остановок они замечают свистку и малую вильсонью, увеличивая свой список до 191 вида. В 22:33 Галло сообщает мне, что они слышали голос королевского пастушка — птицы, находящейся в Коннектикуте под угрозой исчезновения, — и что теперь команда возвращается на север к финишной черте. Королевский пастушок стал последней, 192-й, птицей, которую наши бердеры зарегистрировали в Большой день — 2021.

В один из последующих дней той же недели, после того как все участники состязания хорошенько выспались, я пригласила бердеров к себе домой на пиццу с пивом, чтобы вспомнить самые горячие события Большого дня. Настроение у всех праздничное. Хотя команда и не установила никаких новых рекордов, бердеры показали второй по величине результат за всю историю своего участия в игре и собрали примерно \$1,3 тыс. для Центра природы *Roaring Brook* в Кантоне на уход за содержащимися здесь животными. 13 видов птиц, зарегистрированных бердерами во время их предшествующих разведок (в том числе тигровый лесной певун, утка-морянка и виргинский сумеречный козодой), в игровой день так и не объявились. Не дали о себе знать и птицы, не замеченные бердерами во время предшествующих разведок, но нередко появлявшиеся непосредственно в соревновательный день, из-за чуть более поздних сроков миграций. «Эта миграция птиц — худшая за долгие годы», — говорит Бономо.

Тем не менее «состязание в этом году оказалось на редкость чистым», — замечает Дейв Провенчер. Весь маршрут длиной в 770 км команда прошла очень плотно и эффективно. Единственная задержка в 27 минут случилась при поисках голубокрылого нырка. Что еще важнее, только шесть из 192 видов птиц оказались «грязными». По словам Бономо, если даже в такой никудышный миграционный год команда справилась с заданием довольно сносно, 200 зарегистрированных птиц — вполне достижимая задача.

«В один прекрасный день все пройдет как по маслу! — говорит Галло. — Птицы, которых мы заметили во время предварительных разведок, окажутся на месте, перелетные виды прибудут вовремя и в этом мире все будет тихо и спокойно». ■

Перевод: А.В. Щеглов

ИЗ НАШИХ АРХИВОВ

■ Вонг К. Как птицы расправили крылья // ВМН, № 3, 2021.

СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО

МОГУЩЕСТВО АГРОЭКОЛОГИИ

Фермеры по всему миру выращивают и распределяют продукты питания с использованием методов, которые улучшают снабжение продовольствием, повышают биоразнообразие и качество жизни

Радж Пател

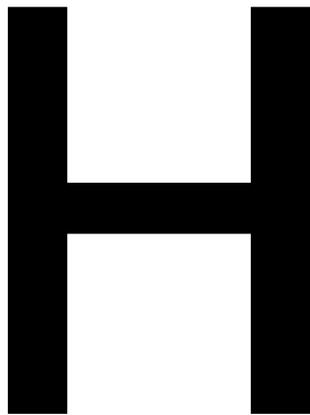


Жители Бвабвы, деревни на севере Малави, делятся семенами и обмениваются советами по выращиванию, вместе собирают урожай и несут его домой



ОБ АВТОРЕ

Радж Пател (Raj Patel) — специалист по связям с общественностью, профессор Техасского университета в Остине, член Международной группы экспертов по устойчивым продовольственным системам. Автор книг «Сытые и голодные» (*Stuffed and Starved*) и «Ценность ничего» (*The Value of Nothing*). Совсем недавно он выступил сорежиссером получившего награду документального фильма Зака Пайпера (Zak Piper) «Муравьи и кузнечик» (*The Ants & the Grasshopper*).



Несмотря на то что это передний край битвы за ликвидацию голода, такое ощущение, будто вы смотрите телевизионное кулинарное реалити-шоу. У подножия невысокой горы Бвабвы в Малави, в деревне у притока реки Южной Рукуру собрались около 100 человек. Дети столпились вокруг огромной ступы, потешаясь над неуклюжими попытками взрослых измельчить соевые бобы, чтобы получить соевое молоко. В другом месте молодой человек рассказывает старейшине деревни о полезности пончиков из сладкого картофеля. В третьем женщина учит соседа, как превратить сорго в питательную кашу.

За всем этим с решимостью сержанта наблюдает Анита Читайя (Anita Chitaya), организатор из общины. Оказав помощь одной группе с пористым хлебом из проса, она переходит к другой, чтобы поделиться советом, как научить детей, которые обычно неохотно едят бобы, превратить пюре из соевых бобов и красной фасоли в пирожки.

В воздухе витает дух игры-соревнования. В конце дня все пробуют приготовленные кушанья, есть и призы за самое вкусное блюдо (пончики одержали легкую победу) и за то, которое наиболее вероятно войдет в каждодневный рацион жителей деревни (выиграла каша).

Это День рецептов в Бвабве, деревне с примерно 800 жителями на севере Малави. Такие фестивали представляют собой социологические эксперименты, направленные на снижение бытового неравенства, и часть многогранного метода борьбы с голодом под названием «агроэкология». Ученые описывают агроэкологию как науку, способ ведения сельского хозяйства и социальное движение. Агроэкология использует экологический и социологический подходы для создания устойчивых продовольственных систем и управления ими и включает десять или более взаимосвязанных принципов — от поддержания здоровья почв и биоразнообразия до достижения большего гендерного равенства

и равноправия между поколениями. В эксперименте принимают участие свыше 8 млн фермерских групп по всему миру и убеждаются, что по сравнению с традиционным сельским хозяйством агроэкологические методы способствуют увеличению депонирования углерода в почве, более экономному использованию воды, снижению зависимости от внешних ресурсов за счет повторного использования таких питательных веществ, как азот и фосфор, и поддержанию, а не уничтожению биоразнообразия в почве и на фермах. Исследования показывают, что на каждом континенте фермеры, использующие этот подход, обладают большей продовольственной безопасностью, более высокими доходами, лучшим здоровьем и более низким уровнем задолженности.

Анита Читайя рассказала мне, что в начале тысячелетия, когда фермеры Бвабвы все еще использовали традиционные методы ведения сельского хозяйства, «бывали времена, когда мы не ели несколько дней. Мой первый ребенок недоедал». Теперь ее старший сын, Франс, — очень здоровый юноша, который помогает учить других мальчиков, как готовить. Педиатрическая клиника рядом с Бвабвой, занимавшаяся проблемами недоедания, закрылась в связи с отсутствием таких случаев, хотя в целом по Республике Малави более трети детей в возрасте до пяти



Вода для питья и приготовления пищи в Бвабве поступает из трубчатого колодца, принадлежащего общине. Но изменение климата вызывает понижение уровня грунтовых вод в регионе, поэтому, чтобы принести воду домой, часто приходится совершать длительные переходы.

лет страдают остановкой роста из-за недоедания. Несмотря на пандемию COVID-19, чьи разрушительные последствия для экономики усугубили проблему недоедания по всему миру, агроэкология по-прежнему помогает Бвабве избежать голода.

Тем не менее, когда люди, определяющие политику, осенью 2021 г. собрались на саммит ООН по продовольственным системам, принятые решения по проблеме голода не включали применение агроэкологии. Среди спонсоров саммита был Фонд Гейтсов, который считает приоритетным решением ряд технологий, основанных на принципах «зеленой революции». Несмотря на огромное число доказательств того, что инициатива Фонда Гейтсов, Альянс в поддержку «зеленой революции» в Африке (*Alliance for a Green Revolution in Africa*), потерпела неудачу, один из его ведущих последователей из Руанды председательствовал на саммите ООН. У сторонников агроэкологии, таких как Альянс в поддержку продовольственного суверенитета в Африке (*Alliance for Food Sovereignty in Africa*), представляющий 200 млн производителей и потребителей продовольствия, было слишком мало

ресурсов, чтобы влиять на процесс, в ходе которого их голоса все увереннее заглушали.

Для ликвидации голода требуется гораздо больше, чем просто заставить землю приносить значительный урожай; этот процесс включает борьбу со сложившейся иерархией власти. За последнее десятилетие производство продуктов питания в целом превзошло спрос: в пересчете на каждого человека приходится больше продовольствия, чем когда-либо. Но из-за мирового и регионального неравенства, усугубившегося в результате нынешней пандемии, количество голодающих сейчас превышает уровень 2010 г. Иными словами, увеличение количества продовольствия сопровождается усугублением проблемы голода. Люди лишены продовольствия не потому, что его не хватает, а потому, что у них нет власти, чтобы получить к нему доступ.

Мировая продовольственная система первоначально формировалась в условиях колониализма, когда модели сельского хозяйства и владения землей в большинстве тропических стран были перестроены и десятки миллионов обращенных в рабство и закабаленных рабочих перевозили по всему миру, чтобы обеспечивать



Эксперименты с незнакомыми культурами (слева) и рецептами помогают жителям Бвабвы обеспечивать здоровый рацион, а также гендерное равенство, которое приводит к снижению нагрузки на женщин. Уинстон Згамбо помогает Аните Читайе готовить пончики из бобовой муки (в центре). Муж Аниты, Кристофер Ньони (справа), тоже готовит, что традиционно было женской работой.



европейцев тростниковым сахаром и другими тропическими культурами, к которым те приобрели вкус. Тем не менее с крахом колониального мира эта система получения продовольствия вовсе не прекратила существование, а стала только сильнее из-за условий, связанных с выдачей кредитов международными финансовыми институтами, такими как Всемирный банк и Международный валютный фонд (МВФ). Для того чтобы расплатиться с долгами, Африка сегодня экспортирует все — от роз до бульона.

Агроэкология избавляет беднейших фермеров мира от подобных контролирующих структур и сдвигает баланс силы в мировой продовольственной системе в сторону людей, подобных Аните Читайе, одной из миллиардов тех, кто находится в самом основании социально-экономической пирамиды. Неудивительно, что этот подход непопулярен у бизнеса, занятого традиционным сельским хозяйством, правительств «глобального Севера» и организаторов саммита по продовольственным системам. Тот факт, что агроэкология признает необходимость принятия решений для борьбы с системными проблемами, превращает ее в угрозу.

Голод в Малави

Всю свою жизнь, пытаясь добраться до сути проблемы, почему голод существует и что можно сделать, я работал в таких организациях, как ООН и Всемирный банк, участвовал в протестных выступлениях за пределами и внутри Всемирной торговой организации.

Впервые я посетил Бвабву в 2011 г. по приглашению Рэйчел Безнер Керр (Rachel Bezner Kerr). Безнер Керр, профессор Корнеллского университета, специализирующаяся на исследованиях в области развития, приехала в Малави десятилетием ранее и оказалась в центре экономического кризиса. Государство Малави неожиданно сократило субсидии на удобрения, и это, во время пандемии СПИДа, тоже вело к гуманитарному и экономическому хаосу. Фермеры, большинство которых использовали промышленные методы ведения сельского хозяйства, требующие дорогих химических удобрений, были в отчаянии. Безнер Керр хотела стать полезной, поскольку занималась разработкой проекта для получения степени магистра, поэтому она искала самые бедные семьи для поддержки в рамках своего исследования. К счастью, она познакомилась с Эстер Лупафьей (Esther Lupafya), медсестрой, возглавлявшей программу материнского и детского здоровья в больнице маленького города Эквендени. Вместе женщины выявляли тех фермеров, включая Читайю, которые были готовы попробовать другой способ ведения сельского хозяйства: такой, что избавил бы их от зависимости от мирового агробизнеса и его союзников.

Чтобы добраться до Бвабвы, нужно ехать шесть часов на машине на север от столицы Малави, Лилонгве. Дорога на север от аэропорта



Лилонгве, вдоль которой везде стоят знаки, оповещающие о проектах помощи нескольких неправительственных организаций и иностранных агентств по оказанию помощи, пролегает по восточному берегу озера Ньяса (Малави), третьего по величине пресноводного озера континента. Миновав Мзузу, крупнейший город на севере Малави с шестиэтажным зданием Банка Малави, и город поменьше, Эквендени, дальше надо ехать по грунтовым дорогам, чтобы добраться до Бwabвы. Если на больших орошаемых полях вдоль главной магистрали растут аккуратные монокультуры зерновых, то поля рядом с деревней меньше, более сухие, уходят под откос и покрыты зарослями разных культур, каждая из которых соответствует нуждам семьи, ухаживающей за ней, и экологическим условиям конкретного поля.

Север Малави не всегда выглядел так. Первым белым человеком, прибывшим сюда в 1858 г., был шотландский путешественник-миссионер Дэвид Ливингстон. Его деятельность привела к основанию британского протектората Британская Центральная Африка, который позднее получил название Ньясаленд. На фотографиях того времени запечатлен лесной район. Британский земледелец Бертрам Эдвард Лилли (Bertram Edward Lilley) в 1920-х гг., посмотрев на Малави, заявил: «Не настало то время, когда

на туземца можно положиться, чтобы выращивать сельскохозяйственную продукцию в количестве, подобном тому, что выращивает белый человек».

Стремясь выжать из колониальных ресурсов все что можно, британцы начали экспортировать слоновую кость и лесоматериалы и переходили к выращиванию культур, которые в итоге преобразили земли и экономику Малави: чая, хлопка, сахара и табака. Колонисты захватывали землю, но им были нужны работники, поэтому они обложили местные домашние хозяйства налогом на жилье, который должен был уплачиваться наличными ежегодно. Сначала семьи платили колонистам, продавая собственное накопленное богатство, обычно домашний скот, до тех пор пока ничего не оставалось. Тогда они отправляли здоровых мужчин наниматься на работу на малавийские плантации и на рудники дальше к югу. Долги превратили экономически самостоятельных фермеров и скотоводов в работников, занятых тяжелым физическим трудом за жалкие гроши.

Долги сделали заложника кредиторов и из Малави. В 1964 г. Республика Малави получила независимость только для того, чтобы следующие 30 лет провести под руководством автократа Хастингса Банды. Западные спонсоры поощряли его режим «железной руки», выдавая

Что такое агроэкология?

Агроэкология — это метод производства продовольствия, копирующий природу: биоразнообразию и рециркуляция ресурсов и питательных веществ используются для повышения продуктивности, борьбы с вредителями, обогащения почв и отказа от применения химикатов. Важно, что этот метод не только позволяет маргинализированным сообществам производить достаточное количество продовольствия для них самих и других экологически безопасным способом, но и гарантирует справедливое распределение пищи, что способствует повышению продовольственной безопасности и достижению большего гендерного равенства и равноправия поколений, а также других форм равенства. Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН определила десять базовых принципов, которым следуют сообщества, применяющие агроэкологию.

Человеческие и общественные ценности

Внимание к вопросам равенства, вовлечения и справедливости гарантирует, что никто не останется голодным. Женщины, которые в большинстве культур отвечают за питание семьи, — ключевые новаторы и лидеры агроэкологических проектов. В то время как индустриальные системы обесценивают фермерский труд, производство продовольствия становится общей, доставляющей удовольствие задачей и движущей силой для усиления связей с природой и общиной. Защита окружающей среды дает возможность будущим поколениям унаследовать нетронутые природные системы.

Экономика замкнутого цикла и солидарности

Агроэкология стремится объединить производителей и потребителей продовольствия в локальный круг, чтобы производство соответствовало потребностям. Такая локализованная экономика значительно повышает доходы производителей, обеспечивает потребителей более свежими продуктами, усиливает связи внутри общины и снижает уровень образования отходов и расходы энергии на транспортировку.

Ответственное управление

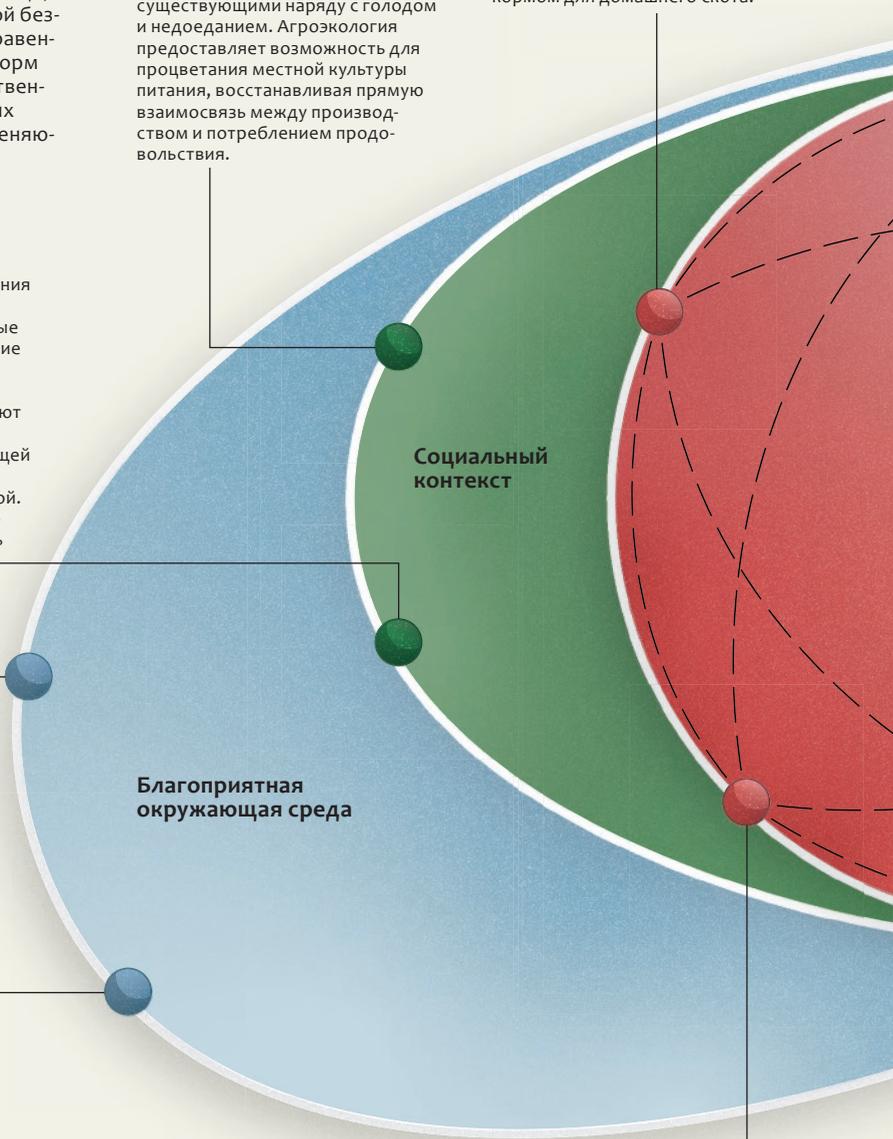
Системы управления на глобальном, национальном и местном уровнях, которые защищают права общин — производителей продовольствия на землю, чистую воду, интеллектуальную собственность (например, традиционные семена и секреты производства) и другие ресурсы, необходимы для процветания агроэкологических систем. Существующая система торговли и управления направлена против мелких фермеров, которые относятся к тем, кто обладает самыми большими долгами в мире и больше всего недоедает.

Культурные и продовольственные традиции

Индустриальное сельское хозяйство и мировая торговля привели к несбалансированному питанию людей по всему миру, которое сопровождается сердечно-сосудистыми заболеваниями и диабетом, существующими наряду с голодом и недоеданием. Агроэкология предоставляет возможность для процветания местной культуры питания, восстанавливая прямую взаимосвязь между производством и потреблением продовольствия.

Рециркуляция

Агроэкология использует рециркуляцию природных ресурсов и питательных веществ. Как и в природе, в результате применения агроэкологии не образуются отходы. В ходе повторяющихся циклов атмосферный азот попадает в почву и опять в атмосферу, дождевая вода из рощ поступает на поля, затем в атмосферу, навоз сельскохозяйственных животных обеспечивает удобрения, а растительные остатки, такие как солома, становятся кормом для домашнего скота.



Социальный контекст

Благоприятная окружающая среда

Устойчивость

Разнообразие сельскохозяйственных культур гарантирует более быстрое восстановление после связанных с климатом стихийных бедствий и других чрезвычайных обстоятельств природного характера. Кроме того, способность выращивать продовольственные культуры с использованием местных и рециркулируемых ресурсов помогает защитить общины от внешних экономических потрясений.

Эффективность

Половина азота, обеспечиваемого за счет синтетических удобрений, приводит к загрязнению окружающей среды, а гибридные и генетически модифицированные зерновые культуры истощают запасы грунтовых вод. Агроэкологические системы, напротив, используют ресурсы и питательные вещества с оптимальной эффективностью. Адаптированные к местным условиям посевы, сбор поверхностного стока, азотфиксирующие микроорганизмы и естественные хищники помогают производить продовольствие с минимальным привлечением внешних ресурсов.

Синергия

Различные под-системы агроэкологии действуют совместно для создания чего-то гораздо большего, чем простая сумма ее частей. Агроэкология не только снижает уровень голода и бедности, она сохраняет и повышает плодородие почв, снабжение водой, природу, культуру и сообщество ради блага нынешнего и будущих поколений, обеспечивая маргинализированным людям справедливость и равенство.

Ключевые концепции**Разнообразие**

Уплотненные посевы с использованием разных видов повышают продуктивность и устойчивость: одна культура может не расти в условиях, обеспечивающих процветание другой. Повышение биоразнообразия за счет обеспечения среды обитания для лягушек, птиц и других насекомоядных помогает, например, бороться с вредителями. Более того, агроэкологические системы сами по себе разнообразны: каждая из них приспособлена к местным условиям среды и культуре.

Совместное создание и обмен знаниями

Общины работают вместе, чтобы определить и совместно использовать агроэкологические методы, больше всего подходящие для их конкретных экологических и культурных условий. Не существует универсального, данного сверху предписания о том, что должно выращиваться и как; вместо этого существуют рекомендации, касающиеся процесса совместных экспериментов и открытий, которые в разных местах ведут к разным решениям.

крупные кредиты для поддержки промышленного развития страны, но при этом игнорируя ухудшение ситуации с недоеданием. Такие кредиты стали орудием голода в Малави и, по сути, во всей Африке. В ранний постколониальный период Африка была чистым экспортером продовольствия, продавая 1,3 млн т ежегодно в период с 1966 г. по 1970 г. Но кризис 1970-х гг., связанный с ценами на нефть, заставил африканские правительства брать кредиты у Всемирного банка и МВФ в еще больших объемах. Такие кредиты на структурную перестройку выдавались со строгими условиями, выполнение которых, помимо других мер, требовало сокращения государственных расходов на образование и здравоохранение и приватизации национального достояния. Более того, африканским странам дали указание сосредоточиться на экспорте тех же культур, что и в колониальный период: это должно было обеспечить им средства для погашения долгов.

Несмотря на ежегодные выплаты кредиторам в среднем \$100 млн, Малави остается одной из стран с самым большим внешним долгом в мире. Хуже того, отведение самых богатых земель под выращивание товарных культур на экспорт вместо продовольственных культур для существования означало, что структурная перестройка к 1990-м гг. превратила Африку в импортера четверти потребляемого ею продовольствия. В период между 2016 и 2018 гг. Африка импортировала 85% своего продовольствия из стран за пределами континента — это зависимость, подрывающая экономику.

Испытание, анализ, обмен

В 1992 г. национальное исследование показало, что 55% малавийских детей не достигают роста, соответствующего их возрасту, — это ключевой показатель недоедания. Правительство попыталось нарушить строгие ограничения, наложенные международными банками и донорами, выделяя субсидии на удобрения для фермеров, но в конце концов уступило требованиям уделить первостепенное внимание выплате долгов. Лупафья и Безнер Керр начали свою работу вскоре после прекращения такой поддержки со стороны правительства и в 2000 г. учредили инициативу «Почвы, продовольствие и здоровые общины» (Soils, Food and Healthy Communities, SFHC) в Эквендени. SFHC, начавшаяся с 30 фермеров,



Питательные продукты, такие как голубиный горох и фасоль (слева), обычно не очень нравятся детям, но обучение секретам приготовления помогает формировать детские вкусовые предпочтения (в центре). Жаренным во фритюре пончикам из бобовой муки (справа) всегда рады.



сейчас работает более чем с 6 тыс. человек в 200 деревнях, содействуя внедрению агроэкологии.

Вместе с Читайей женщины начали с экспериментов с посадкой в междурядья местного арахиса и других видов бобовых. Такая система уплотненных посевов с разными видами бобовых в междурядьях дала фермерам возможность собирать урожай орехов и бобов для своих детей, а затем закапывать богатые азотом растительные остатки в почву, чтобы увеличить урожай кукурузы, не покупая удобрения. Некоторые фермеры пошли еще дальше, экспериментируя с моделями посадки в междурядья овощных культур. Одновременно SHFC разработала систему экспертной оценки, в рамках которой участники регулярно встречались для обсуждения мер по увеличению плодородия почв. Женщины-фермеры долго обменивались знаниями, как вырастить дагуссу, или просо пальчатое (*Eleusine coracana*), устойчивое к засухе растение, обладающее высокопитательными зернами, из которых делают плотную кашу и горькое пиво. Инициатива SFHC придала официальный статус этой традиции обмена информацией.

Проводя испытания различных систем посевов бобовых на «родительском» участке в центре разных деревень, фермеры потом могли перейти к экспериментам на собственных полях, исходя из своих предпочтений, касающихся здоровья почвы, и в зависимости от того, сколько времени они могли потратить на уход за посевами. В результате обсуждений и многократных повторений в течение нескольких лет масштаб экспериментов, в которых сначала принимали участие

несколько десятков домашних хозяйств, увеличился (в них стали участвовать тысячи фермеров) и оказалось, что комбинирование голубино-го гороха и арахиса дает наилучшие результаты в процессе фиксации азота. По мере улучшения качества почвы некоторые фермеры, среди них много женщин, стали преуспевать и смогли не только кормить свои семьи, но и продавать значительные излишки на местном рынке.

Однако поскольку каждый фермер, каждое поле и каждый сезон отличаются, эксперименты продолжались. Некоторые женщины пробовали, казалось бы, неподходящие сочетания, такие как соя и томаты (растения родом из Азии и Америки соответственно), рядом с местными африканскими видами, такими как просо пальчатое (культивирование проса раньше не поощрялось, поскольку это зерно нельзя было экспортировать за доллары, но его все равно выращивали, потому что женщины часто делали из него пиво в качестве источника дополнительного дохода). В Бвабве поля представляют собой сочетание чужеродных и местных видов, отобранных методом проб и наблюдений сетью фермеров, обменивающихся знаниями и идеями и оценивающих работу друг друга.

Подобная открытость для экспериментов и адаптации объясняет, почему примерно в марте на бесперспективном красном грунте можно



увидеть систему культивирования, которая выглядит так, будто она не соответствует этому месту. Высокие ряды кукурузы вырастают из-под земли, вокруг них закручивается вьющаяся фасоль, а у ее основания видны толстые, темные веерообразные листья и цветки местной тыквы. В сельском хозяйстве Центральной Америки такой метод известен под названием «три сестры»: кукуруза, фасоль и тыква.

В Малави адаптированные к местным условиям виды действуют вместе сходным образом: кукуруза или просо дают богатое крахмалом зерно, составляющее основу каждого блюда. Стебли также поддерживают фасоль, которая обеспечивает белок и фиксирует азот. Корневые клубеньки бобовых (таких, как фасоль и арахис) — место симбиоза растения и клубеньковых бактерий. Растение обеспечивает бактерии энергией; бактерии извлекают химически инертные молекулы азота из воздуха и превращают их в аммиак и аминокислоты для растения-хозяина. Это благотворно действует на зерновые, которым для процветания нужен биологически доступный азот. Большие листья тыквы (или другого вида тыквенных) обеспечивают тень, поэтому сорняки не растут, а ее цветы привлекают полезных насекомых, которые снижают количество вредителей. Кроме того, в конце сезона появляются плоды.

При совместном выращивании эти культуры дают больше продовольствия на единицу площади по сравнению с тем, когда они растут отдельно. Поликультуры заметно более эффективны, чем монокультуры. После сбора урожая пожнивные остатки вновь закапывают в почву для повышения ее плодородия и создания структуры для почвенного биома.

В начале 2000-х гг., когда плодородие почв в Бвабве повысилось, некоторые из беднейших женщин начали собирать богатый урожай зерна, бобов и овощей. Интерес к методу уплотненных посевов возрос. Но, несмотря на зримые улучшения производства продовольствия, уровень недоедания у детей оставался удивительно высоким. Некоторые фермеры — участники проекта, воодушевленные тем, что они становятся агрономами, начали задаваться вопросом, как решить эту проблему.

Борьба с патриархатом

Благодаря работе в педиатрической клинике у Эстер Лупафьи возникло подозрение, что отчасти в недоедании младенцев виноваты традиции. Этнографическое исследование, проведенное среди жителей деревень, участвующих в инициативе *SFHC*, подтвердило ее догадку. Внутри патриархальной расширенной семьи свекровь имеет власть над невестками. Когда в такой сети распространяется необоснованный родительский совет — будто бы дети плачут, потому что им не дают твердую пищу, — молодым матерям рекомендовали отнимать детей от груди в возрасте двух месяцев. Этот совет идет вразрез с огромным количеством научных данных о том, что вскармливание только грудным молоком в течение первых шести месяцев, а затем сочетание грудного вскармливания и твердой пищи до двухлетнего возраста обеспечивает детям наилучшее начало жизненного пути.

Лупафья придумала способ выражения вежливого несогласия с традицией. *SFHC* обучала деревенских женщин и мужчин в качестве посредников для проведения трудных бесед, особенно между свекровями и невестками. Благодаря ежемесячным встречам и руководству Лупафьи и других научные данные распространяли, а дезинформацию искореняли.

Лупафья тоже кое-чему научилась. «Перемены начинаются с отрицания, — рассказывала она мне. — Именно тот, кто больше всего спорит, будет меняться». Решив вопрос с доступностью продовольствия и методами грудного вскармливания, рядовые социологи — люди на местах — занялись другой выявленной ими причиной недоедания у детей: домашним насилием и патриархатом в целом. Независимость женщин связана с улучшением показателей питания детей. Как выяснилось, гендерное неравенство означает, что женщины должны готовить, убирать, управлять фермой и кормить детей грудью. Если бы мужчины помогали с работой по дому, это повышало бы независимость женщин. Но возник вопрос: как заставить мужчин готовить?

Для того чтобы выяснить, как осуществлялось такое преобразование, я работал с командой *SFHC* более десяти лет, документально фиксируя действия Аниты Читайи в фильме «Муравьи и кузнечик» (*The Ants & the Grasshopper*). Читайя впервые встретилась с Лупафьей во время визита в педиатрическую клинику. Будучи женщиной старшего возраста, Мама Лупафья, как ее называют, поддерживала Читайю в ее трудном браке, к которому ту принудили. Посещая семинары, проводившиеся *SFHC*, потом найдя работу в качестве одного из их инструкторов, а также в результате долгой и трудной работы дома Анита Читайя превратила свой брак в такой, где существует равенство.

Бывает время, когда ее муж, Кристофер Ньони (Christopher Nyoni), с трудом выполняет свою часть работы по дому. Он страдает ночной слепотой, вероятно, потому что сам недоедал в раннем детстве. С наступлением темноты он больше не может готовить или убирать и нуждается в помощи, чтобы найти дорогу вокруг дома. Но при свете дня можно увидеть, как он согнулся над печкой, или стирает, или идет за водой, то есть делает все то, что традиционно считается женской работой. Свидетельством успеха Аниты служит то, что Кристофер стремится порвать с патриархальными традициями. Он сказал мне: «Я не хочу, чтобы мой сын женился так, как я».



Изобилие всего — продуктов, товарищества, равенства, стабильности, радости — вот один из важнейших результатов агроэкологии



Путь к преобразованиям этих и иных гендерных взаимоотношений в Бвабве пролегает через изменения культуры, связанной с питанием. Первоначальные попытки достичь такого сдвига были связаны с организацией работы от дома к дому. Члены *SFHC* посещали дома вместе со специалистом и предлагали научить мужчин готовить новые продукты, такие как соя. После оживленно проведенного послеполуденного времени вокруг печи, которое сопровождалось увещеваниями принести пользу, мужчины обещали измениться. Но обещание не выполняли. Поэтому фермеры *SFHC* придумали альтернативу.

Мужчины постоянно боялись общественного осуждения из-за выполнения женской работы по приготовлению еды. «Что если меня увидят мои друзья?» — спрашивал Уинстон Згамбо (Winston Zgambo). Попробовав угодить стеснявшимся мужчинам, предлагая частные уроки готовки, команда *SFHC* в конце концов выбрала противоположный путь. Они стали проводить публичные кулинарные соревнования для целых семей. В Дни рецептов все мужчины участвовали в приготовлении еды, и это было весело. Превращая изменение поведения в игру, предложив поощрительные призы и общественное признание успеха, женщины открыли возможности для изменения не только культуры питания, но и ситуации с неравенством полов в доме.

Данные о работе *SFHC* говорят сами за себя. Участие в программе привело к тому, что показатели веса детей, которые были ниже средних значений для каждого возраста, теперь превосходят среднюю величину. Последнее исследование, в ходе которого женщины-фермеры показывали другим матерям, как заниматься земледелием, принесло пользу в разных областях — от повышения разнообразия рациона детей до снижения уровня депрессии у матерей и большего участия отцов в выполнении домашних дел.

Богатое будущее

Агроэкология означает заботу не только обо всех людях, но и об экосистемах, от которых мы зависим. В том варианте сельского хозяйства, где применяются химикаты, фермеры выращивают единственную культуру. Они покупают удобрения, пестициды, гербициды и доступ к воде, а при необходимости берут в аренду опылителей, чтобы максимально повысить урожайность. Доходы от продажи урожая земледельцы используют для оплаты счетов и долгов. Фермеры, применяющие метод агроэкологии, находят пути достижения экологического равновесия, а не истребления вредителей. Они считают допустимыми небольшие потери культур ради

обеспечения среды обитания для насекомоядных и внедрения иных форм биологического контроля для того, чтобы получить гораздо более здоровую и устойчивую экосистему. На севере Малави биоразнообразие — это часть достигнутого *SFHC* успеха, поскольку оно обеспечивается в каждой успешной агроэкологической системе. На этих территориях больше насекомых, амфибий, рептилий, рыбы, птиц и млекопитающих, чем в бесплодных зеленых пустынях с современными монокультурами.

В мире с экстремальными погодными условиями агроэкологическое разнообразие, как социальное, так и биологическое, — источник устойчивости. Когда ураган «Айк» в сентябре 2008 г. прошел по Кубе, он оставил на полях разбросанные поваленные деревья и обломки. По данным исследователей, в провинции Санти-Спиритус фермам, придерживающимся принципов традиционного земледелия, при котором большие площади заняты одной и той же культурой, понадобилось около полугода, чтобы восстановиться после катаклизма. Однако большинству диверсифицированных ферм, обладающих высокими овощными бананами, или плантайнами, фруктовыми деревьями, многолетними культурами и напочвенным покровом, всего за два месяца удалось восстановить 80% своей производительности до шторма. Поскольку высокие деревья, образующие полог, унес ураган, другие растения в нижнем ярусе стали получать больше света и расти быстрее: разнообразие составляло своего рода ботанический страховочный портфель. Более того, семьям, живущим на диверсифицированных фермах, удалось спасти некоторые деревья на следующее утро после урагана, тогда как работники обычных ферм находились далеко от полей, поскольку трудятся сезонно по контракту.

Агроэкология дает возможность также для устойчивого дохода. Мелкие фермеры, как правило, получают очень слабую поддержку. Они должны сами управлять потоками денег на ферме. В традиционном сельском хозяйстве большие деньги поступают лишь однажды — в сезон сбора урожая, и их может оказаться недостаточно или недостаточно, чтобы покрывать связанные с поддержанием фермы долги и убытки в течение года. С другой стороны, в агроэкологии поступление доходов может возрастать за счет культур, которые созревают даже в худшие времена. Например, в Мексике одна группа фермеров дополняет свой доход от кукурузы за счет сбора меда и урожая кофе.

В отсутствие надежных банков фермеры иногда создают собственную экономику замкнутого цикла и обмена. Во многих местах есть местные зернохранилища, которые помогают

справляться с циклами бума и спада урожая и голодом. В Бwabве несколько лет назад женщины создали кредитный кружок, чтобы помочь управлять потоком денег и развивать иные источники дохода, такие как продажа «плит, борющихся с изменением климата» — подставок для приготовления пищи, которым требуется намного меньше дров, чем для традиционных дровяных печей. Некоторые женщины объединили свои ресурсы и по очереди брали деньги взаймы, а потом выплачивали долги. Но круг сбережений был уничтожен в результате проведенной по указанию МВФ девальвации малавийской квачи (денежная единица Малави) в 2012 г.

Кризис, связанный с COVID-19, сделал жизнь фермеров более тяжелой. Рост цен на продовольствие привел к напряженной ситуации с финансами, а поскольку для того, чтобы общины могли оставаться дома в безопасности, ресурсы были направлены на срочные меры по смягчению последствий, жизнь каждого стала тяжелее. Тем не менее агроэкологические методы, по-видимому, дали возможность деревням, объединенным инициативой SFHC, переносить пандемию лучше, чем общины, не участвующие в проекте.

Накормить мир

То, что происходит в Малави и среди сотен миллионов фермеров, проводящих эксперименты с новыми вариантами агроэкологических методов, имеет значение для всей планеты. Агроэкология предлагает возможность сделать то, что не удалось правительствам, корпорациям и гуманитарным организациям: покончить с голодом. Какое-то время, вероятно, было просто говорить об агроэкологии, что «все это очень хорошо, но не накормит мир». Однако у фермерских семей, применяющих агроэкологические методы, улучшились показатели, касающиеся дохода и питания. От Непала до Нидерландов, когда применение принципов агроэкологии не ограничивается лишь полями, а простирается на отношения в семьях, обеспечивая большее равенство, и в общинах, создавая сети обмена и заботы, фермеры чувствуют себя лучше финансово и физически.

Решения, выработанные с учетом предложений Всемирного экономического форума при поддержке пищевой и химической промышленности и представленные на встрече в ООН, были гораздо менее оригинальными. Они к тому же недостаточно масштабны, чтобы исправить вред, наносимый индустриальным сельским хозяйством окружающей среде, или хотя бы признать, что такой ущерб существует наряду с другими. Этот, по общему мнению, научный метод выращивания продовольственных

культур — один из основных факторов, влияющих на изменение климата. Цветение водорослей в результате азотного и фосфорного загрязнения вод приводит к истощению водных биологических ресурсов. Девственные леса вырубают под ранчо и плантации. Водоносные горизонты истощаются из-за интенсивно потребляющих воду товарных культур. Плодородная почва превращается в стерильную пыль, поскольку химические вещества убивают необходимые микроорганизмы, а пестициды уничтожают насекомых, от которых зависят расширенные цепочки живых организмов.

В июле Фонд Рокфеллера сообщил, что американцы потратили на продовольствие в 2019 г. \$1,1 трлн, и вместе с тем связанные с пищевой промышленностью дополнительные затраты на здравоохранение, экологию, решение проблемы изменения климата, поддержание биоразнообразия и экономические издержки составили \$2,1 трлн. Это серьезный долг, причем такой, который промышленности никогда не придется заплатить. Бремя расходов несет остальной мир. Тем не менее фирмы, ответственные за этот ущерб, были единственными, предлагавшими решения на саммите.

Мы знаем, как сделать лучше. Агроэкология — это больше чем просто решение, отвечающее всем требованиям. И дело не только в том, что выращиваются более разнообразные культуры, а в том, что социальные объединения, связанные с ними, более информированы о власти. Скрытые издержки индустриального сельского хозяйства агроэкология делает явными. Агроэкология поощряет сообразительность тех, кто находится на передовой, обеспечивает средства к существованию для бедных и защищает биоразнообразие планеты. Исследователи и практики, внедряющие агроэкологические методы, уже напряженно работают, учась друг у друга.

Такие сети знания уничтожают комплекс колониалиста-спасителя, все еще свойственный многим специалистам по развитию. Наоборот, в агроэкологии, как выразилась Анита Читайя, «женщины могут учить мужчин, чернокожие — белых, бедные — богатых». Читайя размышляет над тем, что, несомненно, предстоит борьба, особенно потому, что могущественные люди, кажется, удваивают ставку на индустриальное сельское хозяйство: «Столько всего было утрачено. Но никогда не поздно измениться». ■

Перевод: С.М. Левензон

ИЗ НАШИХ АРХИВОВ

■ Деб Д. Возрождение биоразнообразия риса // ВМН, № 12, 2022.

УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ

БОЛЬШЕ ПИЩИ,



МЕНЬШЕ ОТХОДОВ

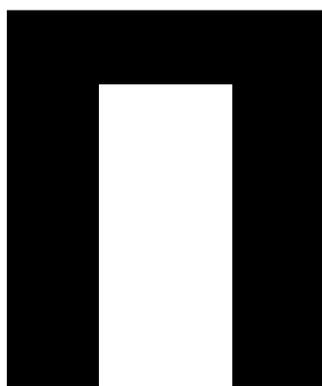
Сокращение потерь по всей пищевой цепи приведет к увеличению количества продовольствия и значительному снижению выбросов парниковых газов

Мамта Мехра и Чад Фришман

ОБ АВТОРАХ

Мамта Мехра (Mamta Mehra) — главный научный сотрудник отдела почвоведения некоммерческой организации *Project Drawdown*.

Чад Фришман (Chad Frischmann) — ведущий научный сотрудник программы *Drawdown Solutions Framework*, реализуемой в рамках *Project Drawdown*. Член международной исследовательской группы, занимающейся проблемами изменения климата.



Представьте, что вы выходите из супермаркета с тремя пакетами, битком набитыми продуктами. Подойдя к дому, вы швыряете один в контейнер с мусором, содержимое которого потом окажется на свалке. Что-то в этом роде проделывает время от времени каждый из нас. От 30 до 40% пищевых продуктов, купленных в магазинах, идут в отходы, при том что более 800 млн человек на Земле голодает; такое огромное количество выбрасываемой еды вызывает чувство протеста.

Если рост численности населения и развитие экономики будут идти такими же темпами, как сейчас, то к 2050 г. придется производить пищевых продуктов больше на 53 млн т ежегодно. Для этого в течение ближайших 30 лет понадобится распашать еще 442 млн гектаров земель, занятых сегодня лесами и лугами, — это больше площади Индии. Все перечисленное приведет к выбросу дополнительных 80 млрд т диоксида углерода в течение ближайших 30 лет — в 15 раз больше, чем то количество, которое попало в атмосферу в 2019 г. в США. Пищевые отходы уже сегодня отвечают за 8% глобальных выбросов парниковых газов.

К счастью, есть альтернатива. Наша группа из *Project Drawdown*, организации, занимающейся исследовательской работой и международной коммуникацией, завершила всестороннее исследование всех существующих технологий и практик, которые могут значительно снизить выбросы парниковых газов в атмосферу, несмотря на рост экономики. Один из пяти самых эффективных способов достижения этих целей (из 76, рассмотренных нами) — сокращение объемов пищевых отходов. Коренные изменения процессов производства и потребления пищи помогут обеспечить все население планеты полноценной едой не только в 2050 г., но и позже; при этом не понадобится

вырубать леса и распахать новые земли. Уменьшение количества отходов и совершенствование способов производства помогут избежать обезлесения, сэкономят огромное количество энергии, воды, удобрений и других ресурсов, высвободить рабочие руки.

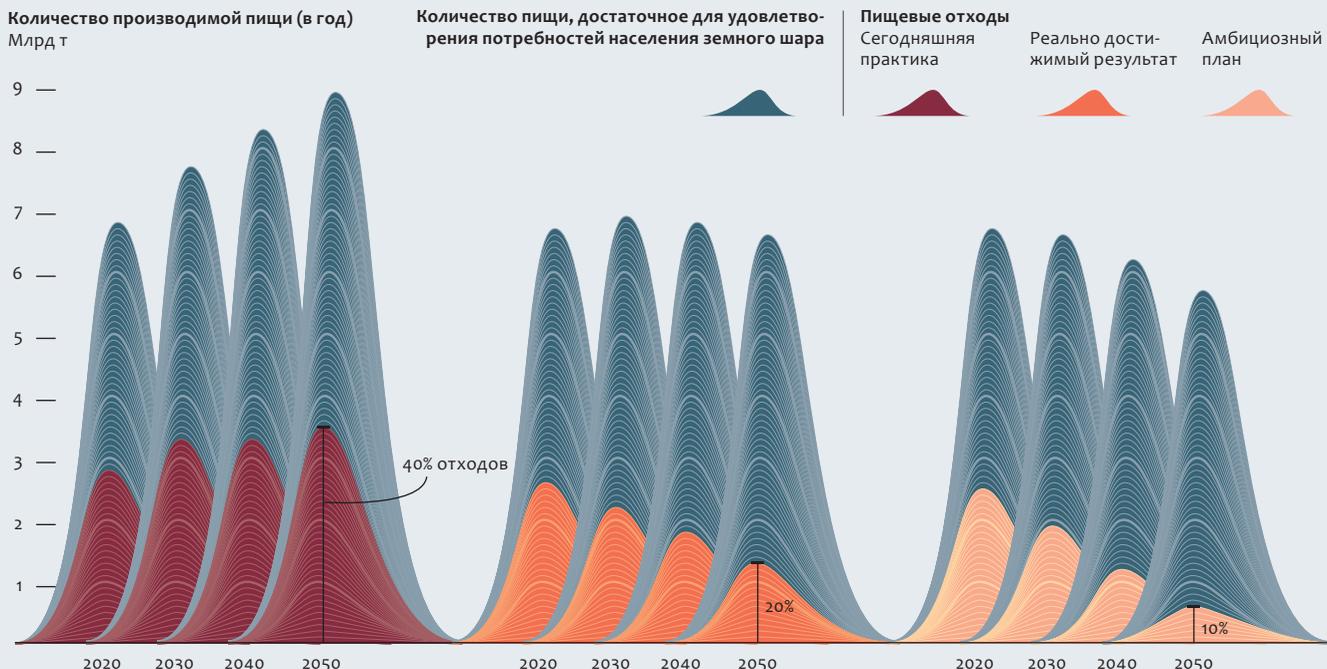
Сокращение объема отходов возможно на каждом этапе пищевой цепи — от фермы до обеденного стола.

Мы собираем урожай, выращиваем домашний скот и птицу и перерабатываем сырье в разнообразные продукты — рис, овощи, масло, сметану, сыр. Большинство из них упаковываем в картонные коробки, пластиковые банки и бутылки, стеклянные емкости, изготовленные на других предприятиях. Все это развозят по городам и странам трейлеры, грузовые самолеты и водные транспортные средства.

На складах, в супермаркетах и ресторанах продукты хранят в рефрижераторах, работающих на фторуглеродах (тех самых парниковых газах), до тех пор пока они не попадут к потребителю, чей аппетит превышает возможности его пищеварительной системы. В развитых странах еду готовят на энергоемких электроплитах, а миллионы людей бедных стран — на кухонных печах, сжигая огромное количество биомассы и загрязняя воздух.

Земля под грудой пищевых отходов

На пути от фермы к обеденному столу на выброс идут 40% пищевых продуктов. Сократив потребление и перейдя на растительную диету, а также разумно подходуя к использованию отходов, можно уменьшить эту цифру до минимума. Подобные меры позволили бы накормить миллионы голодающих людей по всему земному шару, а также сберечь водные ресурсы, сэкономить энергию и сократить выброс парниковых газов.



Сегодняшняя практика

В рамках этого сценария численность населения и количество потребляемой пищи на человека будут расти такими же темпами, как последние десятилетия. Доля пищевых отходов составит 40%.

Реально достижимый результат

Если половина жителей Земли будет потреблять 2,3 тыс. ккал в сутки и есть овощей и фруктов больше, чем мяса, к 2050 г. доля пищевых отходов уменьшится до 20%.

Амбициозный план

Если тактики, описанной выше, будут придерживаться три четверти жителей Земли, доля отходов уменьшится до 10%.

* Данные относятся к 2018 г. Показатели 2020 г. могут слегка отличаться для каждого сценария.

Каждую секунду мир выкидывает 2860 мусорных баков еды

В процессе производства, транспортировки и потребления каждый год теряется 2,7 млрд т пищевых продуктов. Ими можно было бы заполнить 2860 бытовых мусорных контейнеров ежесекундно.

Бытовой мусорный контейнер вмещает 30 кг отходов.



По оценкам, к 2050 г. потери вырастут до 3751 контейнера в секунду, если существующая практика не изменится. Если будут приняты адекватные меры по уменьшению количества отходов, то к тому же времени потери уменьшатся до 1365 контейнеров в секунду, а в случае реализации амбициозного плана это число составит всего 591 контейнер в секунду.

При сохранении нынешней практики потери к 2050 г. составят 3741 контейнер в секунду.

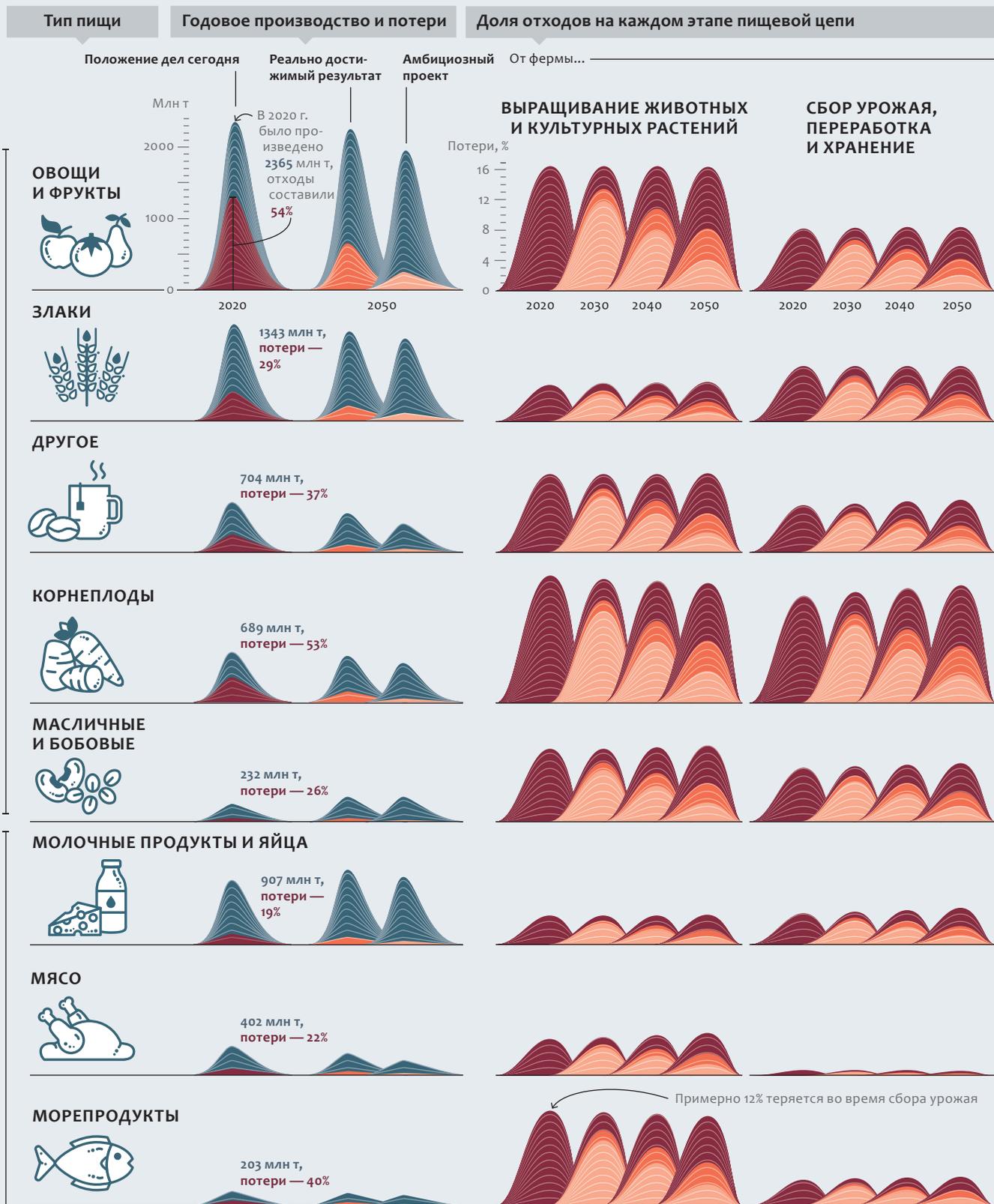
При адекватных мерах к 2050 г. потери снизятся до 1365 контейнеров в секунду.

2020 г.: 2860 контейнеров в секунду.

Если удастся осуществить амбициозный проект, то это число составит 591 контейнер в секунду.

Потери пищевых продуктов и возможности их уменьшения

Потери растительной и животной пищи происходят на каждом этапе пищевой цепи. Представленные здесь данные — средние по всему земному шару; в бедных странах потери приходятся на самые ранние этапы (сбор урожая и хранение). В странах с высоким уровнем дохода ситуация обратная: больше всего пищевых отходов образуется в торговле, ресторанах и в домашнем хозяйстве. А значит, способы снижения количества отходов зависят от локализации.



Пищевые отходы

(% глобального производства)

Положение дел сегодня



Реально достижимый результат



Амбициозный проект



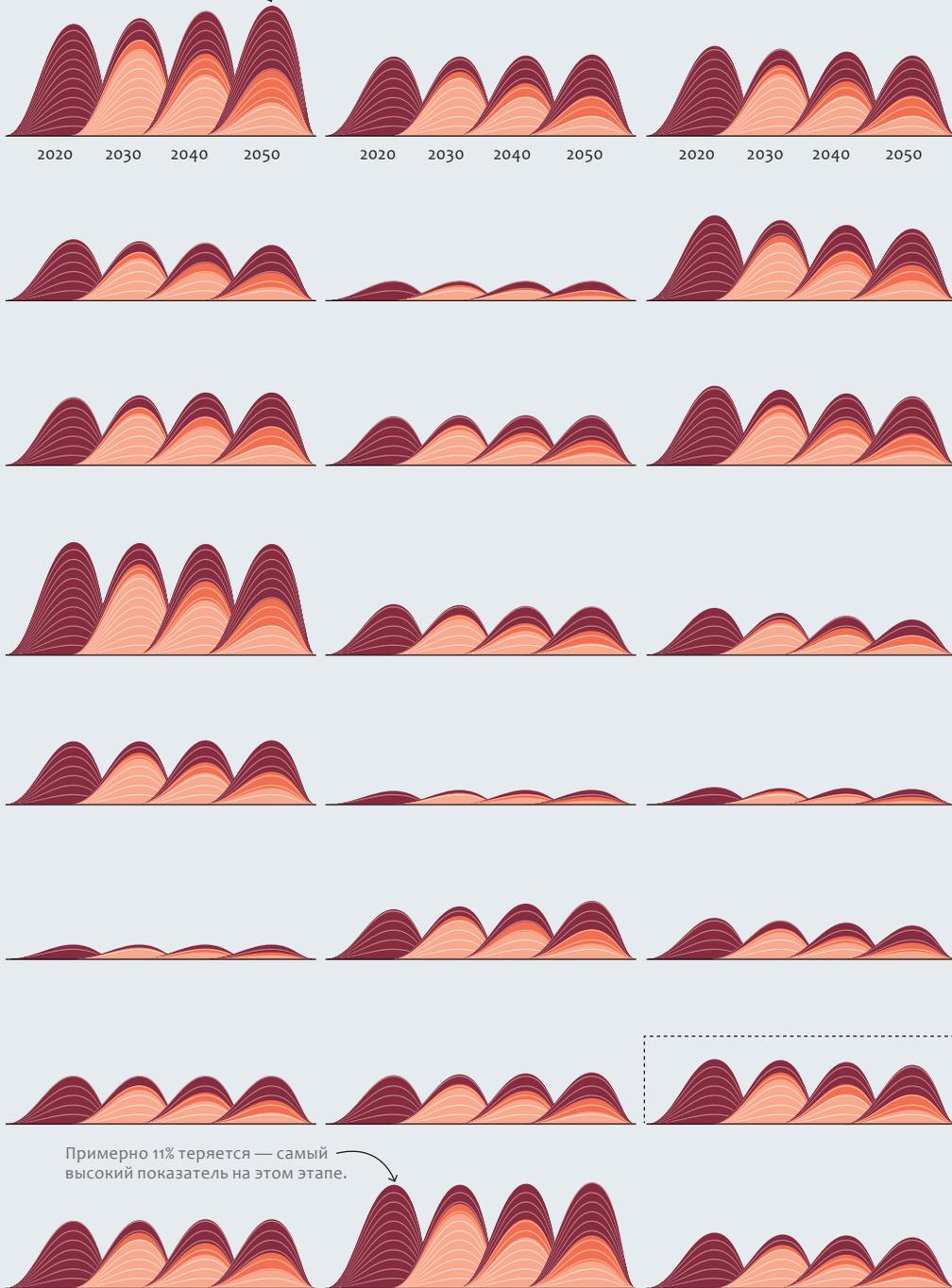
→ ...к обеденному столу

ПЕРЕРАБОТКА И УПАКОВКА

ТРАНСПОРТИРОВКА

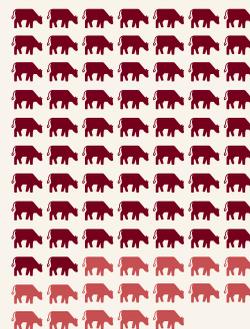
ПОТРЕБЛЕНИЕ

В некоторых регионах уровень потребления выше.



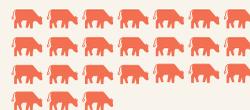
Сколько мяса идет в отходы

Каждую минуту по всему земному шару в отходы идет количество мяса, эквивалентное весу **65 коров**.



Если все останется, как есть, то к 2050 г. эта величина возрастет до **82**.

Количество отходов можно было бы уменьшить до **24 коров**, если принять реализуемый план...



...и до **восьми коров** в случае амбициозного плана.



 Взрослая корова весит в среднем 800 кг.

Примерно 11% теряется — самый высокий показатель на этом этапе.

Уменьшение выбросов углекислого газа

Если рост численности населения земного шара, уровня потребления пищи на человека и количества отходов по всей пищевой цепи сохранится, то выброс парниковых газов увеличится до невероятных размеров. Он возрастет еще больше в связи с освоением новых земель, занятых ранее лесами, которые поглощали атмосферный диоксид углерода. Изменить ситуацию могли бы два сценария — реализуемый и амбициозный.

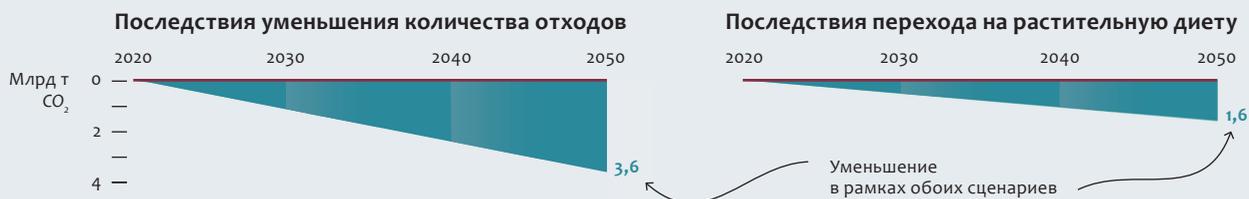
Выброс CO₂ за год

- Существующая практика
- Реализуемый сценарий
- Амбициозный сценарий

СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ CO₂ БЛАГОДАРЯ...

...УМЕНЬШЕНИЮ ПЛОЩАДЕЙ ВНОВЬ РАСПАХИВАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ

Сокращение количества пищевых отходов и переход на растительную диету позволили бы не увеличивать площади посевных земель: уже имеющихся было бы достаточно, чтобы прокормить все население Земли. При этом выбросы диоксида углерода сократились бы на миллиарды тонн.

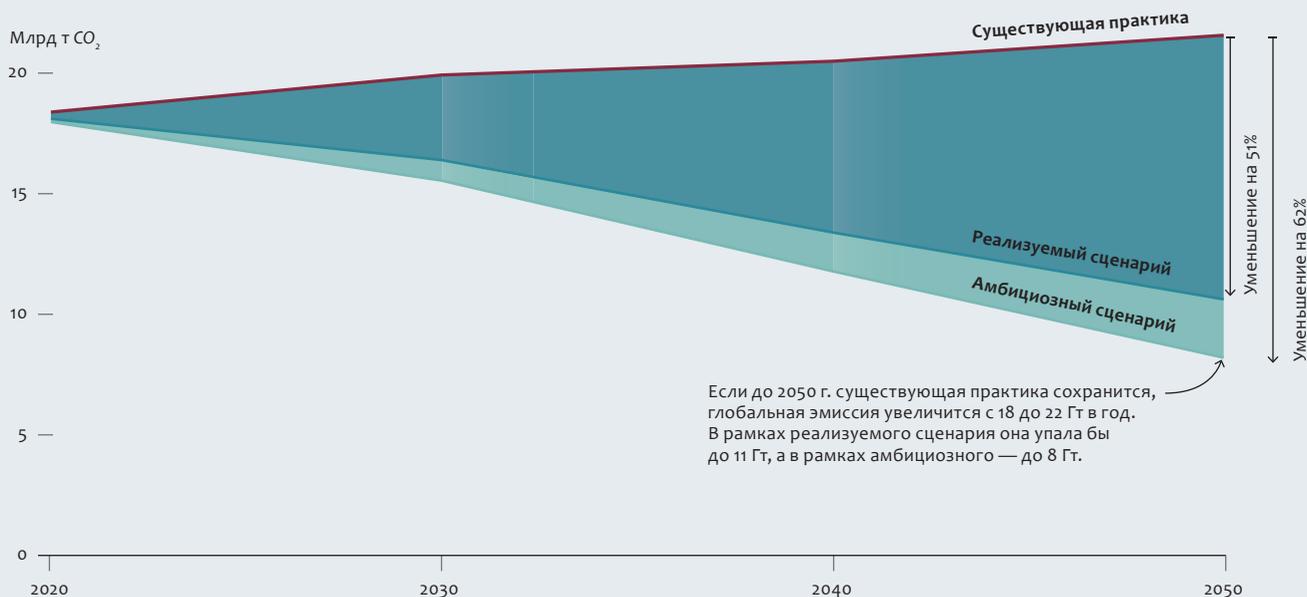


...БОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНОМУ ВЕДЕНИЮ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАБОТ

Регенеративный способ земледелия еще больше сократил бы выбросы парниковых газов при обоих сценариях



СУММАРНОЕ УМЕНЬШЕНИЕ ВЫБРОСОВ CO₂ (ЗА ГОД)



После всех этих малоэкологичных процедур огромное количество еды, изначально предназначенной для употребления в пищу, попадает в мусорные баки, которые тяжеловесные грузовые машины, работающие на ископаемом топливе, отвозят на свалку. Здесь отходы разлагаются, при этом образуется метан, еще один парниковый газ. Отправляя в ведро недоеденную лазанью, вы даете начало образованию большого количества вредных выбросов, чем какой-нибудь гниющий помидор, оставшийся на ферме. Но можно поступать иначе.

Уменьшаем экослед

В рамках *Project Drawdown* мы проанализировали обширный массив данных Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН, а также других источников и построили на их основе модель системы производства и потребления продуктов. В ней учтен рост численности народонаселения и повышения потребления мяса на душу населения (особенно в развитых странах) исходя из тенденций последних десятилетий. По нашим оценкам, более здоровая диета и переход на регенеративное ведение сельского хозяйства могут существенно уменьшить экослед — сократить количество отходов и выбросы парниковых газов, улучшить состояние окружающей среды.

Если половина жителей Земли перейдут на точное потребление не более 2,3 тыс. ккал и богатую овощами диету, а вдобавок к этому примут доказавшую свою эффективность систему сокращения отходов по всей пищевой цепи, уровень потерь продуктов снизится с нынешних 40% до 20%. Неуклонно придерживаясь этой практики, потери можно уменьшить до 10%.

Таких внушительных результатов можно было бы достичь, изменив наши давно укоренившиеся привычки. Жителям богатых стран прежде всего следует отказаться от потребления лишних калорий — перейти от нынешних ежедневных 3 тыс. ккал к 2,3 тыс. ккал, что сразу ощутимо уменьшит количество отходов. В развивающихся странах уровень потребления следует повысить, что может привести к некоторому увеличению количества отходов по всей системе. Но если каждый житель Земли будет придерживаться сбалансированной диеты и есть больше растительной пищи (не обязательно становясь при этом вегетарианцем), то в течение следующих 30 лет можно будет уменьшить количество отходов на 166 млн т. Это приведет к уменьшению посевных площадей и сокращению производства мяса.

Снижение количества отходов положительно скажется и на состоянии окружающей среды. Производство разных видов пищи — хлеба, овощей, рыбы, мяса, молочных продуктов — сопровождается выбросом неодинакового количества вредных

веществ. Так, выращивание и переработка 1 кг томатов сопровождается образованием примерно 0,35 кг CO_2 , а производство такого же количества говядины дает 36 кг выбросов. В рамках всей пищевой цепи выброс парниковых газов при производстве растительной пищи в 50 раз меньше, чем при производстве и переработке мясной.

Далее, в промышленном сельском хозяйстве широко распространены монокультуривание, слишком интенсивная обработка почвы, использование синтетических удобрений и пестицидов. Это приводит к нарушению структуры почвы и выбросу больших количеств парниковых газов. Урожай, не сразу вывезенный с полей, подвергается набегам сельскохозяйственных вредителей и плохо хранится. Свой вклад в выбросы вносит и домашний скот, поедая траву и зерновой корм.

Фермеры, работники торговли, производители, потребители могут внести свой вклад в уменьшение отходов в такой степени, чтобы прокормить все население Земли без вырубки лесов под пашни

Практика агроэкономической борьбы с вредителями — совместное культивирование разных зерновых или их чередование — поможет подавить размножение вредителей и сорняков и тем самым уменьшить потери. Усовершенствование способов ведения животноводства, в частности включение в фураж измельченной древесины, способствует повышению качества и количества корма, улучшению пищеварения, экономии фуражного зерна. Благодаря регенеративному способу ведения хозяйства можно повысить урожайность на 5–35%, восстановить структуру почвы, повысить количество поглощаемого из атмосферы углерода, применять компост и навоз вместо химических удобрений. Любые пищевые отходы, остающиеся на ферме, можно переработать и получить удобрения или подвергнуть их анаэробному разложению с получением биогаза, который можно использовать в быту. На такую практику должно перейти как можно больше хозяйств. В Соединенных Штатах в этом им помогают рестораны по всей стране при участии одной интересной организации под названием *Zero Foodprint*. Ее основатель шеф-повар Энтони Мьинт (Anthony Myint) добавляет несколько центов к счетам клиентов, чтобы финансировать создание регенеративных ферм.

Спасти третий мешок

В слаборазвитых странах самое большое количество пищи теряется еще до поступления в продажу. Чтобы минимизировать потери на этом этапе, необходимо повысить образовательный уровень работников и ввести новые технологии. Так, в индийском штате Джаркханд в хозяйствах установлены холодильники, работающие на солнечных батареях. Проект был реализован Глобальным экологическим фондом в рамках Программы развития ООН. В Африке Консорциум международных центров сельскохозяйственных исследований организовал тренинг для местных фермеров, чтобы помочь им приспособиться к изменяющимся климатическим условиям, выбрать сорта зерновых, устойчивых к засухе, научиться обрабатывать почву, не нанося ей ущерб.

В странах с высоким и средним уровнем дохода на душу населения больше всего отходов приходится на конечные звенья пищевой цепи — рынки и домашние хозяйства. Для их снижения прилагаются громадные усилия. Первый шаг в этом направлении заключается в том, чтобы выяснить, сколько продуктов и в каком количестве мы покупаем. Не следует запасаться впрок дешевыми скоропортящимися продуктами, лучше покупать ровно столько, сколько необходимо, — тогда отходов будет меньше. Если у вас гости, а еды приготовлено больше, чем нужно, не топчите складывать оставшуюся пищу в холодильник: лучше поделить ее угощением с соседями, что к тому же поможет укрепить дружеские связи.

Делу может также помочь расширение культурных границ. Кампания «Неизвестные фрукты и овощи», запущенная во Франции в 2014 г. сетью супермаркетов *Intermarché*, поставила своей целью снизить количество отходов, изменив сложившиеся представления о «неподходящих» продуктах. Маркетологи предпочитают ориентировать продавцов на продажу только таких овощей и фруктов, которые соответствуют предпочтениям покупателей, касается ли это формы, цвета продукта или чего-то другого. Не вписывающийся в привычные рамки товар может составлять до 40% в случае овощей и фруктов, их отбраковывают еще до выхода за пределы фермы. *Intermarché* продают некондиционную продукцию в специально отведенных местах по меньшей цене. Некоторые ретейлеры идут еще дальше. Так, все полки в датском супермаркете *WeFood* уставлены некондиционными продуктами, а в магазине *412 Food Rescue* в Питтсбурге часть помещения занята отбракованным по разным причинам товаром: у одного вот-вот кончится срок годности, у другого помята упаковка, третий хранится очень недолго, у четвертого неясна маркировка — и т.д. Все это раздается желающим бесплатно.

Значительный вклад в уменьшение количества отходов могут внести оптовики, ретейлеры и рестораторы. Они могут договориться с поставщиками о закупке большей части продуктов у местных фермеров, придерживающихся регенеративного способа ведения хозяйства. Наличие стандартной маркировки «срок реализации / срок годности» помогает менеджерам в сортировке, а покупателям — в определении годности продукта. Владельцы ресторанов могут варьировать размеры порции по желанию клиента, а недоеденную еду упаковывать с собой.

Как бы мы ни старались, но отходов не избежать. Анаэробное гниение и компостирование — гораздо лучший способ их переработки, чем сваливание в огромные кучи под открытым небом. При анаэробном гниении образуется горючий газ, который можно использовать в хозяйстве, а компост — прекрасное удобрение. В девяти штатах США принят закон, согласно которому органические отходы не должны попадать на городские свалки во избежание образования метана, загрязняющего атмосферу. По данным результатов последнего исследования *Project Drawdown*, если придерживаться этого подхода, можно уменьшить выбросы парниковых газов на 14 млрд т к концу следующих 30 лет.

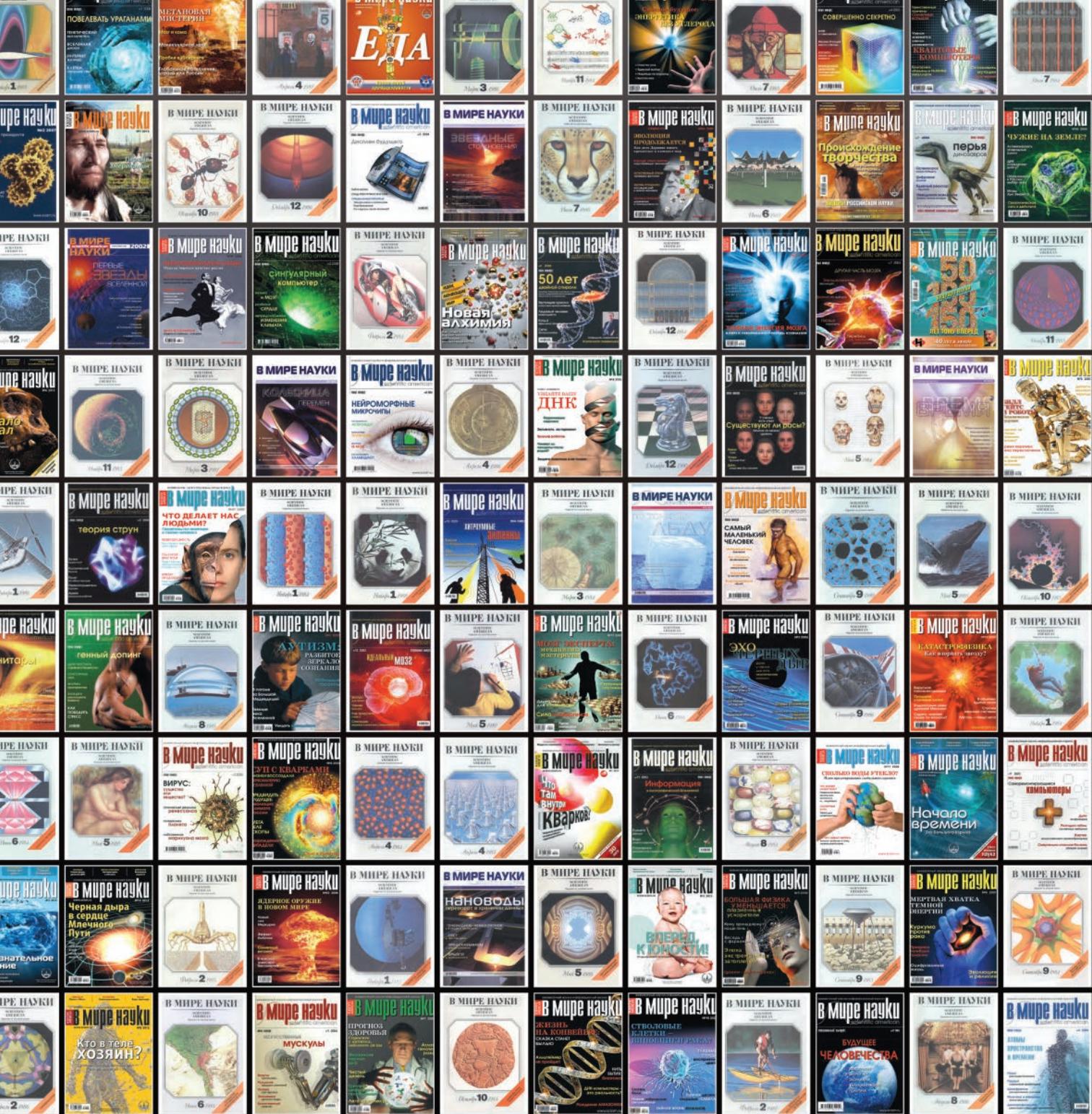
Настоящую революцию в деле уменьшения количества отходов могло бы произвести применение совокупности описанных мер. Все, от кого это зависит, — фермеры, работники торговли, руководители производств, потребители — могут внести свой вклад в уменьшение отходов в такой степени, чтобы прокормить все население Земли без вырубки лесов под пашни. Более того, уже имеющихся сельскохозяйственных земель будет достаточно для возделывания культур, из которых можно получать биопластики, биотопливо, изоляционные материалы.

Перестраивание пищевых цепей и изменение пищевых предпочтений не произойдут в одночасье. Никто не думает, что все мы немедленно откажемся от вредных привычек, станем горячими поборниками регенеративного сельского хозяйства, перейдем на растительную диету, будем разборчивы до мелочей, покупая продукты и выбрасывая отходы. Наша первоочередная задача — делать правильный выбор и быть умеренными во всем. В таком случае нам удастся спасти тот самый третий пакет с продуктами. ■

Перевод: Н.Н. Шафрановская

ИЗ НАШИХ АРХИВОВ

■ Гэррити Д., Тоенсмейер Э. Проблема биомассы // ВМН, № 10, 2020.



Хотите знать о науке больше?

Полный архив выпусков журнала
«В мире науки» — на сайте издания
по адресу: www.sciam.ru

В мире науки
SCIENTIFIC AMERICAN

Теперь можно купить
и отдельные статьи



Мумия павиана, обнаруженная в гробнице KV 51 в египетской Долине царей, возможно, была изготовлена из тела умершего домашнего любимца царской семьи



ПРИМАТОЛОГИЯ

Тайны священных павианов

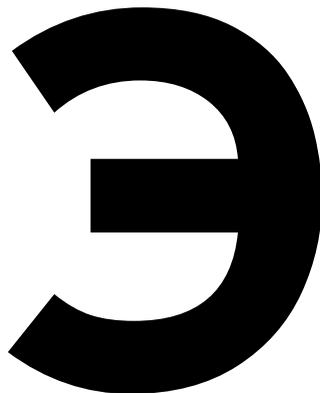
Недавние исследования живых и мумифицированных павианов помогли ученым понять, почему древние египтяне обожествляли этих докучливых приматов, а также указали на вероятное местоположение сказочной страны Пунт

Натаниэл Домини



ОБ АВТОРЕ

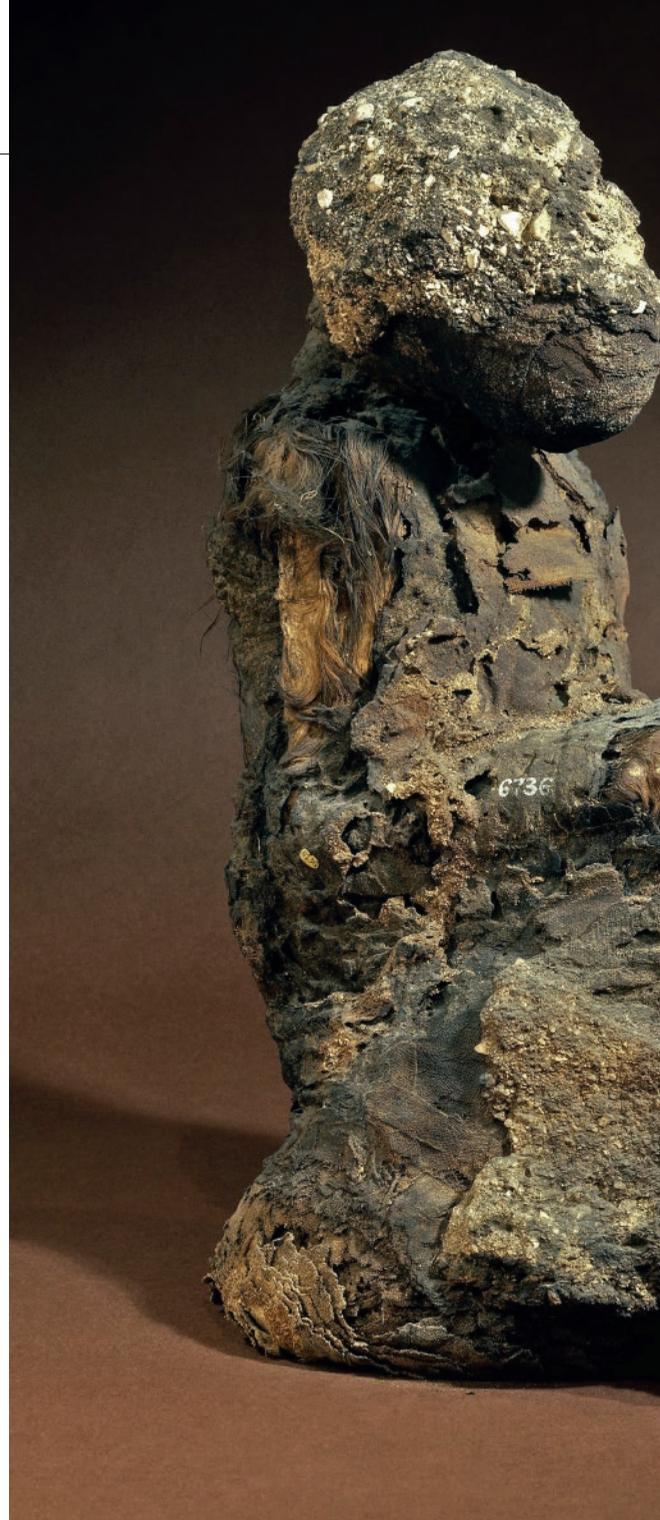
Натаниэл Домини (Nathaniel Dominy) — приматолог и эволюционный биолог в Дартмутском колледже в США. Его исследования посвящены экологии, поведению и морфологии приматов.



экспонат EA5736 Британского музея в Лондоне — это мумия некоего сидящего существа, навеки застывшего в глубоком покое. Найденная в храме древнеегипетского бога луны Хонсу в Луксоре, мумия отно-

сится к периоду Нового царства и датируется промежутком времени между 1550 и 1069 гг. до н.э. Внимательный осмотр экспоната помогает идентифицировать мумифицированные останки. Льяные бинты, туго намотанные на мумию, местами истлели, обнажив пучки густой шерсти. Из-под повязок на ногах торчат длинные пальцы с толстыми ногтями. А рентгеновские снимки дают отчетливые изображения скелетных костей и черепа с удлинённой мордой, характерные для приматов. Мумифицированное существо — павиан гамадрил (*Papio hamadryas*), которого древние египтяне считали священным животным.

Экспонат EA6736 — лишь один из множества гамадрилов, в разных обликах фигурировавших в произведениях искусства, религиозной символике и обрядовой атрибутике Древнего Египта. Эти приматы изображались на бесчисленных картинах, барельефах, статуях и ювелирных украшениях на протяжении 3 тыс. лет истории государства. Для иллюстрации сказанного можно упомянуть лишь три археологические находки: статую гамадрила с надписью имени фараона Нармера, датируемую промежутком времени между 3150



и 3100 гг. до н.э.; ожерелье, украшенное фигурками радующихся солнцу гамадрилов и принадлежавшее фараону Тутанхамону, который правил страной с 1332 г. по 1323 г. до н.э.; и роспись западной стены его гробницы с изображениями 12 гамадрилов, символизировавших, по мнению экспертов, разные часы ночи.

Египтяне почитали гамадрила в качестве воплощения Тота — бога луны и мудрости и главного советника бога солнца Ра. Но павианы не были единственными животными, перед которыми благоговели египтяне. Бог



Nathaniel J. Dominy

смерти Анубис изображался в облике шакала, бог неба и охоты Хорус — сокола, а богиня плодородия Таурт — в виде стоящей на задних ногах самки бегемота. И тем не менее выбор египтянами гамадрила в качестве священного животного вызывает некоторое недоумение. Во-первых, большинство людей, которым доводилось встречаться с этими приматами, считают их злобными, коварными и весьма опасными существами. Во-вторых, гамадрил оказался единственным животным в пантеоне египетских богов — не представителем местной фауны.

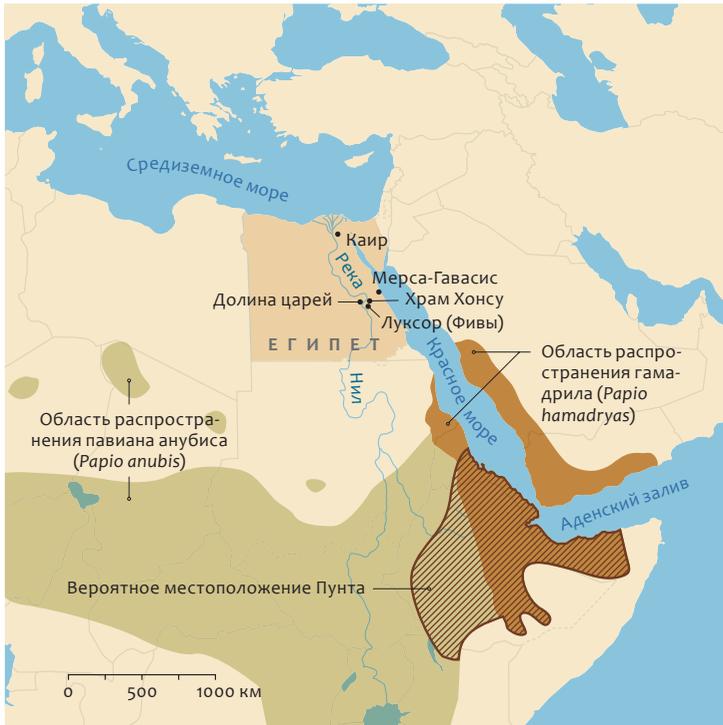


Мумия павиана EA6736 (слева), найденная в храме бога луны Хонсу в Луксоре, и ожерелье, принадлежавшее Тутанхамону (справа), — лишь два из множества примеров изображения гамадрилов в древнеегипетском искусстве и религиозной символике

Археологи давно пытаются объяснить большую популярность гамадрила в древнеегипетской культуре. В последние годы мы с коллегами сделали несколько открытий, проливающих свет на данную загадку. Наши находки заставляют предполагать, что обожествление людьми этого примата имеет под собой сугубо биологическую основу. Они показывают также, где египтяне доставали этих экзотических животных и откуда завозили их в свою страну. Кроме того, наша попытка найти причины обожествления гамадрилов проливает свет и на другую загадку, издавна не дававшую покоя ученым: вероятное местонахождение сказочной страны Пунт.

Необычный бог

Испуганные крики «Павианы!» — далеко не самый подходящий фон для празднования шестого дня рождения любого ребенка. Моя семья жила в Кении, когда стадо из двух десятков гамадрилов неожиданно ворвалось на наш задний дворик, вызвав настоящую панику среди детей. Незванные



гости направились прямо к праздничному столу, заботливо уставленному тарелками с кексами, ломтиками фруктов и пакетами с соком. В тот день гамадрилы устроили себе настоящий праздник: всего

за несколько минут они смели со стола все угощения, на приготовление которых мы потратили долгие часы. Если не считать слез моего сына, для меня самым отвратительным во всем этом происшествии было созерцание двух самцов с обращенными в мою сторону оскаленными пастьями. Будучи приматологом, я отлично знаю, что подобные оскалы — мощный социальный сигнал-предостережение, сопровождающийся демонстрацией острых как бритва клыков, способных одним укусом разрезать до кости человеческую конечность. Но в данном случае, похоже, оскаленными пастьями звери пытались не запугать меня, а самодовольно похвалиться передо мной своими животами, туго набитыми едой с нашего праздничного стола.

Когда я поведал эту историю своим кеинским коллегам, они выразили мне сочувствие понимающими кивками, а кто-то даже вспомнил известную поговорку: «Не все павианы, побывавшие на кукурузном поле, уходят с него довольными». Как и многие другие африканские поговорки, это изречение можно толковать по-разному. Так, поговорка и напоминает о неискоренимой склонности павианов совершать набеги на фермерские хозяйства, и одновременно подчеркивает зловерный



нрав гамадрилов. Как обнаружила Кэтрин Хилл (Catherine Hill), профессор антропологии из Оксфордского университета Брукса, павианы причиняют значительный ущерб благосостоянию сельских жителей, уничтожая в некоторых районах западной Уганды почти половину урожая. Действительно, в глазах многих африканских фермеров павианы давно превратились в злостных сельскохозяйственных вредителей, а потому отвращение к этим животным глубоко уходит своими корнями в культурное прошлое континента. О презрительном и неуважительном отношении к павианам жителей Африки к югу от Сахары свидетельствует хотя бы тот факт, что в произведениях искусства и ремесел данного региона изображения этих существ практически отсутствуют. Вот почему совершенно непонятны и преклонение древних египтян перед гамадрилами, и изобилие их изображений в произведениях древнеегипетского искусства.

Здесь нелишне отметить, что всех современных павианов ученые разделяют на шесть видов животных. Родина всех видов — Африка к югу от Сахары и юго-запад Аравийского полуострова, где большинство жителей считают их вредителями. Судя по археологическим находкам, древние

Настенная роспись в фиванской гробнице № 100, датируемая примерно 1478–1426 гг. до н.э. Верхний ряд фигур изображает процессию, шествующую из Нубии на север Египта с гамадрилами и прочими экзотическими товарами (вверху). Подобные предметы роскоши импортировались в Египет из таинственной страны Пунт, которая, как показывают новые исследования, находилась на южном побережье Красного моря.

египтяне активно ввозили в свою страну павианов двух видов — павианов анубисов, или оливковых павианов (*Papio anubis*), и гамадрилов, или плащеносных павианов (*P. hamadryas*). Но обожествляли они только гамадрилов, а потому при любых упоминаниях о почитании египтянами павианов следует иметь в виду, что речь идет лишь об одном виде этих обезьян.

Пытаясь объяснить особую роль гамадрилов в жизни египтян, ученые сосредоточили внимание на двух основных способах изображения приматов в произведениях искусства. Чаще всего встречается изображение самца гамадрила, сидящего на седалищных мозолях (участках утолщенной кожи на ягодицах) со сложенными на коленях руками и свернутым по правую сторону хвостом; над головой такого гамадрила обычно белеет лунный диск. Второй вариант — изображение самца гамадрила с молитвенно простертыми ввысь передними лапами и обращенными вверх,

к богу солнца Ра, ладонями. Кроме того, гамадрилов связывают с богом Ра и многочисленные древнеегипетские тексты. Так, в древнейшем произведении египетской заупокойной литературы, известном под названием «Тексты пирамид», гамадрил фигурирует как старший (или самый любимый) сын бога Ра. А в древнеегипетской «Книге мертвых» приводится текст, который следует произносить умершему и вновь воскресшему человеку: «Я воспевал и восхвалял Солнце. И я вошел в сонм павианов, и ныне я — один из них».

Для объяснения связи между гамадрилами и солнечным богом Ра в 1979 г. египтолог Элизабет Томас (Elizabeth Thomas) сделала следующее предположение: вероятно, древние египтяне наблюдали, как гамадрилы греются в лучах утреннего солнца, и истолковывали такое поведение как своего рода приветствие приматов восходящему светилу. Спустя десять лет эту идею развил другой ученый, ныне покойный голландский египтолог Герман те Вельде (Herman te Velde), который подробно описал сопутствующую данному «действию» вокализацию гамадрилов. По мнению ученого, древние египтяне вполне могли воспринимать такие «концерты» как голосовое приветствие (воспевание) небесного светила. Тексты из храмового комплекса Карнак, находящегося неподалеку от города Луксора, описывают павианов как «провозвестников» Ра, развлекающих бога веселыми танцами, прыжками, хвалебными гимнами и приветственными криками. По мнению Вельде, люди, вероятно, сочли гамадрилов священными животными, потому что решили, что они напрямую общаются с Ра. А живой нрав и непонятный язык приматов они восприняли как свидетельство того, что гамадрилы обладают таинственными религиозными знаниями, предположил ученый.

Представления Томас и Вельде о том, чем гамадрилы могли привлекать древних египтян, вполне заслуживают внимания, но правдоподобны ли они? Действительно ли этим животным присуще особое отношение к восходящему солнцу? И чем гамадрилы отличаются в этом плане от других павианов? Ни Томас, ни Вельде не обладали особо глубокими знаниями о поведении приматов, и, насколько нам известно, по поводу их идей не высказал каких-либо суждений ни один приматолог. В последнее время, однако, стали известны некоторые факты, проливающие свет на все эти вопросы.

Привычка греться на солнце свойственна многим животным. Большинство биологов рассматривают такое поведение как способ минимизировать затраты энергии на «разогрев» тела после холодной ночи. Так, мадагаскарские кошаčky лемуры нередко встречают восход солнца в «позе лотоса», но с широко расставленными в стороны задними лапами. Как однажды заметила ныне покойная приматолог Элисон Джолли (Alison Jolly), в одной из малагасийских легенд описывается, как лемуры поклоняются солнцу, молитвенно простирая к нему лапы. В 2016 г. Элизабет Келли (Elizabeth Kelley), исполнительный директор Института дикой природы Зоопарка Сент-Луиса в США, обнаружила, что продолжительность солнечных ванн у этих приматов значительно коррелирует с уровнем ночных температур. Келли и ее коллеги установили также, что в коже груди и живота лемуров содержится больше меланина, чем в коже спины, а такой паттерн окраски кожи прямо противоположен паттерну ее окраски, характерному для большинства млекопитающих. Меланин — светопоглощающий пигмент, и его повышенный уровень в области живота способствует не только согреванию тела, но и пищеварению.

Как показывают исследования нескольких последних лет, принимая солнечные ванны, павианы получают и значительные пищеварительные преимущества. Микробы, живущие в кишечнике приматов, играют важнейшую роль в переваривании растительного материала. Повышение температуры тела стимулирует активность этих микробов, что, в свою очередь, увеличивает всасывание питательных веществ в кишечнике. Таким образом, утренние солнечные ванны — простой и эффективный способ, позволяющий животным спозаранку активировать кишечную микрофлору и получить в результате двойные преимущества. Во-первых, пищеварение само по себе генерирует тепло, что способствует согреванию тела, охлажденного ночной прохладой. Во-вторых, если во время сна холодной ночью процесс пищеварения замедлился, для организма примата гораздо целесообразнее завершить переваривание вчерашней трапезы, нежели приступать к поиску новой еды.

Вот почему совершенно очевидно, что одни виды приматов должны греться на солнце дольше, чем другие, — в зависимости от места их жительства и характера пищи. Гамадрилы обитают в засушливых



Papio hamadryas был
единственным видом павианов,
обожествлявшимся древними
египтянами

регионах Африканского Рога (полуострова Сомали) и некоторых областях Аравийского полуострова. Западная граница их географического ареала совпадает с восточной границей ареала павиана анубиса в долине реки Аваш в Эфиопии — области, где ученые уже давно проводят сравнения экологических и поведенческих характеристик этих двух видов приматов. Наблюдения за их кормежкой показали, что гамадрилы потребляют больше листвы, чем анубисы, а это значит, что их пищевой рацион богаче растительными волокнами (клетчаткой).

В принципе, учитывая значительные различия в характере питания гамадрилов и анубисов, можно думать, что эти приматы должны сильно различаться и по количеству и типу кишечных микробов, необходимых им для переваривания растительной пищи. Недавние исследования кишечных микробиомов этих двух видов

О трепетном отношении египтян к павианам свидетельствуют присутствие их останков в царских гробницах и высокое качество их мумификации с использованием огромных лоскутов тончайших льняных тканей

павианов, проведенные биоантропологом Стивеном Ли (Steven Leigh) из Колорадского университета в Боулдере и двумя его сотрудниками (включая и автора настоящей статьи), подтвердили данное предположение. Мы обнаружили, что в кишечнике гамадрилов значительно больше так называемых целлюлолитических микробов (то есть микробов, способных разрушать состоящие из целлюлозы стенки растительных клеток), чем у павианов анубисов, что вполне согласуется с высоким содержанием клетчатки в их диете. А это, в свою очередь, означает, что гамадрилы, похоже, получают гораздо больше пользы от утренних солнечных ванн, чем анубисы.

Полученные нами данные о характере кишечного микробиома подтверждают гипотезу Элизабет Томас о том, что древние египтяне с трепетом наблюдали,

как «гамадрилы приветствуют появление на небосводе солнечного диска». Наши данные позволяют объяснить и тот факт, почему в качестве священных животных египтяне выбрали гамадрилов, а не анубисов: вероятно, утренние «ритуалы поклонения солнцу» гамадрилов более соответствовали их представлениям о религиозной обрядовости.

Затерянная земля

Чем бы ни была продиктована преданность египтян гамадрилам, этот древний народ был готов на многое, чтобы заполучить экзотических животных. Спрос на гамадрилов, как и на другие предметы роскоши (золото, пряности, благовония, слоновую кость и т. д.), стал мощной рыночной силой, во многом определившей ход мировой истории.

В 1906 г. Теодор Дэвис (Theodore Davis), колоритный американский юрист и финансист, обнаружил пять мумий гамадрилов в Долине царей. Они были извлечены из гробниц, приписываемых египтологами либо Аменхотепу II, либо фараону Хоремхебу, оба из которых были представителями первой династии Нового царства — эпохи наивысшего расцвета древнеегипетской государственности. В гробнице отца Аменхотепа II, Тутмоса III, находился череп гамадрила, который, по видимому, был распеленат, а затем выброшен расхитителями гробниц. Хотя изображения павианов присутствуют и в более древних произведениях египетского искусства, эти мумии представляют собой самые ранние материальные останки гамадрилов в Египте. Факт внезапного появления гамадрилов в погребальных контекстах наводит на мысль, что они были завезены в страну ценою значительных затрат. Салима Икрам (Salima Ikram), профессор египтологии Американского университета в Каире, считает, что павианы были любимыми домашними питомцами древних египтян, а заодно служили и экзотическим символом социального статуса их владельцев. О трепетном отношении египтян к этим приматам свидетельствуют присутствие их останков в царских гробницах и высокое качество их мумификации, осуществлявшейся с использованием огромных лоскутов тончайших льняных тканей. Столь совершенный способ сохранения тел для загробной жизни могли позволить себе только самые богатые люди.

Тексты и надписи того времени указывают на то, что египтяне отправлялись в морские экспедиции в таинственную страну Пунт — далекий край в «божественных сферах», изобилующий предметами роскоши, — из небольшой гавани на берегу Красного моря под названием Мерса-Гавасис. Историческое значение этой волшебной страны очень велико. Британский историк Джон Кей (John Keay) описал морское путешествие в Пунт как первый этап многовековых странствий в страны «пряностей и благовоний», благодаря которому люди совершенствовали морские технологии и формировали свои геополитические концепции. Проблема, однако, состоит в том, что, как в 1997 г. отметил археолог Джейк Филлипс (Jacke Phillips), «страна Пунт пока не обнаружена ни на одной географической карте, а ученые до сих пор даже не пытались связать с этой землей какие-либо археологические находки».

Допустим, что египтяне получали гамадрилов из страны Пунт. Тогда, если проследить географическое происхождение мумий этих приматов, можно будет точно определить и местоположение легендарной страны.

К счастью, нам вполне по силам реконструировать прижизненные перемещения павианов, которые затем подверглись мумификации, благодаря анализу химического состава их тканей. Мы с коллегами сфокусировали внимание на элементе стронции, потому что его содержание в горных породах в разных местах неодинаково. Стронций поглощается почвой и водой, а затем, когда животные поедают произрастающие здесь растения и пьют местную воду, включается в пищевую цепь. Таким образом, по содержанию стронция в тканях зубов, которые формируются у животных в раннем возрасте, можно определить место их рождения, а его содержание в костях и сменяющихся на протяжении жизни волосах подскажет место, где особь жила перед смертью.

Мы сравнили содержание стронция в костях и зубах мумий гамадрилов с его содержанием в костях и зубах павианов, живущих в различных регионах Африки. Наш пространственный анализ химических профилей показывает, что животные появились на свет за пределами Египта в регионе, примыкающем к южной части Красного моря, где сегодня расположены Эфиопия, Эритрея, Джибути и Сомали. Приятно отметить, что историки и ранее называли эти

области в качестве потенциальных местонахождений Пунта, руководствуясь письменными свидетельствами и изображениями растений на стенах египетских храмов и гробниц. Научную достоверность нашего заключения во многом подтверждает и то обстоятельство, что эта область находится в границах естественного ареала гамадрила.

Кроме того, обнаруженный нами факт, что павианы живьем ввозились в Египет из областей, примыкающих к южной части Красного моря, свидетельствует о поразительных достижениях египетских мореплавателей, которые во 2 тыс. до н.э. могли проплывать по меньшей мере 1,3 тыс. км в каждую сторону на открытых судах без килия или руля. Вероятно, подобные путешествия были очень опасны: неслучайно одним из самых известных повествований в египетской литературе считается «Рассказ о моряке, потерпевшем кораблекрушение», где описывается история египетского морехода, выброшенного волной на берег некоего волшебного острова в Красном море.

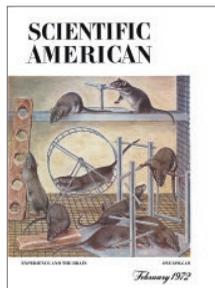
Наши знания о древнеегипетских религиозных верованиях и торговой практике еще крайне скудны. Было бы полезно изучить утреннее поведение и паттерны меланкции у гамадрилов и выяснить, действительно ли этому виду павианов требуется повышенный уровень утренней солнечной радиации. Наше исследование также подчеркивает важность проведения археологических раскопок в Эритрее и соседних странах с целью поиска артефактов (например, изделий египетских мастеров), которые помогли бы ученым определить точное местонахождение земли Пунт.

Интересно было бы выяснить и отношение торговцев этой страны к одержимости египтян гамадрилами. Само собой напрашивается предположение, что им не терпелось побыстрее сбыть местных приматов-вредителей, обменяв их на полезные египетские товары. Как бы там ни было, мы, современные люди, должны быть благодарны столь странной причуде древних египтян за то, что она помогла нам узнать о существовании одного из наиболее важных торговых путей в человеческой истории. ■

Перевод: А.В. Щеглов

ИЗ НАШИХ АРХИВОВ

■ Зорич З. Эффект пирамиды // ВМН, № 1–2, 2016.

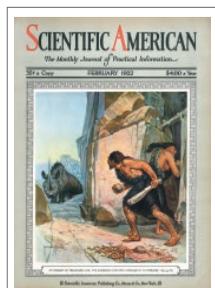


ФЕВРАЛЬ 1972

Тектоническая свалка. Дискуссионная, но интригующая схема утилизации твердых антропогенных отходов была предложена двумя исследователями из Вашингтонского университета. Предполагается использовать преимущества регионов,

субдукционными желобами, где осадочный материал втягивается вниз, в мантию Земли, в результате подвижек морского дна. Гипотетическая схема захоронения отходов состоит из трех этапов: сбор, уплотнение отходов в блоки и транспортировка их по морю к тектоническим разломам. Такая однонаправленная система способна утилизировать больше отходов, чем мы можем произвести.

Лазерное телевидение. Использование лазерного луча в качестве канала с большой пропускной способностью для передачи голоса, видео, цифровых и других сигналов казалось привлекательной возможностью. Один когерентный пучок излучения лазера может нести информацию, эквивалентную нескольким тысячам телевизионных каналов. До недавнего времени представлялось, что если лазерный луч найдет применение в коммуникациях, то он должен будет перемещаться по тщательно спроектированной трубе с линзами и другими устройствами, позволяющими свету огибать углы. Гораздо более привлекательная возможность — использовать для переноса лазерного луча тонкие стеклянные волокна. В Лабораториях Белла изготовлены экспериментальные волокна, демонстрирующие потери на поглощение около 60 децибел на 1 км, а в компании *Corning Glass Works* — волокна с потерями всего 18 децибел на 1 км. С ретрансляторами, расположенными через каждые 2–3 км, стекловолоконные системы могут стать серьезным конкурентом для будущих систем передачи данных на большие расстояния.



ФЕВРАЛЬ 1922

Ядерная энергия из угля? Атомы, мельчайшие кирпичики природы, — вместилище безграничной энергии. Сегодня ученые придерживаются мнения, что радиоактивность — свойство не только атомов радия, урана или тория, но присуща всем атомам, только

в других атомах такая энергия скрыта. Если бы можно было начать разрушение атомов, появилась бы и радиоактивность. Количество [энергии], которое можно будет получить с помощью таких

средств, бесконечно больше, чем энергия, получаемая посредством химической реакции или при сгорании. Мы производим энергию из угля [путем сжигания]. Если расщепить атомы и заставить их выделить скрытую энергию, океанский лайнер мощностью 50 тыс. л.с. мог бы непрерывно пересекать океаны в течение десяти лет, используя всего лишь 1 кг угля. Возможно, наступит время, когда мы будем использовать энергию, заключенную в атомах, чтобы приводить в движение машины, готовить пищу и обогревать помещения.



ФЕВРАЛЬ 1872

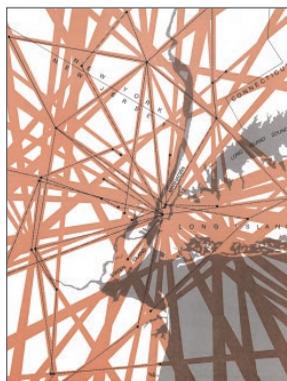
Мастодонты в Нью-Йорке.

Фермер из городка Маунт-Хоп, округ Ориндж, штат Нью-Йорк, недавно, копая болотистый грунт на своем участке, откопал из ила на глубине примерно 2,5 м несколько костей, которые, судя по их размерам и форме, должны были принадлежать мастодонту. Найдены два ребра длиной около 1,5 м и две секции позвонков шириной 15 см. За последние 30–40 лет в этом округе было сделано несколько находок останков мастодонтов.

Найдены два ребра длиной около 1,5 м и две секции позвонков шириной 15 см. За последние 30–40 лет в этом округе было сделано несколько находок останков мастодонтов.

Туннель под Ла-Маншем. Успешное завершение строительства и эксплуатация железнодорожного туннеля Мон-Сени через Альпы дали новый импульс налаживанию сообщения между Англией и Францией посредством туннеля под проливом Ла-Манш длиной 35 км. Для решения этой проблемы в Лондоне была организована компания *Channel Tunnel*. Туннель должен простираться от Дувра до Кале. Он будет проложен главным образом (если не полностью) через нижний мел. В настоящее время любая оценка [стоимости] чисто умозрительна, но ожидается, что работа, если она вообще осуществима, может быть завершена в течение пяти лет и обойдется в \$25 млн.

Примечание: строительство туннеля под проливом Ла-Манш так и не началось до тех пор, пока компания Eurotunnel в 1994 г. не открыла транспортный туннель под Ла-Маншем между Кентом и Па-де-Кале. Цена: около £9 млрд. ■



Ситуация почти полного насыщения системы СВЧ-связи представлена цветными лучами на этой карте агломерации Нью-Йорка и пригородов. Маршруты — это радиоканалы, по которым передаются разнообразные информационные потоки (1972).

Editor in Chief:

Laura Helmuth

Copy Director:

Maria-Christina Keller

Creative Director:

Michael Mrak

Managing Editor:

Curtis Brainard

Chief Features Editor:

Seth Fletcher

Chief News Editor:

Dean Visser

Chief Opinion Editor:

Megha Satyanarayana

Senior Editors:

Mark Fischetti, Josh Fischman, Clara Moskowitz,

Madhusree Mukerjee, Jen Schwartz, Kate Wong

Associate Editors:

Gary Stix, Lee Billings, Sophie Bushwick,

Andrea Thompson, Tanya Lewis, Sarah Lewin Frasier

Editors Emeriti:

Mariette DiChristina, John Rennie

Contributing Editors: Gareth Cook, Lydia Denworth, Ferris Jabr, Anna Kuchment,

Robin Lloyd, Melinda Wenner Moyer, George Musser, Ricki L. Rusting

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

Art Director: Ryan Reid

Senior Graphics Editor:

Jen Christiansen

Acting President:

Stephen Pincock

Executive Vice President:

Michael Florek

Vice President, Commercial:

Andrew Douglas

Publisher and Vice President:

Jeremy A. Abbate

© 2022 by Scientific American, Inc.

В мире науки

SCIENTIFIC AMERICAN

Оформить подписку на журнал «В мире науки» можно:

в почтовых отделениях по каталогам:

«Роспечать», подписной индекс:

81736 — для физических лиц,

19559 — для юридических лиц;

«Почта России», подписной индекс:

16575 — для физических лиц,

11406 — для юридических лиц;

«Пресса России», подписной индекс: 45724,

www.akc.ru

по РФ и странам СНГ:

ООО «Урал-Пресс»,

www.ural-press.ru

СНГ, страны Балтии и далее зарубежье:

ЗАО «МК-Периодика»,

www.periodicals.ru

РФ, СНГ, Латвия:

ООО «Агентство "Книга-Сервис"»,

www.akc.ru

Читайте в следующем номере

Чудо древнего мира

Ученые раскрыли новые подробности сложной структуры антикитерского механизма.

Защита урожая на Аляске

Общины коренных народов развивают вдоль побережья научные сети для проверки моллюсков на наличие токсинов, образующихся в результате вредоносного цветения водорослей.

Бомовская рапсодия

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

Длинная тень травмы

Пограничное расстройство личности — один из наиболее стигматизируемых психиатрических диагнозов. Не пора ли ввести новое определение: «состояние, связанное с травмой»?

Начало звучания

Миллиарды лет Земля была тихой, а потом животные начали поднимать шум.

Внутри движения ополчения в США

У некоторых членов милитаризированных группировок тоска по вымышленному «более простому» национальному прошлому может перерасти в насилие и ненависть.



В мире Науки

SCIENTIFIC
AMERICAN

Ежемесячный
научно-информационный
журнал

www.sci.ru.org

1/2 2022

12+

СУДЬБА НАШЕЙ ГАЛАКТИКИ

Новые изыскания в области космических
столкновений дают возможность предсказать
будущее Млечного Пути

ЛУЧШАЯ ДЕСЯТКА ТЕХНОЛОГИЙ 2021 ГОДА

УГРОЗЫ СОЛНЕЧНЫХ СУПЕРВСПЫШЕК

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ
SIRIUS В ИМБП РАН

