



ХИМИЯ И ЖИЗНЬ

12 /2019







Зарегистрирован
в Комитете РФ по печати
19 ноября 2003 года, рег. Эл № 77-8479
НОМЕР ПОДГОТОВИЛИ:

Главный редактор
Л. Н. Стрельникова
Заместитель главного редактора
Е. В. Клещенко
Главный художник
А. В. Астрин

Редакторы и обозреватели

Л. А. Ашкинази,
В. В. Благутина,
Ю. И. Зварич,
С. М. Комаров,
В. В. Лебедев,
Н. Л. Резник,
О. В. Рындина

Ответственный за соцсети

Д. А. Васильев

Подписано в печать 9.12.2019
Типография «Офсет Принт М», 123001,
Москва, 1-й Красногвардейский пр-д, д. 1

Адрес редакции

119991, Москва, Ленинский просп., 29, стр. 8

Адрес для переписки
119071, Москва, а/я 57

Телефон для справок:

8 (495) 722-09-46

e-mail: redaktor@hij.ru

<http://www.hij.ru>

Соцсети:

<https://www.facebook.com/khimiyaizhizn>

https://vk.com/khimiya_i_zhizn

<https://ok.ru/group/53459104891087>

https://twitter.com/hij_redaktor

https://www.instagram.com/khimiya_i_zhizn/

При перепечатке материалов ссылка
на «Химию и жизнь» обязательна

На журнал можно подписаться в агентствах «Роспечать»
— каталог «Роспечать», индексы 72231 и 72232

«Арзи» — Объединенный каталог
«Пресса России», индексы — 88763 и 88764 (рассылка
— «Арзи», тел. 443-61-60)

Каталог «Почта России», индексы П2021 и П2017.

«Информсистема» — (495) 127-91-47

«Урал-Пресс» — (495) 789-86-36

© АНО Центр «НаукаПресс»

Генеральный спонсор журнала

Компания «Биоамид»



НА ОБЛОЖКЕ — рисунок А. Кукушкина

*НА ВТОРОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ —
картина М. Чюрлениса «Детство коро-
ля». В море, на суше и в комосе человек
остается человеком. Он пытается
постичь этот мир и стоя на пороге
будущего, строит грандиозные «Модели
Вселенной». Удачи достигает не всегда.*

*НА ЧЕТВЕРТОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ —
плакат А. Кука, посвященный
Международному году Периодической
таблицы химических элементов*

*Слон — это мышь,
сделанная в соответствии
с правительственными
спецификациями.*

*Следствие закона
долгосрочного планирования*

Содержание

Глубокий эконом БУДУЩЕЕ, ЧТО СТОИТ У ДВЕРИ.	2
Нобелевские премии НАГРАДА ЗА СОТВОРЕНИЕ МИРА. С. М. Комаров.....	6
История современности МОДЕЛИ ВСЕЛЕННОЙ. С. М. Комаров	8
Проблемы и методы науки НЕЙРОИНТЕРФЕЙС: КАК И ЗАЧЕМ. А. Н. Павлов, А. Е. Храмов	14
С миру по нитке НЕЙРО, ИНТЕР И ФЕЙС – ЧТО СДЕЛАНО. Л. Ашкинази.....	19
Именные реакции «КТО ОТКРЫЛ РЕАКЦИЮ ГРИНЬЯРА? Александр Рулёв	20
Мемуары Игнобеля «УНИЧТОЖИМ ВСЕХ УРОДОВ». Г. В. Эрлих	24
Цитата ПРОМЕДЛЕНИЕ СМЕРТИ ПОДОБНО. Константин Душенко	27
Технология и природа ПЕРЕЖЕВАННЫЙ МЕТАН. В. М. Хуторецкий	28
А почему бы и нет? ИНДУСТРИАЛЬНОЕ МОЛОКО ЛАКТЫ. Владимир. Кальменс.....	32
Здоровье ЧЕЛОВЕК-ПИВОВАРНЯ. Н. Л. Резник	34
В море и на суше ПЛАСТИЧНОСТЬ ВСЕГО ЖИВОГО. Т. Н. Виноградова	42
Земля и ее обитатели КОШКОЛАП ЧЕРНО-БЕЛЫЙ. Ольга Нестеренко	46
Панацейка МАТЕ: НЕ ТРАВА, НЕ ЧАЙ, НЕ ЗЕЛЬЕ. Н. Ручкина.....	48
Фантастика СНЕЖНОЕ МОРЕ. Жаклин де Гё	52
Нанофантастика БАЛАНС. Екатерина Филиппова.	64

ИНФОРМАЦИЯ	41	КНИГИ	55
РЕЗУЛЬТАТЫ: БИОХИМИЯ	40	КОРОТКИЕ ЗАМЕТКИ	62
		ПИШУТ, ЧТО...	62



Художник Н. Кравцов

Будущее, что стоит у двери

Подготовил
кандидат физико-математических наук
С.М. Комаров

Весной 2019 года Фраунгоферовское общество, точнее, Общество содействия прикладным исследованиям имени Йозефа Фраунгофера, крупнейшая научная организация Европейского оюза со штаб-квартирой в Мюнхене, провело большую работу: выяснило, какие технологические направления станут привлекать наибольшее число инвестиций к 2030 году. Основой для работы послужил список из 300 тем, которые были признаны перспективными по результатам международных исследований, занимающихся прогнозированием будущего. После тщательного изучения патентов и научно-технической литературы, а также обсуждения в кругу нескольких сотен экспертов, в числе которых были руководители компаний, состоявшиеся ученые и молодые специалисты, этот список уменьшился до 150 тем. Следующий виток дискуссий и исследований массива международных публикаций позволил отбросить еще 50 тем. После обсуждения оставшаяся сотня тем сократилась до половины, откуда в итоге отобрали 30 самых перспективных, вызвавших наибольшее одобрение экспертов. При анализе учитывали не только современные представления о будущем, но и нынешнее состояние соответствующих технологий, их значение для науки, экономики, воздействие на социум, на окружающую среду.

Выбранные технологии разбили на четыре группы — по степени готовности к использованию. В первую группу попали семь наиболее перспективных тем, практическая разработка которых ведется уже сейчас. В этой группе самый высокий рейтинг эксперты присвоили глубокому обучению искусственного интеллекта. За ним в порядке убывания следуют экономика устойчивого развития, оптоэлектроника, жидкая биопсия, использование биоразнообразия, микробиом, и на последнем месте оказались технологии управления углекислым газом.

Технологии второй группы, в которую попали персональное здоровье, органы-на-чипе, постквантовая криптография, глобальное снабжение протеинами, биогбриды, мембраны для извлечения воды, кибернетические рассуждающие системы, выйдут на рынок в более поздние сроки, ближе к 30-м годам, но для них уже определены ниши использования и области прикладных разработок. В еще более отдаленном будущем сильнейшее изменение всей нашей цивилизации вызовет развитие технологий третьей группы: квантовые коммуникации и квантовые компьютеры, мягкие роботы, нейроморфные чипы, искусственный мозг, нейромашинный интерфейс, искусственный фотосинтез.

Четвертую же группу составляют темы, которые на развитие экономики повлияют косвенно, но зато прямо затронут жизнь общества и сохранность окружающей среды. Это технологии гражданского общества, цифровое разделение и соединение, умные контракты, перепрограммирование клеток, геотехнологии, связанные с изменением климата, сбор низкопотенциальной энергии, исчезающие материалы, гиперспектральная съемка, нанодревесина и наноцеллюлоза. Реализация этих тем потребует прежде всего развития медицинских наук, затем материаловедения, информатики, а также агронаук. А сильнее всего появление таких инноваций скажется на химической и фармацевтической промышленности, средствах связи, социальных службах и здравоохранении.



Как видно, в списке перспективных тем инноваций будущего нет ничего из того, о чем мечтали инженеры и писатели-фантасты в середине XX века. В числе главных приоритетов нет термоядерного синтеза, освоения космоса или создания городов в океане; нет технологий предотвращения войн и борьбы с терроризмом; нет борьбы с инфекциями и эпидемиями, нет прямой задачи продления плодотворной жизни человека или управления погодой. Казалось бы, под последнее определение подходят геотехнологии, связанные с изменением климата, однако при ближайшем рассмотрении оказывается, что это вовсе не предупреждение ураганов или вызов осадков по расписанию, а нечто вроде прикрывания ледников отражающей пленкой для предотвращения их таяния. В списке нет даже альтернативной энергетики или новых средств транспорта — видимо, эксперты по будущему посчитали, что основные инновации в этой области уже сделаны и дело только за объемами производства. Как видно, основной упор сделан не на преодоление пределов, которые ставят перед человечеством природа либо социум, а на безопасность и комфорт: к ним можно отнести треть из выделенных тем инноваций.

Кому-то может показаться, что предлагаемое будущее несколько похоже на то самое «время, когда славят остроту свинцовых ножей», которое упоминал поэт Цюй Юань, безуспешно пытавшийся, будучи знатным вельможей, предотвратить крах древнекитайского государства Чу:

Волов впрягают в колесницы,
Осел опередил коней,
Породистый скакун уныло
В повозке тащит груз камней.

Но, с другой стороны, эксперты вполне разумно могли рассудить, что наступает такое будущее, в котором романтика научно-технической революции XX века рассеялась и пришло время прагматиков, способных трезво оценить потребности человечества в научно-технических новинках, а также способность промышленных и социальных систем их удовлетворять. Список перспективных технологий такого будущего они и получили в результате; он с пояснениями, что это такое и на какую отрасль человеческой деятельности окажет наибольшее влияние, приведен ниже. Интересно, что «Химия и жизнь» уже не раз рассказывала про многие из них.

Алгоритмы и гибридная архитектура

Искусственный мозг. Это мозгоподобная компьютерная система, состоящая из физических, то есть не биологических, компонентов, которая сохраняет и обрабатывает информацию примерно так же, как это делает мозг человека. Такая технология позволит разрабатывать компьютеры, функционирующие как сети нейронов. Когда элементы внутри таких сверхкомпьютеров будут обладать числом связей, сравнимым с тем, что есть в мозгу, будет достигнута такая вычислительная мощь, что цифровая революция по своим последствиям покажется жалкой детской игрой.

Биогибриды — это сочетание живого организма с искусственной системой, где живое интегрировано в механическое устройство. Эти технологии послужат в медицине, нанотехнологиях, робототехнике и при создании нейромашинных интерфейсов.

Кибернетические рассуждающие системы. Они автоматизируют кибернетическую защиту систем, то есть без участия человека станут находить прорехи в программном обеспечении и устранять их. Благодаря большой скорости действия они заметно повысят безопасность информационной инфраструктуры будущего.

Глубокое обучение — ключевой компонент технологий искусственного интеллекта. Этот алгоритм машинного обучения использует многослойные (отсюда «глубокое») нейронные сети. Каждый уровень такой сети соответствует своему уровню абстракции. Глубокие нейронные сети в будущем покажут невообразимые ныне успехи в обработке разнородных данных, включающих статические и динамические изображения, звуки и, в меньшей степени, печатный текст.

Нейроморфные чипы. Лучшие алгоритмы искусственного интеллекта используют мозгоподобные программы, называемые нейронными сетями. Они параллельно обрабатывают данные (объекты на изображениях и слова в речи) для распознавания скрытых в них закономерностей. Нейроморфные чипы служат развитием этой концепции, машинерия нейронной сети оказывается воплощенной в кремнии. Нейроморфные чипы будут востребованы там, где данные, поступающие из окружающего мира, должны быть обработаны без задержки. Например — в умных камерах наблюдения в системах безопасности, в коммуникации с автономными транспортными средствами или в очках для слепых, которые используют видео- и аудиодатчики для распознавания объектов и формирования голосовых сообщений.

Мягкие роботы. Эти роботы построены из материалов, подобных тканям живых организмов, они безопасны и биомеханически совместимы с людьми. Их область применения — медицинские и личные роботы-помощники. Миниатюрные мягкие роботы будут использовать в хирургии и для направленной доставки лекарств.

В эту группу также входят бионическая электроника, то есть созданная по образцу биологических систем, алгоритмы извлечения информации из малых групп данных, групповой интеллект стай роботов — они не попали в тридцатку лидеров, но оказались в перспективной полусотне.

Работа с данными

Гиперспектральная съемка. Это мощнейший аналитический метод, основанный на одновременном сборе пространственной и спектральной информации в виде единого массива данных, называемого «гиперспектральный куб», что отражает трехмерность этой информации. При такой съемке получают изображения в сотнях спектральных линий, что можно использовать для дистанционного распознавания различных веществ и материалов. Перспективы этой технологии широки — от безопасности и охраны до мониторинга окружающей среды и сельского хозяйства.

Оптоэлектроника. Это подобласть фотоники, которая сочетает использование электротока и света для передачи данных. Дальнейший прогресс в оптоэлектронике откроет пути для коммерциализации пятимерных устройств (они используют для записи данных не только трехмерные координаты расположения кодирующих наноструктур, но также их размер и угол наклона, под которым рассматривается устройство хра-

нения данных). С новым типом транзисторов, базирующихся на манипуляциях с экситонами (квазичастицами, возникающими при возбуждении электронов светом), станет возможно объединять в одном устройстве оптическую передачу данных и основанные на электронике системы их обработки.

Постквантовая криптография. Специалисты считают, что спустя минуты после появления работающего квантового компьютера все существующие ныне стандарты шифрования окажутся бесполезными: такой компьютер легко вскрывает любой шифр, созданный по этим стандартам. Постквантовая криптография предполагает, что у злоумышленника есть квантовый компьютер, и она должна предотвратить несанкционированное проникновение в данные. В связи с этим обсуждаются новые стандарты шифрования данных, применимые для квантовых коммуникаций будущего.

Квантовые коммуникации оказываются приложением квантовой механики, основанным на таких понятиях, как суперпозиция и запутывание квантовых состояний. При квантовой коммуникации передача информации шифруется с помощью запутывания квантовых состояний частиц, расположенных в двух разных точках. Такую информацию теоретически невозможно незаметно вскрыть или вмешаться в процесс ее передачи. Квантовые коммуникации открывают новую страницу в разработке глобальных коммуникационных сетей будущего и сопровождаются значительным всплеском в прогрессе космических технологий.

Квантовый компьютер основан на квантовой механике и манипулирует квантовыми битами — кубитами. Такие компьютеры смогут решать совсем иные классы задач, ныне недоступные компьютерам. Изменения, которые вызовут их появление, будут революционными, а последствия слабо предсказуемыми.

В эту группу входят также трехмерные дисплеи, устройства памяти на ДНК и спинтроника, то есть электроника, основанная на манипуляции не электрическими зарядами, а спинами тех же электронов.

Работа с человеком

Нейромашинный интерфейс позволяет осуществлять прямую связь между мозгом и внешним устройством. Такой интерфейс позволяет собирать информацию и посылать ее в мозг, например восстанавливая утраченный орган чувств, либо, наоборот, дает мозгу механизм для непосредственного воздействия на другие объекты.

Жидкая биопсия. Это быстрый метод обнаружения маркеров мутаций ДНК, присутствующих в крови, моче, слюне, спинномозговой и других жидкостях организма. Такие маркеры могут быть как в форме внеклеточной ДНК и фрагментов РНК, так и в виде циркулирующих в жидкостях отдельных раковых и иммунных клеток или внеклеточных везикул. Жидкая биопсия может стать основным методом диагностики рака, а также поможет быстро обнаруживать другие заболевания, устанавливать их природу и выбирать лечение.

Микробиом составляют микроорганизмы, которые живут на коже и внутри человеческого организма. Они могут быть как благотворными, так и вредоносными, хотя микробиомы разных людей могут очень сильно различаться. Микробиом играет важнейшую роль в поддержании здоровья человека, физического и психического. Более того, микроорганизмы желудочно-кишечного тракта способны напрямую регулировать деятельность человеческого генетического аппарата. Точное знание микробиома помогает создавать терапию для лечения психических и физических расстройств — от депрессии до диабета 2-го типа.

Орган-на-чипе представляет собой трехмерную многоканальную микрофлюидную систему, заполненную клетками. Такая система имитирует поведение, механику, физиологическую реакцию целого органа или системы органов. Орган-на-чипе, в сущности, это полноценный искусственный орган. При своем развитии такие устройства заменят животных при испытаниях лекарств и изучении ядов.

Персональное здоровье. Эта концепция базируется на сборе многочисленных данных, начиная от закономерностей каждодневного поведения человека до составления его личного молекулярного профиля. Такая забота о здоровье предполагает не только подбор препаратов, но и покрывает всю тематику здоровья от исследований до ухода за пациентами. Некоторые направления персонального здоровья уже используют на практике — генетическая диагностика, фармакогенетика и персональная онкология.

Перепрограммирование человеческих клеток. Более десятилетия назад ученые научились превращать клетки взрослого человека из одного типа в другой, то есть заставили их вести себя как эмбриональные стволовые клетки. Эти клетки назвали индуцированными плюрипотентными стволовыми клетками, iPSC. Теперь ученые создают iPSC из клеток крови или кожи пациентов и получают присущие именно этому пациенту образцы для исследования заболевания или даже новые ткани, которые можно вживить тому же пациенту.

В эту группу также входят технологии изменения эпигенетики, расширение человеческого сознания с помощью ноотропных препаратов и прецизионная нейрохирургия.

Материалы

Наноцеллюлоза и нанодревесина. Материалы, полученные из nanoцеллюлозы, способны заменить целые классы полимеров в разных отраслях промышленности. Эти вещества можно применять как наполнители нанокомпозитов, а также для производства пленок, пористых материалов, модификаторов поверхностей. Нанодревесина по своей прочности не уступает титановым сплавам, но несравнимо легче их, ее можно и нужно использовать для изготовления автомашин, зданий и даже самолетов.

Исчезающие материалы действительно исчезают без следа, когда заканчивается срок их службы, причем делают это по сигналу и контролируемым образом. Они отличаются от имеющихся разлагаемых материалов тем, что процесс исчезновения точно определен и контролируется выключателем. Обычно такие материалы исчезают при наступлении физического, химического или биологического условия и распадаются с образованием продуктов, безопасных для человека и окружающей среды. У таких материалов имеется немало приложений в электронике, медицине и в системах безопасности.

Мембраны для сбора воды. Фильтрация воды на наномасштабе для обессоливания, прямое солнечное опреснение и извлечение атмосферной влаги — хорошие примеры технологий, которые используют этот метод для водоснабжения засушливых районов. Мембраны нового поколения, предназначенные для широкого использования, должны быть самоочищающимися.

Интересно, что в этой группе оказалось больше всего тем из списка-50, которые до тридцатки лидеров не дошли. Это двумерные материалы и гетероструктуры, ДНК-оригами, гидрогели, метаматериалы. А ведь, казалось бы, ни одна технология не может быть воплощена без подбора соответствующих именно ей материалов, и для принципиально новой технологии нужны принципиально новые материалы.

Работа с планетой и космосом

Искусственный фотосинтез, то есть химический процесс, который имитирует природный фотосинтез — превращение воды и углекислого газа под действием солнечного света в углеводы и кислород. В условиях, когда общество требует все больше топлива и стремится выделять меньше углекислого газа, развитие этого направления дает двойной выигрш: производство энергии при одновременном уменьшении концентрации парниковых газов в атмосфере.

Технологии управления углекислым газом. Их задача — исключить выбросы углерода в атмосферу. Его следует улавливать в источнике дыма от различных промышленных предприятий или установок получения энергии, а затем захоранивать либо перерабатывать. Сочетание прямого изъятия углекислого газа из воздуха и захоранивание углерода позволит не только снизить концентрацию CO₂ в атмосфере, но и в случае масштабного применения регулировать климат.

Эксплуатация биоразнообразия. Под биоразнообразием биологи понимают всю полноту мира живых, включая генетические различия внутри популяций и видов, число видов, динамику их изменений на больших территориях. Биоразнообразие служит важным источником инноваций, особенно в фармацевтике. Однако нужно учитывать, что биоразнообразия более уязвимо, чем это казалось совсем недавно, и продолжает сокращаться в глобальном масштабе.

Геоинженерия для стабилизации климата. Наряду с утилизацией углекислого газа в число возможных технологий входит манипулирование солнечным светом за счет распыления аэрозолей в верхних слоях атмосферы и преобразования ландшафтов, — примером служит геоинженерия для сохранения ледников, когда их летом накрывают светоотражающей пленкой и так защищают от таяния.

Экономика устойчивого развития. Ее задача — уменьшить глобальное потребление за счет переработки и вторичного использования отслуживших свой срок материалов. Сегодня и в будущем потребление в обществе должно опираться на формулу: reduce, reuse, recycle — уменьшай, повторно используй, перерабатывай, отчего такую экономику кратко называют ре-экономика. Сторонники такой экономики хотят построить мир, в котором производство и потребление вообще обходятся без отходов. Для достижения этой цели нужно, чтобы сделанные предметы либо использовались бесконечно долго, либо могли быть легко утилизированы природной средой.

Сбор низкопотенциальной энергии. Окружающая нас среда заполнена потоками энергии, однако, как правило, мощность таких потоков невелика. Сбор и утилизация этой энергии может обеспечить питание или продлить срок работы самозаряжающихся медицинских имплантов и безбатареечных гаджетов. Это можно использовать в умной одежде, в установил-и-забыл домашней электронике, в устройствах интернета вещей и во многих других случаях, когда для питания оборудования нужно немного энергии, а обслуживание не требуется. Потребуется развитие материаловедения, механики, электротехники, технологий гражданского общества, информационных и коммуникационных технологий, архитектуры, инженерной защиты окружающей среды, медицинских наук. Окажет серьезное влияние на химическую, фармацевтическую, тяжелую промышленность, энергоснабжение, системы связи.

В эту группу также входят разработка полезных ископаемых на дне океана и беспроводная передача энергии. Интересно, что, хотя авторы доклада и упомянули космос в названии этой группы тем, ни одна из перспективных технологий с ним не связана.



ГЛУБОКИЙ ЭКОНОМ

Работа с обществом

Технологии гражданского общества. Речь идет о применении информационных технологий для того, чтобы обеспечить правительствам, предпринимателям, ученым, различным ассоциациям и отдельным гражданам участие в управлении обществом. Такие технологии связаны с цифровым обществом и предусматривают компьютерные платформы, порталы, приложения и другие программы, обеспечивающие электронную демократию и функционирование в будущем открытого правительства.

Цифровое разделение и объединение. Считается, что повальная цифровизация окружающей реальности создает равные предпосылки развития для всех. Однако она может приводить и к разделению. Причины могут быть как чисто техническими — неравный доступ к различным цифровым сервисам в разных странах, так и социальными — образовательное неравенство, отставание умений старшего поколения от требований стремительно совершенствующихся информационных технологий. Кроме того, декларируемый равный доступ к цифровым услугам неизбежно порождает проблему формирования правил по включению доступа для тех или иных групп к сервисам либо же исключения их. Последствия развития цифровизации могут оказаться чрезвычайно серьезны в масштабах всего человечества и даже вызвать полную перекопку политической карты мира.

Глобальное снабжение белками. Эта группа технологий подразумевает освоение новых источников белков для удовлетворения растущей глобальной потребности в еде и кормах. Нынешняя система производства и потребления мяса имеет значительные издержки для окружающей среды, человеческого здоровья, а также порождает этические проблемы. Формирующаяся технология клеточной агрикультуры дает надежное решение этой задачи.

Умные контракты представляют собой цифровую версию, или алгоритмический протокол, для оформления соглашения между двумя сторонами. Этот относительно новый метод основан на технологии блокчейн — той самой, что породила криптовалюту. Программа действует в зависимости от входящих параметров, следуя набору фиксированных правил, и, таким образом, способна автоматически обеспечить соблюдение договоренностей или введение санкций за их нарушение. Умные контракты имеют большой потенциал для кооперации скорее в секторе сделок между предприятиями, чем между предприятием и физическим лицом.

В эту группу также входят антропоморфизация роботов, проблема взаимоотношений гуманоидных и негуманоидных личностей, биохакинг, то есть проведение независимых биологических исследований энтузиастами и создание персонального оборудования для лечения, производства лекарств и генетического редактирования, проблемы формирования глобального среднего класса, система социального кредита, то есть формирование оценки гражданина или организации на основании результатов обработки больших групп разнородных данных для построения гармоничного общества.

Награда за сотворение мира

Нобелевскую премию по физике за 2019 год получили канадец Джеймс Пиблс (Принстонский университет, США), а также швейцарцы Мишель Майор и Дидье Кело (Женевский университет, Швейцария). Первый внес большой вклад в теорию космологии, а оба швейцарских астронома первыми открыли планеты у звезд, подобных Солнцу. Про экзопланеты, счет которым пошел уже на сотни, «Химия и жизнь» рассказывала не раз (см. 2008, № 7, 2010, № 7), поэтому остановимся на целостной картине мира, полученной, в частности, и стараниями нобелевского лауреата этого года.



Кандидат
физико-математических наук
С.М. Комаров

Хроника Большого взрыва

Относительно недавно, в начале XX века, космология была не наукой, а скорее игрой ума. Ситуация изменилась к началу 60-х годов. Тогда в результате работы над атомным проектом в США и СССР была достигнута высокая степень понимания того, как устроен микромир, а техника астрономических наблюдений стала достаточно мощной, чтобы заглянуть вглубь космоса и получить не только качественные, но и количественные данные об устройстве звезд и межзвездного вещества. Только после этого космология и получила шанс с полным правом называться наукой, то есть непротиворечивой системой знаний, способной давать проверяемые предсказания. Основы этой

науки заложило множества гениальных и просто выдающихся ученых. В список наиболее значимых имен входят Георгий Гамов, Хаяси Тюсиру, Я.Б. Зельдович, Р.А. Сюняев, А.Д. Сахаров, Герман Бонди, Фред Хойл, Роберт Дикки и, наконец, его ученик — Джеймс Пиблс, выбранный Нобелевским комитетом в 2019 году в качестве одного из лауреатов премии по физике.

При выработке такой модели Вселенной, которая наиболее полно отражает реальность, исследователи выдвигали порой взаимоисключающие концепции, долго спорили, придумывали, за счет каких наблюдений можно установить истину и что за приборы нужны для таких наблюдений. В конце концов и была создана модель, которая теперь многим известна под именем Большого взрыва. Она более-менее надежно описывает

судьбу Вселенной, однако не с момента ее возникновения, а спустя некоторое, небольшое, время — с первых мгновений зарождения вещества, то есть той формы материи, что состоит из атомов или их ионов и электронов; именно с этого времени сохранились реликты, которые можно наблюдать имеющимися в распоряжении астрономов приборами и на основании наблюдений проверить теорию. Вот как вкратце выглядит история Вселенной в этой модели.

В тот момент, откуда физическая космология начинает отсчет времени, Вселенная представляет собой сгусток очень горячей и плотной плазмы из смеси протонов с электронами и позитронами. В нем присутствуют электрически незаряженные нейтрино, нейтроны и фотоны и, видимо, остающаяся по сей день загадочной, темная материя, обсуждение которой выходит за рамки этого повествования. Вселенная стремительно расширяется, вследствие чего сгусток остывает, а его плотность падает.

Все компоненты сгустка находятся в состоянии термического равновесия, то есть их относительные количества определены текущей температурой. Так получается потому, что в сгустке идет постоянное преобразование одних компонентов в другие. Так, фотоны — а в эту эпоху они обладают чудовищной энергией и представлены гамма-квантами, — сталкиваясь, порождают пары электрон—позитрон. Электрон, сталкиваясь с позитроном, как и положено при соприкосновении материи и антиматерии, аннигилирует, становясь снова гамма-квантами. Иногда разогнавшийся электрон влетает в протон и превращает его в нейтрон. Но если теперь в нейтрон попадет позитрон, то получится снова протон. Скорости всех этих реакций определяют температура вещества и его плотность.

Ядра атомов, то есть соединение нейтронов и протонов в единый объект, стали возникать позже. Причина в том, что хотя плотность вещества была огромна, миллиард миллиардов протонов и нейтронов в кубическом сантиметре, она все же оказалась ничтожной по сравнению с плотностью излучения — если пересчитать по формуле Эйнштейна его энергию в массу; космологи так и говорят, что это была эпоха безусловного доминирования излучения. Вездесущие фотоны огромных энергий сразу же отщепляли друг от друга нейтроны и протоны, которые пытались слиться даже в простейшее составное ядро — дейтрон.

Однако мгновения сменялись мгновениями, Вселенная расширялась, и в силу действия закона Доплера энергия фотонов падала, причем весьма стремительно, гораздо быстрее, чем плотность вещества. И вот однажды была преодолена красная линия — энергии фотонов перестало хватать на разрушение дейтронов. Мир радикально изменился. Во-первых, нарушилось тепловое равновесие компонентов — спектр фотонов перестал определяться температурой вещества. Эти древние фотоны выжили, сохранились до наших дней и составили первый важнейший реликт Большого взрыва — реликтовый фон излучения, несущий информацию об этой эпохе. А во-вторых, все получившиеся к тому времени нейтроны слились с протонами и создали ядра дейтерия. Так был запущен синтез химических элементов — нуклеосинтез.

Этот первичный дейтерий не выжил — плотность вещества и его температура были столь высоки, что пошел термоядерный синтез и весь дейтерий сгорел, превратившись в гелий-4 с небольшой добавкой гелия-3 и лития-7. А дальше нуклеосинтез не пошел — плотности вещества уже не хватало для того, чтобы запустить слияние ядер гелия. Этот гелий — второй важнейший реликт Большого взрыва. Третий — неучаствовавшие в нуклеосинтезе и сохранившиеся в неизменном виде ядра водорода — протоны.

Возникновение ядер, впрочем, не привело к образованию атомов; силы излучения были еще велики, и, если электрон пытался соединиться с ядром, налетевший фотон тут же разрывал эту некрепкую связь. Лишь спустя несколько сотен тысяч



лет после Большого взрыва покрасневшие из-за расширения Вселенной реликтовые фотоны настолько ослабели, что утратили способность разрушать атомы.

С момента образования атомов Вселенная приобрела электрическую нейтральность, после чего на малых масштабах силы электрического отталкивания уже не могли противостоять силе гравитационного притяжения — стало возможным локальное гравитационное сжатие разлетающегося вещества.

Ну а дальше в силу каких-то случайностей, флуктуаций в распределении вещества, пульсаций единое водородно-гелиевое облако стало распадаться под влиянием сил гравитации. В области каждой флуктуации вещество уплотнялось, и эти области обособлялись, втягивая в себя вещество из ближайших окрестностей, которые становились в общем-то пустыми, заполненными в лучшем случае крайне разреженным газом по большей части из протонов и электронов. Так формировались крупномасштабные структуры Вселенной — будущие скопления галактик. Эти структуры оставили свой след в виде анизотропии реликтового излучения — он стал еще одним свидетельством древних событий, которое очень пригодилось космологам для создания грандиозной картины развития нашего мира.

Сжатие шло неравномерно, облака дробились на все более плотные образования — в этих неоднородностях впоследствии сформировались галактики, а с ними и звезды с планетными системами. И по крайней мере на одной из них появилась жизнь, а потом и разумные существа, в том числе люди, наученные многим наукам, в частности физики, которые благодаря смелой мысли, бойкому перу и острому глазу сумели познать, как оно всё было там, за миллиарды световых лет от нас, в начале начал.

Сегодня, согласно как расчету космологов, так и наблюдениям астрономов, наш мир выглядит так. Вселенная начала расширяться 13,9 млрд лет тому назад. Постоянная Хаббла, характеризующая скорость такого расширения, — 720 км/с на мегапарсек. Кривизна пространства равна 0. Масса темной энергии — 74%, масса темной материи — 21%, масса вещества — 4,4%, масса нейтрино — менее 2%, масса излучения несколько менее соотой доли процента. В одном кубическом сантиметре в среднем содержится $9,7 \cdot 10^{30}$ граммов всех видов массы.

Что же касается тех немногих процентов массы Вселенной, которые приходится на вещество, то они распределены следующим образом: 4,2% составляет межзвездные и межгалактические облака плазмы, 0,22% — звезды, 0,05% — останки звезд и 0,08% — атомные и молекулярные облака в межзвездном пространстве. При этом 73% вещества Вселенной представлена водородом или его ядрами, 25% — это гелий, а остальные 2% — прочие элементы таблицы Д.И. Менделеева.

Масса, приходящаяся на планеты и все, что на них находится, столь мала, что подсчитать ее не представляется возможным. Однако именно эта ничтожная доля веществ и интересует нас больше всего, причем не только в бытовом плане, но и в мировоззренческом: каковы пределы для распространения рода человеческого и есть ли они.

Благодаря мастерству двух других нобелевских лауреатов 2019 года, Мишеля Майора и Дидье Кело, к настоящему времени открыто несколько сотен каменных планет земного типа. И это означает, что непреодолимых пределов перед человеком не стоит. В 1976 году в журнале «Вопросы философии» член-корреспондент АН СССР И.С. Шкловский опубликовал важную статью по этой теме — «О возможной уникальности разумной жизни во Вселенной». В ней он предложил всего один путь развития технической цивилизации — неограниченная космическая экспансия. Вот обоснование этого тезиса: «Уже сейчас ясно, что количественный экспоненциальный рост производительных сил в перспективе ближайшего столетия может сделать нашу планету непригодной для жизни (перегрев поверхности Земли, разрушение озоносферы, сверхперенаселение, катастрофическое загрязнение воздуха и воды и прочее). По этой причине отдельные авторы на Западе все чаще высказываются за необходимость остановки роста производительных сил и их дальнейшего строгого регулирования (концепция «равновесного состояния» цивилизации). Однако можно ли себе представить чисто качественное развитие какой-либо цивилизации (в частности, земной) без количественного роста, то есть без непрерывной экспансии? Думается, что нет. Как можно, например, такой цивилизации запретить освоение космического

пространства и использование его практически неограниченных материальных и энергетических ресурсов? Как можно запретить постепенный вынос в космическое пространство технологии, вредно действующей на окружающую среду и даже разрушающую ее? Закономерно начатый на определенном этапе развития цивилизации логически неизбежный процесс освоения Космоса должен стать неодолимым, подобно освоению новых земель и Мирового океана в эпоху великих географических открытий». Оптимизма в деле неограниченной экспансии Шкловскому придавал установленный факт отсутствия следов развитых цивилизаций в сфере радиуса не менее 300 парсек от Солнечной системы, то есть содержащей миллионы звезд: в этом случае экспансия человечества очень долго не встретит сопротивления других разумных рас и даже при их наличии вполне может считаться неограниченной.

С обнаружением многочисленных каменных, то есть потенциально пригодных для нашей жизни планет у других звезд идея космической экспансии человечества обретает под собой почву. Ну а удастся ли на этой почве возвести стройное здание, которое послужит убежищем для человечества, зависит от таланта физиков и инженеров; именно они способны открыть неведомые ныне способы преодоления пространства-времени и воплотить их в грандиозные машины будущего.

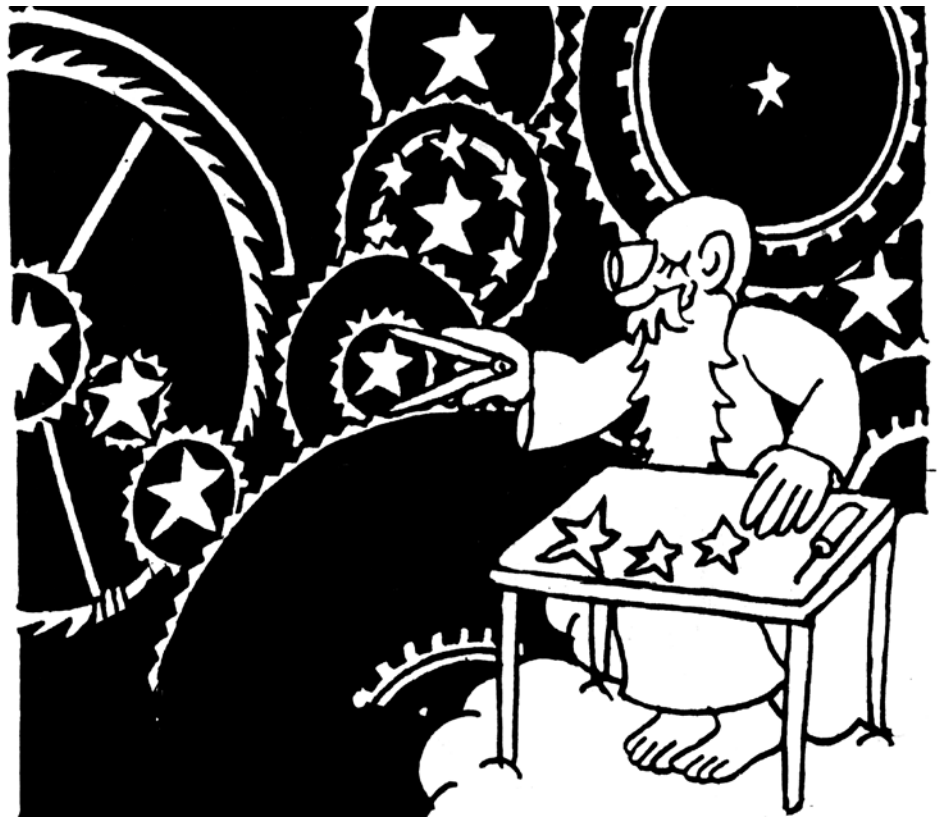


Модели Вселенной

Кандидат физико-математических наук
С.М. Комаров

Реликтовые фотоны, соотношение содержания водорода и гелия, следы первичных флуктуаций плотности — вот те ископаемые свидетельства, по которым астрофизикам удается реконструировать картину древней Вселенной. Модель горячего Большого взрыва хоть и кажется всем хорошо знакомой и в чем-то очевидной, сложилась совсем недавно, в середине 60-х годов XX века. А ранее господствовали совсем другие представления, с которыми пришлось расстаться под влиянием все новых и новых экспериментальных данных. Вот как об этом рассказано в книге «В поисках Большого взрыва» («Finding the Big bang»), которую подготовили Джеймс Пиблс, Лиман Пейдж-младший из Принстонского университета и Брюс Партридж из Хаверфордского колледжа в 2009 году («Cambridge University Press», New York).

В самом начале XX века основой космологии стало уравнение Общей теории относительности Альберта Эйнштейна, которое связало ускорение расширения Вселенной с ее массой. Эдвин Хаббл еще не открыл расширения Вселенной, поэтому у Эйнштейна были все основания считать Вселенную стационарной. Однако из уравнения следовало, что так не бывает: под действием гравитации Вселенная должна была схлопнуться.



Чтобы этого не допустить, в 1917 году в уравнение был добавлен лямбда-член, космологическая постоянная, обладающая свойством антигравитации, то есть препятствующая сжатию Вселенной. Физического смысла эта постоянная тогда не имела, была добавлена только из соображений гармонии, да и потом Эйнштейн счел, что она не нужна. Но в конце XX века оказалось, что она очень нужна теории, имеет физический смысл темной энергии и даже принесла Но-

белевскую премию исследователям, которые обнаружили эту полезность лямбда-члена.

Подкоп под стационарность Вселенной пошел сразу. В 1922 году А.А. Фридман, занимаясь метеорологией в Главной физической обсерватории в Петрограде, обнаружил, что независимо от влияния лямбда-члена Вселенная может и сжиматься, и расширяться. Эйнштейна эта идея возмутила, но вскоре он вынужден был

признать правоту советского коллеги. К сожалению, Фридман в 1925 году умер от тифа, которым он заразился, по его словам, съев немытую грушу по пути из Крыма в Ленинград, но идея была использована бельгийским физиком Жоржем Леметром. Он заметил: если Вселенная расширяется, значит, в ее начале лежало некое сверхплотное образование, первичный атом, которое и было разрушено Большим взрывом, а лямбда-член тут ни при чем.

В 1929 году Хаббл открыл красное смещение, то есть выяснил, что Вселенная действительно расширяется со скоростью, определяемой постоянной Хаббла. Это сразу же вызвало множество вопросов. Например, откуда взялось расширение — из-за лямбда-члена или причина иная? Оно — единственное в жизни Вселенной или наш мир совершает колебания? Леметр в 1933 году отметил, что с чисто эстетической точки зрения Вселенная должна бы пульсировать, вновь и вновь возвращаясь в сверхплотное состояние.

Другой великий космолог, голландец Виллем де Ситтер (он придумал модель Вселенной, расширяющейся из-за действия лямбда-члена, и, в сущности, последние несколько миллиардов лет, когда темная энергия поборолла гравитацию, это Вселенная де Ситтера), отмечал, что идея пульсаций ему не нравится опять-таки из эстетических соображений. Физические же соображения подсказывают, что из-за неоднородностей разные участки Вселенной будут стягиваться в точку с разными скоростями и какие-то звезды вполне могут пролететь мимо места встречи, породив другие Вселенные.

Первый подход к Большому взрыву

Идея пульсирующей Вселенной не стала основным направлением космологии, хотя от нее полностью не отказались. Ее критикуют; например, академик АН СССР Я.Б. Зельдович отмечал, что в такой Вселенной идет накопление энтропии, с которой непонятно что делать. В современной концепции ее предполагают спрятать в черных дырах, которые, очевидно, будут унаследованы следующей расширяющейся Вселенной. Пульсирующая Вселенная дает интересный ответ на вопрос о происхождении реликтового излучения — это свет звезд предыдущей Вселенной, сконцентрировавшийся при сжатии; в него также можно спрятать нарастающую энтропию. Рассуждения именно о судьбах пульсирующей Вселенной поставили Роберта Дикке перед необходимостью поиска реликтового излучения, о чем будет рассказано ниже.

Большой взрыв, впрочем, прекрасно вписывается в пульсирующую Вселенную — достаточно предположить, что в цикле сжатия она снова собирается в исходную точку, в сингулярность, и затем всё идет с самого начала. При этом сложные вопросы вроде — а что делать с энтропией? — можно оставить на потом, а сначала построить более-менее количественную модель образования элементов при расширении Вселенной. Первым с этой задачей справились Георгий Гамов и его ученик Ральф Альфер.

В знаменитой статье 1948 года Альфера, Бете и Гамова (Ханс Бете был добавлен исключительно из соображений эстетики — чтобы фамилии соавторов воспроизводили ряд радиоактивных излучений: альфа-, бета- и гамма-) они показали, что в горячей Вселенной очень мало шансов на формирование тяжелых элементов, а в холодной их и вовсе нет. Причина в том, что в первом случае энергии слишком велики для образования ядер из протонов и нейтронов, а во втором нуклеосинтез идет слишком медленно и все нейтроны успевают претерпеть распад, стать протонами. Из этих рассуждений и родилась Вселенная, которая на раннем этапе заполняется водородом и гелием. Два года спустя Хаяси Тюсиру подсчитал, что в равновесии при той температуре, когда протоны смогли объединятся с нейтронами в ядра дейтерия, один нейтрон приходился на пять протонов. Отсюда нетрудно было получить, что в начальной Вселенной гелия должно было получиться в два раза меньше, чем осталось водорода (если мерить по массе), то есть 66 и 33% соответственно.

Предположение Гамова о преобладании в ранней Вселенной водорода с гелием было очень смелым: вплоть до 50-х годов XX века физики были уверены, что водород составляет хорошо если треть от всего вещества Вселенной, содержание же гелия совсем невелико. Поэтому неудивительно, что работу Гамова вскоре забыли и в 60-х годах космологам пришлось фактически начинать свои расчеты с нуля.

Гамов в том же 1948 году оценил и температуру фотонов, которые дожили до наших дней с момента начала нуклеосинтеза, — у него вышло 5 К. С одной стороны, это не очень точно — в два раза больше, чем на самом деле — современные измерения дают 2,735 К. Но с другой стороны, столь холодное излучение — это хорошо, ведь максимум спектра приходится на микроволновой диапазон, а Вселенная в этом диапазоне прозрачна, ничто не мешает такому излучению распространяться на огромные расстояния. То есть оно не портится за миллиарды лет путешествий и его можно наблюдать.



ИСТОРИЯ СОВРЕМЕННОСТИ

Стационарная Вселенная против Большого взрыва

В 1948 году астрофизик из Кембриджа британец Фред Хойл, анализируя эволюцию звезд, впервые высказал революционное по тем временам предположение, что астрономы заблуждаются: водород в звездах составляет не «от силы треть», а все 99%, а на более тяжелые элементы приходится ничтожная доля вещества. К 1960 году он полностью уверился в этой концепции, тем более что она соответствовала приглянувшейся ему модели стационарной Вселенной, и его кембриджские студенты даже не могли помыслить, что состав нашего мира и история его развития могут быть иными.

Модель стационарной Вселенной была отголоском давних споров еще времен Эйнштейна, но в более-менее законченном виде она появилась как раз в 1948 году. Возможно, это была реакция на попытки Гамова с коллегами построить количественную теорию Большого взрыва. Авторами модели были как сам Хойл, так и его кембриджские коллеги: Герман Бонди и Томас Голд (оба — уроженцы Австрии, причем если Голд бежал в Англию от нацистов, то Бонди ранее аншлюса уехал туда учиться). Согласно их модели, Вселенная существовала всегда, а вещество — водород — в ней рождается постоянно и повсеместно, только скорость этого рождения слишком мала, чтобы процесс можно было зафиксировать в лаборатории. Хойл назвал рождающееся вещество «полем творения» и обозначил его буквой С — от английского «creation».

Из рождающегося вещества формируются облака газа, которые, уплотняясь, создают новые галактики. А прежние за счет расширения Вселенной постоянно удаляются со сцены. При этом сохраняются расстояния между галактиками — примерно три мегапарсека, которые отделяют Млечный Путь от соседей; так обеспечивается изотропность Вселенной на больших масштабах: плотность распределения галактик в пространстве не меняется. В такой Вселенной все галактики, в принципе, одинаковы, разве

что дальние из них старше, чем ближние, а Солнечная система оказывается одним из самых молодых наблюдаемых объектов Вселенной.

При Большом взрыве картина обратная — чем дальше галактика от нас, тем она моложе: мы видим свет, который она испустила давным-давно, а самый старый космический объект, наблюдаемый человеком, — наша Земля. При этом галактики ранней Вселенной, очевидно, должны резко отличаться от галактик поздней Вселенной. Найдя такую разницу, можно проверить справедливость теории. Однако разглядывать дальние галактики нелегко, еще труднее находить различия между ними и связывать их с возрастом. Поэтому потребовались более яркие и точные экспериментальные свидетельства. Таких свидетельств в середине 60-х годов нашли всего два: соотношение легких элементов и реликтовое излучение. В разных теориях эти свидетельства выглядят по-разному. При горячем Большом взрыве выходит 66% водорода и 33% гелия. В стационарной Вселенной, как видно, водорода должно быть больше, а гелия меньше. На сколько?

Борьба за стационарную Вселенную

Поскольку в стационарной Вселенной элементы нарабатываются в звездах из водорода, не так уж трудно оценить, сколько получается гелия. Свет звезд образуется при горении водорода, светимость Галактики, которая известна, складывается из света звезд. Значит, можно из данных о светимости высчитать интенсивность реакции горения, а ее продуктом как раз и служит гелий. Остается умножить эту интенсивность на время существования Галактики и получить общую выработку искомого элемента. Расчет показал, что гелия получится совсем немного — один атом на каждую сотню атомов водорода, то есть гораздо меньше, чем по расчету Гамова и Хаяси. Однако, может быть, так много и не нужно, может быть, выработанного в звездах гелия хватит, чтобы заполнить Вселенную?

В конце 50-х годов ответа на этот вопрос не было, в частности, потому, что гелий измерять трудно из-за особенностей его спектральных линий — они хорошо заметны лишь в немногочисленных самых горячих звездах. Например, содержание гелия в Солнце измеряли не по спектру свечения, а по составу солнечного ветра, и он давал всего 9 ядер гелия на 100 ядер водорода. Такие измерения прибавляли воодушевления кембриджским сторонникам теории стационарной Вселенной. Вот один из эпизодов их борьбы за торжество своей теории.

Как-то в начале 1964 года Хойл читал свой блестящий курс лекций по космологии и внегалактической астрономии для студентов-старшекурсников. В одной из них он коснулся темы образования легких элементов, прежде всего гелия, в модели горячего Большого взрыва. При этом напомнил основательно забытые к тому времени выкладки Гамова, написал соответствующие уравнения и предложил одному из своих студентов, Джону Фолкнеру, подсчитать более точно соотношение нейтронов и протонов в момент образования ядер, а из этого соотношения и следовало содержание гелия во Вселенной. Фолкнер быстро написал программу, пропустил ее через компьютер (в Кембридже к тому времени уже работала машина Edsac II) и к вечеру получил искомое значение: содержание гелия по массе около 25%. Фолкнер написал на распечатке большими буквами «Содержание гелия во Вселенной», победно помаhal ею перед другими студентами и отправился к себе домой. На следующий день результаты расчета были доложены Хойлу. Тот им сильно обрадовался и сказал: «Ну всё. Мы расправились с теорией Большого взрыва». А на недоуменный вопрос — как? — пояснил, что недавние измерения показывают: доля гелия во Вселенной никак не больше 10% от числа атомов водорода.

Фолкнер, который слышал другую версию рассказов про эти измерения, в недоумении пошел в библиотеку и откопал свежайший препринт тех самых авторов, на которых ссылался Хойл. В нем было черным по белому написано: измерения показали, что в исследованной нами планетарной туманности K648 соотношение атомов гелия к водороду составляет 18%, то есть концентрация гелия аж 40% по массе! С этим препринтом Фолкнер побоялся идти к учителю, а пошел к его коллеге — Роджеру Тейлеру. Тот пообещал аккуратно сообщить неприятную новость Хойлу. Каково же было удивление Фолкнера, когда в апреле того же года в «Нейчер» вышла статья Хойла и Тейлера, где упоминалось, что Фолкнер точно посчитал, сколько гелия во Вселенной горячего взрыва — более 14 атомов на 100 атомов водорода, — и были приведены данные, что в реальной Вселенной гелия гораздо меньше: в туманности Ориона — 9, в солнечных космических лучах — 9, в Малом Магеллановом облаке — 11, а в пресловутой планетарной туманности K648 — от 9 до 19 атомов гелия на 100 атомов водорода. И лишь в ярчайших бело-голубых звездах это значение поднимается до 16. то есть только в таких звездах выполняется соотношение, требующее для Большого взрыва.

А далее был предложен выход из создавшейся ситуации. Выход такой. Коль скоро гелия меньше, чем при

Большом взрыве, но больше, чем может получиться при горении водорода в обычных звездах, значит, этот гелий получен при горении водорода в огромных звездах — в миллион раз тяжелее, чем Солнце. Там могут развиться температуры в 10 миллиардов градусов — как раз столько, сколько было во Вселенной в момент начала нуклеосинтеза. То есть получались маленькие аналоги горячего Большого взрыва с теми же последствиями для синтеза легких элементов.

А что с микроволновым фоном? Оказывается, если наработка гелия идет в таких звездах, то возникающее излучение, придя к тепловому равновесию, будет иметь температуру 2,75 K! Всего на 0,015 K больше результатов измерения (которые были проведены позже)! Как с грустью отмечает Джордж Барбинт, который в 1958-м, работая в Кембридже с Хойлом, проводил соответствующий расчет, этот результат сочли незначительным и никогда не публиковали. Будь он опубликован, история космологии оказалась бы иной: предвидение теоретиков давало хороший аргумент в поддержку стационарной Вселенной. После открытия реликтового излучения Барбинт с Хойлом решили исправить упущение. Они подготовили соответствующую статью, однако опубликовать ее удалось только в 1998 году, а по свежим следам события, как предполагает Барбинт, статью отвергли рецензенты, защищавшие гипотезу Большого взрыва.

И все же Хойл не отказался от своей модели. Например, в 1996 году он читал лекцию в Кавендишском физическом обществе по случаю своего 80-летнего юбилея (в первый раз он там выступал в 1948 году как раз с теорией стационарной Вселенной) и заметил, что в своей теории постоянного созидания вещества он совершил лишь одну ошибку. А именно обозначил поле созидания буквой C, а не буквой пси. Потому что в современной теории расширяющейся Вселенной присутствует скалярное поле темной энергии, обозначаемое буквой пси, и оно один в один соответствует полю C из теории Хойла или космологической постоянной в теории Эйнштейна — Леметра.

Как знать, может быть, это обстоятельство заставит космологов вспомнить о модели стационарной расширяющейся Вселенной и поискать те самые сверхзвезды, которые вместо Большого взрыва обеспечили производство гелия и микроволнового фона, или хотя бы идентифицировать их останки, то есть найдут в необходимом количестве гигантские черные дыры. Интересно, что знаменитый советский астрофизик В.А. Амбарцумян категорически не принимал идею формирования звезд

конденсацией скоплений межзвездного газа, а считал, что звезды, точнее, их ассоциации, рождаются при взрывах огромных сверхзвезд – иначе у него не получалась модель образования таких ассоциаций. Сверхзвезды Амбарцумяна вполне соответствуют гигантским звездам стационарной Вселенной Хойла — Тейлера.

Холодный Большой взрыв

Другой интересной альтернативой нынешней модели Вселенной была модель холодного Большого взрыва, и ее появление также было связано с неопределенностью в измерениях всеенского гелия. Эту модель в конце 50-х годов разрабатывал Я.Б. Зельдович. В 1962 году идея холодного Большого взрыва выглядела так.

Вселенная поначалу заполнена ферми-жидкостью из протонов, электронов и нейтрино (такой жидкостью

управляет принцип Паули, запрещающий двум одинаковым частицам занимать один и тот же уровень энергии). Электрон высокой энергии с радостью слился бы с протоном, образовав нейтрон. Но при этом рождается нейтрино, а свободного места для него в жидкости нет, поскольку все энергетические уровни заполнены. Значит, никаких реакций идти не может, нейтронов нет, излучения нет, а температура равна нулю. При начале расширения электроны соединяются с протонами и образуется водород, который, скорее всего, замерзает, а потом трескается. Далее Вселенная заполняется обломками этого водородного льда либо каплями жидкого водорода, а из них потом формируются скопления галактик и всё прочее. Все элементы тяжелее водорода получаются при горении вещества в звездах, гелия образуется немного, микроволнового фона нет.

У Зельдовича основания к созданию такой модели были не менее веские, чем у Хойла: ведь подавляющее большинство астрофизиков тогда считало, что гелия во Вселенной мало, уж гораздо меньше требуемых горячим взрывом трети вещества. Провести горячий Большой взрыв с выходом малого количества гелия оказалось возможным, но для этого требовалась значительно меньшая плотность вещества в момент формирования ядер, чем при расчете Гамова. В результате дейтерий не успевал выгорать, и его в такой Вселенной оказывалось не следы, а очень много — несколько процентов, чего не наблюдается. Кроме того, из-за меньшей плотности вещества реликтовое излучение оказывалось горячее, и современная Вселенная выходила не холодной, 2,735 К, а «теплой» — около 30 К, что также не соответствовало уже имевшимся на то время результатам наблюдений: они давали температуру менее 20 К. Для выхода из этой неприятной ситуации и пришлось придумать другую версию Большого взрыва.

Вот как об этой проблеме писал Я.Б. Зельдович в своих воспоминаниях: «В самом начале моей астрофизической деятельности меня беспокоили привычки, приобретенные в ходе моей прикладной деятельности (а он внес значительный вклад в создание атомной бомбы. — *Примеч. ред.*). Астрофизик должен задавать вопросы: как устроена природа? какие наблюдения дают возможность прояснить это? Однако я сформулировал проблему по-другому: как построить Вселенную или пульсар, чтобы удовлетворить условиям технического задания, — простите, я имел в виду прямые наблюдения. Так возникли идея холодной Вселенной и мое представление о пульсаре как о белом карлике в состоянии сильных радиальных колебаний. В качестве оправдания этих идей я могу только сказать, что никогда не настаивал на своих ошибках».

До тех пор пока не было точных измерений содержания гелия и микроволнового фона, физикам приходилось опираться на теоретические исследования. В частности, молодые аспиранты в группе Зельдовича рассчитывали значения для разных моделей Вселенной. Так, Ю.Н. Смирнов (он известен как участник разработки термоядерной бомбы и автор книг по истории советского атомного проекта) в 1964 году вычислил содержание гелия при разных сценариях Большого взрыва. Именно из его расчета следовало, что во Вселенной будет либо много гелия, либо много дейтерия. Этот расчет придавал Зельдовичу уверенности в справедливости холодной модели. Работу Смирнова не заметили: в следующем году был открыт микроволновой фон, и



дискуссия прекратилась ввиду исчезновения ее предмета, а Зельдович счел модель холодного Большого взрыва опровергнутой.

С работой И.Д. Новикова и А.Г. Дорошкевича (оба стали известными астрофизиками, соответственно членом-корреспондентом РАН и доктором физико-математических наук) вышла более занятая история. В 1964 году они рассчитали современный спектр реликта, оставшегося от Большого взрыва, и обнаружили, что этот спектр действительно, как и предполагал Гамов, расположился в области сантиметровых и миллиметровых волн, для которых Вселенная прозрачна. В этой области нет никаких ярких излучателей, реликтовое излучение в миллионы раз интенсивнее всех других источников, стало быть, спутать его никак невозможно. А энергия этого излучения оказалась совсем не ничтожной — она была сравнима с энергией звездного света. Стало быть, его можно и нужно наблюдать!

Именно такой вывод авторы сделали в своей статье, надеясь спровоцировать экспериментаторов на проведение наблюдений. К сожалению, экспериментаторы работу не заметили, а спустя год американцы Арно Пензиас и Роберт Уилсон открыли микроволновой фон, причем, сделали это совершенно случайно, даже не зная о его существовании. Новиков вспоминал, как Пензиас не раз сожалел, что не видел его статью, — ведь лишь случайное стечение обстоятельств заставило обратить внимание на досадный фон, который мешал калибровке радиотелескопа. А прочитай он статью, природа этого досадного фона стала бы понятна, как и вся значимость наблюдения.

Зельдович, узнав об открытии микроволнового фона в 1965 году, сразу сделал выговор ученикам, упрекая: почему не поместили в статье изображение предполагаемого спектра? Когда ему показали, что спектр опубликован, он посетовал на малые усилия, предпринятые для пропаганды этой статьи. Сам же Зельдович отмечал, что «исходя из общих физических соображений у меня были все основания выдвинуть гипотезу о “холодной” Вселенной. Но если Вселенная горячая, в ней будет реликтовое космическое микроволновое фоновое излучение! И я должен был объяснить экспериментаторам, что они должны наблюдать и как».

Самый главный взрыв

А что в это время делал будущий нобелевский лауреат 2019 года Джеймс Пиблс? Обратимся к его воспоминаниям из упомянутой в начале статьи книги.

В 1958 году, окончив университет Манитобы, он оказался в Принстоне, в группе Роберта Дикке, и стал его аспирантом. Еще при подготовке к диплому Пиблс познакомился с моделью горячей расширяющейся Вселенной и подумал: «Неужели это можно рассматривать всерьез как модель реального мира, ведь такой подход очень похож на за-



дачу о сферическом коне в вакууме». Однако, прочитав «Космологию» Бонди, он был в неменьшей степени шокирован и фантазиями авторов идеи стационарной Вселенной. Впрочем, Дикке быстро объяснил молодому аспиранту, что космология — это все-таки не сборник фантазий, а вполне физическая наука, основанная на наблюдениях астрономов. Это внушение пошло на пользу — в 1971 году Пиблс опубликовал свою собственную книгу «Физическая космология».

Дикке любил идею пульсирующей расширяющейся Вселенной, и его интересовало многое: что же было до начала расширения, как излучение накапливается при сжатии Вселенной, как оно разрушает ядра и нельзя ли как-то поглядеть на этот процесс. А в горячих дискуссиях о стационарной Вселенной он не участвовал — эта тема его просто не интересовала. На одном из семинаров Дикке предложил задуматься над такой моделью. Представим себе ящик с отражающими стенками. В нем заключено излучение, причем его температура соответствует тем-

пературе того излучения, что снаружи. Стенки ящика раздвигаются по мере расширения Вселенной. Что будет с заключенным в нем излучением? Оно сохранит равновесный тепловой спектр, но его температура будет падать. А можно ли этот спектр измерить? После семинара последовало предложение найти такое излучение во Вселенной, для чего нужно усовершенствовать прибор — радиометр Дикке; для этого были приглашены Питер Ролл и Дэвид Уилкинсон (он впоследствии возглавит проект по созданию спутника WMAP для изучения анизотропии реликтового фона). На семинаре Дикке и сказал Пиблсу: мол, тебе было бы неплохо посчитать, что мы увидим в результате эксперимента, — чем и предопределил дальнейшую карьеру ученого.

Пиблс начал свои расчеты с того же, с чего и его коллеги в Великобритании и СССР, — посчитал, сколько выйдут гелия и водорода при остывании Вселенной. К 1964 году он рассмотрел несколько вариантов. Был там и горячий взрыв с большим выходом гелия, была и холодная Вселенная, где большое число нейтрино препятствовало созданию нейтронов. Рассуждая с Дикке о судьбах мира, они предположили и совсем уж экзотический вариант — а что, если общая теория относительности неверна, что, если в ранней Вселенной гравитация была гораздо сильнее, чем в настоящее время? Соответственно, для разных Вселенных были получены и спектры реликтового излучения. Но когда Пиблс попытался опубликовать статью, это ему не удалось: рецензент отметил, что тема гелия уже не раз освещена в более ранних публикациях.

Как же вышло, что американские космологи не знали не только о давних работах Гамова, но даже о свежих идеях Зельдовича, расчетах Смирнова, Новикова и Дорошкевича, Хойла и Тейлера? Дикке взял на себя ответственность за этот промах: «Да, был неприятный момент в наших исследованиях излучения Большого взрыва. Мы не провели адекватного литературного поиска и упустили важные статьи <...>. Это была моя вина — другие члены группы были молоды и неопытны. А я ведь слышал лекции Гамова в Принстоне, но мне почему-то запомнилось, что его Вселенная холодная и в ней преобладают нейтроны».

Однако Пиблс вполне успешно выступал на коллоквиумах, рассказывая о своих расчетах, и перед одним из них спросил у Уилкинсона: «Можно ли рассказать о работе по созданию радиометра для изучения реликтового излучения?» — «Конечно, — ответил тот, — ведь никто не может соперничать с нами, мы первыми взяли за

решение этой задачи». Пиблс рассказал коллегам о разрабатываемом проекте, что имело значительные последствия — та Нобелевская премия, которая по всем правилам должна была оказаться в руках Дикке как инициатора фиксации реликтового излучения, попала совсем в другие руки. Вот как об этом вспоминает Арно Пензиас, которому — вместе с Робертом Уилсоном, коллегой из «Белл лабораториз» — эта премия в конце-концов досталась.

«К середине 1964 года мы, настраивая антенну радиотелескопа, обнаружили некий постоянный микроволновой шум на уровне 3 К. Это не был внутренний шум антенны, а нечто идущее снаружи. Что это: шум атмосферы, шум астрономических источников? Понимания не было, и мы решили отложить публикацию, поскольку в то время литература по радиоастрономии и так изобилвала сообщениями о загадочных сигналах. Но вот в конце 1964 года я встретил в Монреале на съезде Американского астрономического общества Берни Барка и поделился с ним нашей проблемой. Спустя недели две он мне позвонил и сообщил, что ему сказали, будто есть какой-то тип из Принстона, который проталкивает теорию, где есть излучение в микроволновой области с температурой ниже 10 К, а потом и прислал препринт соответствующей статьи».

Пензиасу хватило первого абзаца, где речь шла об излучении, которое нужно измерить для проверки модели пульсирующей Вселенной, столь занимавшей Дикке. Пензиас сразу позвонил в Принстон. А у Дикке как раз проходило совещание с Пиблсом, Уилкинсоном и Роллом о работе с радиометром. К удивлению Пензиаса, Дикке не пообещал перезвонить позже, а сразу стал расспрашивать о деталях открытия и предстоящей работе. Вскоре Дикке с коллегами были в лаборатории Пензиаса и осматривали его аппаратуру. Во время последующего обсуждения выяснилось, что исследователи дополняют друг друга: в группе Дикке хорошо понимают космологию, но успехи в создании приборов для наблюдения радиоволн несколько скромнее, чем у Пензиаса и Уилсона. Пензиас было предложил Дикке совместную публикацию, но тот категорически отказался. А все сообразие космологов впоследствии сожалело, что Нобелевский комитет не включил Дикке в состав лауреатов.

Интересно, что у него была еще одна возможность открыть реликтовое излучение. Дело в том, что в межзвездных облаках водорода есть достаточно много цианид-ионов CN^- , чтобы их можно было наблюдать. И у этого иона, единственного из межзвездных веществ, имеется возможность возбуждаться

именно микроволновым излучением с температурой около 3 К. Иными словами, измеряя возбуждения этого иона, можно измерять интенсивность реликтового излучения в различных областях Вселенной, сделать своеобразный термометр для нее, чем теперь пользуются астрофизики, ведь, кроме реликтового, никакого иного излучения с такой температурой во Вселенной нет.

Однажды в начале 1964 года Дикке спросил у своего аспиранта Невилла Вульфа, не знает ли он способ измерить интенсивность реликтового фона. «Так есть же ваши собственные измерения 1946 года (Дикке тогда с помощью своего радиометра установил, что уровень микроволновых шумов не более 20 К. — *Примеч. ред.*), — ответил тот и добавил в ответ на молчание шефа: — Ну, в конце концов, есть же молекулы межзвездного газа...» Поскольку молчание затягивалось, аспирант смутился и пробормотал: «Похоже, я сказал какую-то глупость». Потом он себя корил: если бы не его смущение, если бы разговор об измерениях возбуждений межзвездного цианид-иона продолжился, Дикке оценил бы этот способ и обнаружил реликтовый фон первым. Интересно, что примерно в это же время в Москве И.С. Шкловский отработывал такую же идею.

Инструмент понимания Вселенной

Открытие реликтового излучения вылило в космологов во всем мире прилив энтузиазма, ведь оно сохранило в себе отпечаток всех значимых событий, происходивших во Вселенной с момента начала нуклеосинтеза. В частности, формирование ее крупномасштабных структур. Еще Гамов в 1948 году указывал: температура вещества и его плотность определяют размер облаков, в которых гравитация способна преодолеть силы расширения и создать компактные объекты. Пиблс к 1967 году провел тщательный обсчет этой идеи. Согласно ему, до тех пор пока возникшие при Большом взрыве ядра водорода и гелия не слились с электронами, сформировав электрически нейтральные атомы, излучение не давало возникнуть таким облакам, и никакая гравитация не могла с этим бороться. Однако с обретением веществом электрической нейтральности эта возможность появилась, и во Вселенной закономерно возникли неоднородности, из которых гравитация создала скопления галактик и все структуры меньшего масштаба. Размер этих неоднородностей оказалось возможным рассчитать, причем одновременно с Пиблсом этим в Москве занимались Р.А. Сюняев (в 1992 году избран в академики РАН) и Я.Б. Зельдович.



ИСТОРИЯ СОВРЕМЕННОСТИ

В своих воспоминаниях Сюняев приводит следующий интересный факт, связанный с этими расчетами. Во время их проведения он обнаружил квазипериодические флуктуации угловой амплитуды реликтового излучения. Зельдович, пробежав по диагонали подготовленную статью, вычеркнул упоминание про то, что эти флуктуации весьма важны, посчитав их, напротив, слишком ничтожными, не доступными для изучения. Однако, чтобы не расстраивать аспиранта, сказал — все-таки тут интересная физика, надо бы статью опубликовать. И неожиданно предложил назвать эти флуктуации сахаровскими осцилляциями, потому что А.Д. Сахаров в этот период каждый день менял свое мнение по различным вопросам. Сюняев было сказал, что ни в одной сахаровской работе он не встречался с такой идеей. На что шеф ему ответил «но ведь в статье Сахарова о холодной Вселенной каждый второй абзац начинается с фразы — как мне сказал Зельдович». Так в словарь науки вошли сахаровские осцилляции, ныне считающиеся универсальной линейкой для структур Вселенной.

Реликтовый фон, точнее, его искажения, несет еще много интересной информации как о событиях, происходивших и происходящих во Вселенной, так и об ее устройстве, однако для того, чтобы такую информацию выявить, нужны очень точные измерения. Если наличие реликтового фона удалось зафиксировать относительно дешевыми универсальными приборами, то точные измерения потребовали создания специальных приборов, и история затянулась на два с лишним десятка лет. Вершиной же мастерства инженеров стали спутниковые детекторы — COBE (запущен в 1989 году), WMAP (запущен в 2001-м) и обсерватория «Планк» (запущена в 2009-м). COBE уже принес своим создателям Нобелевские премии, и, несомненно, собранные этими и будущими обсерваториями данные доставят нам еще немало удивительных подробностей о мире, в котором мы живем.





Jo Amo

Нейроинтерфейс: как и зачем

Доктор физико-математических наук
А.Н. Павлов,
доктор физико-математических наук
А.Е. Храмов



ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

– Вспомните, как он назвал свою расу, — тихо произнес психолог.
Тагбар замигал глазами очень медленно.
Когда он заговорил, его голос был хриплым шепотом:
– Существами с великой силой мысли.
– Вот именно, — подтвердил Зендоплит.
Джон Гордон. Честность — лучшая политика.

Во многих фантастических романах есть сцены, когда герой управляет сложным техническим устройством, например, в романе Стивена Кинга «Томминокеры» космический корабль пришельцев управляется мысленными намерениями человека. Возникает вопрос: когда мы сможем прочесть мысли человека и создать устройства (или интерфейсы, говоря компьютерным языком), транслирующие наши мысленные намерения в те или иные команды? По крайней мере, название для них уже есть: нейроинтерфейсы или, для простоты — интерфейсы.

Нейро — нерв, интер — между, фейс — лицо

До чтения мыслей нейрофизиологам и инженерам еще так далеко, что непонятно, сколько. Однако задача создания интерфейсов мозг–компьютер понемногу решается. Нейроинтерфейсы — это устройства и программы, которые используют эти устройства, то есть которые регистрируют активность в различных областях головного мозга и переводят эти сигналы в команды управления внешним устройством, например, компьютером. «Активность» мозга может проявляться по-разному, и ниже мы это обсудим.

Сама разработка интерфейсов мозг–компьютер весьма востребована и поэтому быстро развивается. Области применения можно условно разделить на несколько групп. Первая — это наука, то есть исследование работы мозга. Вторая группа применений — это медицина: диагностика, лечение и реабилитация. Третья — это управление «силой мысли» всем на свете — экскаватором на Земле, исследовательским роботом на Луне, экзоскелетом для увеличения возможностей здорового человека, коляской для инвалида и автомобилем для них обоих. И вообще помощь частично или полностью парализованным во взаимодействии с внешними устройствами, например, технология neurochat.pro, позволяющая людям с ограниченными возможностями общаться. Тут же, кстати, игровая индустрия — круто мочить монстров силой мысли! Четвертая, не очевидная область, — это тонкое взаимодействие мозга и внешних устройств, в том числе с обратной связью, когда не только человек управляет внешним устройством, но и внешний мир что-то сообщает человеку,

как-то на него влияет. Сюда относятся тренировка устойчивости человека к факторам стресса, улучшение владения своим психофизиологическим состоянием, разработка возможности оценивать и передавать эмоции человека устройствам.

Продвижение во всех этих направлениях зависит от понимания того, как работает наш мозг, как его работа отражается в том, что мы можем наблюдать. В современных интерфейсах регистрируют макроактивность головного мозга в виде сигналов электроэнцефалограмм (ЭЭГ), магнитоэнцефалограмм (МЭГ), ближней инфракрасной спектроскопии (NIRS, Near Infrared Spectroscopy).

Мозг обрабатывает входящие сенсорные стимулы, например — звук, запах, цвет, вкус, принимаемые через периферические нервы, и подает импульсы на исполнительные механизмы, например, на мышцы и железы. Кроме того, он отвечает за мышление, обучение, обработку зрительной информации, речь, память, эмоции и тому подобное. Все эти действия мозга отражаются в регистрируемой активности головного мозга, например, движение конечностью отражается вполне определенным образом на ЭЭГ человека. Причем если движение не реальное, а только воображаемое, то на ЭЭГ это тоже отражается.

При этом программа в компьютере может как угодно сложно обрабатывать сигнал, она может обучаться, адаптируясь как к задаче, так и к конкретному человеку. Для такого обучения необходима обратная связь — программа должна получать информацию о том, правильно ли она интерпретировала полученные сигналы, правильно ли она «поняла» тот конкретный мозг, с которым работает. При этом программа может отчасти управлять и пациентом, ориентируя его на работу с теми ситуациями, которые она распознает менее успешно. Можно даже сказать, что интерфейс мозг–компьютер использует искусственный интеллект для распознавания типов активности мозга.

Первые интерфейсы, упоминаемые в научной литературе, были разработаны в 1973–77 годах научной группой Калифорнийского университета при поддержке Национального научного фонда США и Управления перспективных исследовательских проектов Министерства обороны США. В экспериментах участвовали добровольцы, на головах которых в затылочной и теменной области размещали пять электродов, а затем обрабатывали получаемые сигналы. В тех работах авторы анализировали особенности структуры сигналов ЭЭГ, возникающие во время предъявления человеку разных изображений, так называемые зрительные вызванные потенциалы. Но это были самые первые попытки.

Классификация интерфейсов

Множество нейроинтерфейсов можно разделить на три группы: активные, реактивные и пассивный интерфейсы. Активный интерфейс использует изменения активности мозга, которая непосредственно и сознательно управляется человеком. Например, человек воображает, что двигает

правой ногой и правой рукой. Это мысленное усилие приводит к изменениям в электрической активности мозга, на основе которых программа формирует управляющие команды, посылаемые на внешнее устройство, как в интерфейсе для печати текстов «Hex-o-Spell». Реактивный интерфейс формирует управляющие команды, изучая ответ мозга на внешний сигнал, например, свет или звук. Пример реактивного интерфейса — экранная клавиатура с мигающими по очереди символами: мозг откликается, когда мигает тот символ, который задумал человек. Пассивный интерфейс анализирует текущую активность головного мозга, которая возникает сама по себе, в процессе жизнедеятельности человека. Такие интерфейсы могут быть полезны для создания систем мониторинга, которые следят за эмоциональным состоянием, обнаруживают снижение концентрации внимания или потерю контроля над системой.

Активные и реактивные интерфейсы в первую очередь представляют интерес в работе с людьми с ограниченными возможностями. Пассивные, оценивающие состояние человека, могут найти применение в индустрии развлечений, компьютерных играх, нейромаркетинге, а также мониторинге тех или иных эмоциональных и функциональных состояний оператора в человеко-машинных системах. Они могут следить за оператором — не отвлекается ли он, не перевозбужден, наконец, просто — на заснул ли он.

Но как увидеть, что происходит в мозге? Исследование работы нейронов нужна далеко не только для создания интерфейсов. Наблюдение за их работой позволяет обнаруживать повреждения в ткани головного мозга, помогает в диагностике травм мозга, нейродегенеративных изменений в мозге, связанных с возрастом пациента, метаболических нарушений и поражений мозга в более мелком масштабе, в выявлении эпилептических очагов.

В основе работы интерфейса лежит анализ информации, поступающей от пациента по четырем каналам. Это электрические импульсы нейронов, их магнитная активность, скорость течения крови внутри сосудов и изменение метаболизма. Рассмотрим их по очереди.

Электроэнцефалография

Наверное, все читатели «Химии и жизни» знают, что такое электроэнцефалография. И все же напомним, что это запись электрической активности головного мозга с помощью электродов, расположенных на поверхности головы (неинвазивная, или скальповая ЭЭГ) или наложенных непосредственно на кору головного мозга (инвазивная ЭЭГ, или электрокортикограмма). Амплитуда сигнала составляет в первом случае порядка 100 мкВ, во втором — раз в десять больше. Электроды, наложенные непосредственно на кору, дают больше информации. Они позволяют регистрировать даже активность отдельных нейронов. Но этот метод ограниченно применим только в интерфейсах медицинского назначения, когда, скажем, необходимо контролировать активность мозга во время операции. Для широкого использования пригодна только неинвазивная ЭЭГ. Впрочем, и в медицине с ее помощью выявляют различные заболевания мозга, такие как болезнь Альцгеймера, эпилепсия, расстройства сна, внимания, а также отклик мозга при нейрохирургических вмешательствах.

Сигналы электрической активности мозга снимают с помощью нескольких электродов, которые размещают на голове. Тут тоже есть свои тонкости. Если использовать влажные электроды, смазанные проводящей пастой, то сопротивление будет ниже и сигнал лучше, но проще работать с сухими электродами. Такая же проблема с количеством: чем электродов больше, тем больше информации, но проще работать с меньшим количеством. А еще есть скальповые подкожные

электроды — тут все ясно из названия.

После того как сигнал снят и очищен от шумов и наводок (скакнуло напряжение в сети, в соседней комнате что-то включили, под окнами проехал трамвай), начинается самое интересное — обработка сигнала. Штука это сложная и многообразная, и в популярной статье можно привести примеры только самой простой и традиционной обработки. Один из вариантов — сигнал разделяют фильтрами на частотные полосы и отслеживают изменения амплитуды колебаний в разных полосах. Этот метод опирается на традиционное разделение сигналов, поставляемых мозгом, на «ритмы» — альфа-ритм, бета-ритм и другие. Можно анализировать так называемые вызванные потенциалы, то есть характерные сигналы, возникающие, когда человеку предъявляется какой-то стимул (вспышка света, незнакомый звук). При этом разные элементы отклика мозга специалисты связывают с разными стадиями обработки стимула (заметил, сопоставил с известными, классифицировал, принял решение, запомнил...)

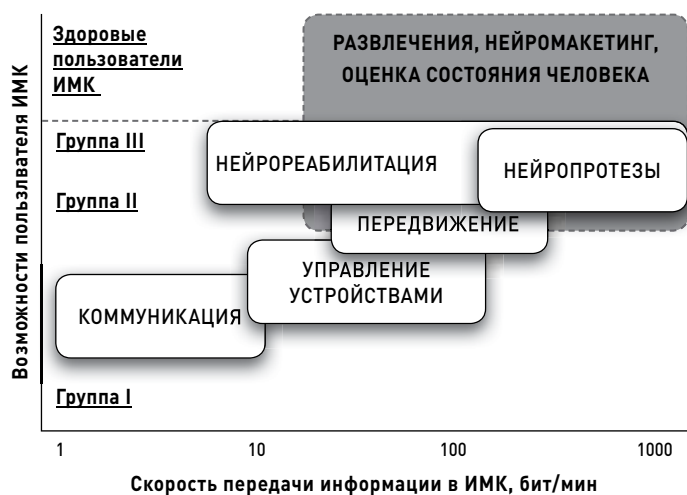
Различные подходы к сигналам ЭЭГ позволяют получать разные скорости передачи информации, но в общем можно сказать, что регистрация сигналов головного мозга в зрительной коре после предъявления изображений позволяет реализовать скорость передачи информации 60–100 бит/мин, анализ сенсомоторных ритмов, синхронизованных с реальной и/или воображаемой двигательной активностью, позволяет достичь скорости передачи информации в пределах 3–35 бит/мин.

Но есть и другие методы

Для регистрации активности мозга пригодны и другие методы. Например, МЭГ, которая позволяет измерять слабые магнитные поля, генерируемые ионными токами в нейронах мозга. Для детекции очень слабых магнитных полей используют сверхпроводниковые квантовые интерферометры, или СКВИД-датчики. Эта технология позволяет фиксировать события с длительностями порядка миллисекунды и не нужны электроды, поэтому ее используют при работе с детьми и младенцами. Технологию реально применяют, но она очень дорогая, нужен высококвалифицированный персонал и специальная экранированная комната, потому что магнитное поле Земли и промышленные помехи превышают полезный сигнал на девять и шесть порядков соответственно.

В последнее время для регистрации активности мозга все чаще используют спектроскопию в ближней инфракрасной области (NIRS). Это небольшой прибор в виде шапочки, которая надевается на голову. Инфракрасное излучение проникает через кости черепа и прилегающие ткани в лобную и затылочную кору мозга и позволяет оценивать степень окисления гемоглобина, то есть потребление мозгом кислорода. Здесь, в отличие от ЭЭГ и МЭГ, фиксируется сигнал оптической природы — поглощение инфракрасного излучения; этот метод, вообще говоря, давно используется химиками, но, конечно, не в голове испытуемого, а в кювете. В нашем случае метод чаще всего используют для регистрации активности в первичной моторной и префронтальной коре. В первом случае снимают сигналы, соответствующие реальным и воображаемым движениям, во втором случае — сигналы, порождаемые мысленным счетом и логическими задачами, музыкальными и визуальными образами.

Задачи, которые пытаются решать посредством интерфейсов, разнообразны, однако есть общие принципы построения интерфейсов. Сигнал снимается с мозга, обрабатывается и управляет внешним устройством. Человек видит результат обработки и может корректировать его, при этом и человек, и программа обработки приспособляются друг к другу.



Области приложений в зависимости от скорости передачи данных и состояния здоровья

Человек учится говорить внятно, а система учится правильно его понимать.

Обычно «язык», на котором человек говорит с интерфейсом, — это воображение движений различных конечностей, что позволяет относительно устойчиво генерировать несколько команд для управления внешним устройством (например — «влево», «вправо», «вверх», «вниз»). Причем формирование команды может быть либо мгновенным, либо более сложным. Например, мы можем контролировать через интерфейс движение инвалидного кресла, основываясь на мгновенном сигнале мозга, либо следить за его состоянием и формировать команду на основе его изменения. Во втором случае система будет действовать несколько медленнее, но надежнее.

Как можно применить

Большинство приложений интерфейсов предназначены для людей с тяжелыми двигательными нарушениями, и можно ожидать, что качество их жизни будет значительно улучшено. Принципиально важным параметром здесь является скорость передачи информации. Пациентов можно условно разделить на три группы. Первая группа — пациенты, которые полностью обездвижены из-за последней стадии бокового амиотрофического склероза или тяжелой формы церебрального паралича. Вторая группа — с остаточной контролируемой двигательной активностью, например, движение или мигание глаз, подергивание губами и тому подобное. Третья группа — с сохранившимся нервно-мышечным контролем, в частности, с нарушениями речи, парезами и т. п.

Пациенты первой группы обычно не могут сознательно управлять интерфейсом. Для третьей группы пациентов использование интерфейсов неэффективно — есть способы, которые могут обеспечить более высокую и стабильную скорость передачи информации. Например, обнаружить движения глаз можно быстрее, проще и точнее, чем модуляции потенциалов головного мозга. С помощью технологии контроля движения глаз (айтрекера) может быть получена скорость набора текста порядка десяти слов в минуту. Естественно, были предложены гибридные системы, например, комбинации нейроинтерфейсов с айтрекерами.

На рисунке вверху показана взаимосвязь между необходимой скоростью передачи информации, возможностями человека и доступными для него приложениями интерфейса.

Для третьей группы представляет интерес не передача информации, а нейрореабилитация — восстановление утра-

ченных моторных или когнитивных функций у постинсультных пациентов и пациентов с повреждениями спинного мозга. Она основана на использовании биологической обратной связи для саморегуляции мозговой активности, которая, в свою очередь, происходит за счет изменения топологии нейронных сетей мозга — то есть мозг начинает использовать другие пути передачи сигнала.

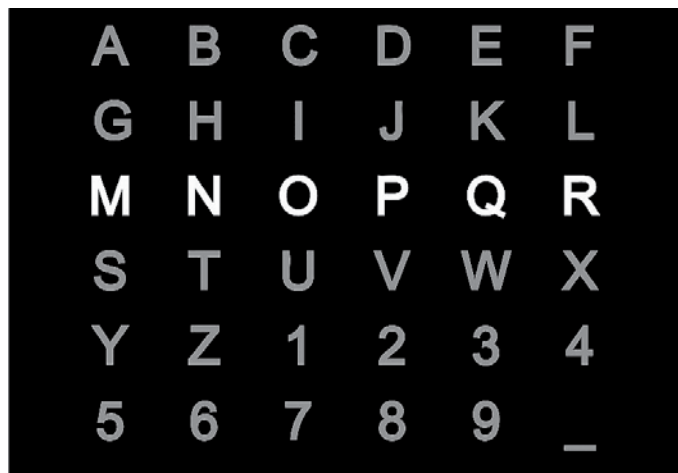
Еще одно, хотя пока менее развитое, применение интерфейсов — это мониторинг когнитивных способностей человека в процессе решения различных задач и даже тренировка его когнитивных способностей. Такие интерфейсы используют в нейромаркетинге и видеоиграх для получения информации об эмоциях, усталости и сосредоточенности пользователей. Сейчас исследователи изучают возможность с помощью таких интерфейсов распознавать проэпилептические состояния и подавлять эпилептические разряды в головном мозге.

Существует большое число различных приложений интерфейсов — текстовых процессоров, адаптированных браузеров, инвалидных колясок, нейропротезов; есть и игровые приложения. Однако большинство предназначено лишь для обучения и демонстрации, потому что на пути к реальному применению есть несколько препятствий, в частности — пока мала скорость передачи информации, много ошибок при ее передаче и во многих случаях требуется установка электродов. Кроме того, высока когнитивная нагрузка на человека: взаимодействовать с интерфейсом ему проще в спокойной лаборатории, нежели на шумной улице города. Поэтому наиболее удачные примеры применений были получены в клинической практике. Наконец, есть одна специфическая проблема — пользователь обычно имеет возможность отключить интерфейс с помощью специфической активности мозга, но часто не может снова включить его. В нейронауке это называется проблемой «Midas touch» — дар золотого прикосновения, которым был наделен жадный царь Мидас: к чему бы они ни прикасался, все превращалось в золото, поэтому использовать руки для повседневных функций было сложно.

А теперь — чуть подробнее о самых важных применениях нейроинтерфейсов.

Наша базовая потребность

Общение — одна из базовых потребностей человека. Человек, лишенный возможности двигать руками и набирать текст на клавиатуре, может воспользоваться специальным приложением. Обычно это виртуальная клавиатура на экране. Пользователь выбирает букву из алфавита с помощью интерфейса, который анализирует его ЭЭГ. Например, в одном из вариантов пользователю надо лишь представить, что он двигает рукой или ногой, чтобы выбрать ту или иную букву.



Весь алфавит делится изначально пополам в зависимости от типа воображаемого движения, потом снова пополам и так до выбора конкретного символа. Скорость написания сообщений в этом случае — от 0,5 до 0,85 символа в минуту.

В другой системе символы отображаются на экране в виде матрицы. Здесь задача пользователя, чей ЭЭГ-ответ анализируется в реальном времени, — сосредоточить внимание и концентрироваться на выбранном символе. Строки и столбцы символов на экране по очереди мигают, что приводит к генерации потенциала при совпадении с ожидаемым символом. Когда на экране мигает нужная строка, ЭЭГ изменяется, когда мигает нужный столбец — изменяется второй раз. Скорость набора — два символа в минуту, метод не требует длительных тренировок.

Важное направление — браузеры, адаптированные к пользователям с тяжелыми формами инвалидности, и социальные сети на базе нейротехнологий. Пример — коммуникационная система «Нейрочат» (neurochat.pro), предназначенная для сетевого общения людей, не имеющих возможности говорить и двигаться. Разработка системы «Нейрочат», у которой нет прямых зарубежных аналогов, выполнена компанией «Нейротренд» под научным руководством доктора биологических наук А.Я. Каплана, заведующего лабораторией нейрофизиологии и нейрокомпьютерных интерфейсов Биологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. Проект «Нейрочат» создавался частной компанией в рамках Национальной технологической инициативы (дорожная карта «Нейронет»).

Ассистивные технологии и передвижение

Люди, которые страдают тяжелыми двигательными нарушениями, проводят основное время дома, поэтому им необходимы приложения, которые дают контроль над бытовыми устройствами, освещением или температурой в помещении. Уже протестированы три варианта подобных интерфейсов. В первом человек мог использовать клавиатуру, мышь или джойстик, во втором — только головные трекеры и микрофоны, если у пациента не повреждены мышцы шеи и он может говорить. В третьем случае, при полной инвалидности, системой можно было управлять с помощью ЭЭГ. В результате пользователь интерфейса мог силой мысли включить в комнате свет, изменить температуру, включить телевизор. Это не только повышает качество жизни самих инвалидов, но и снимает часть нагрузки с опекуна и родственников.

Приложения, позволяющие инвалиду контролировать коляску, на которой он передвигается, не менее важны. Однако сигналы ЭЭГ обычно содержат шум и помехи, поэтому возможны ложные срабатывания, а для коляски это недопустимо. Поэтому в данном случае предпочтительнее использовать инвазивные методы регистрации сигналов ЭЭГ. Эксперименты с обезьянами показали, что, используя сигналы с электродной матрицы, имплантированной в моторную кору, нашим предкам удается переместить компьютерный курсор в заданную точку на экране.

Однако инвазивная регистрация ЭЭГ все-таки неудобна, поэтому создание неинвазивных интерфейсов выглядит заманчиво. Показано, что управлять инвалидными колясками исключительно за счет использования сигналов ЭЭГ можно, принципиальным вопросом является недопустимость ложных срабатываний. Поэтому в некоторых разработках система управления инвалидным креслом может сама оценивать препятствия. В результате оператор коляски может передвигаться в помещении, задавая команды вперед/назад и влево/вправо, а система, в случае ошибки, ориентируясь на «карту помещения», корректирует его ошибки. Сделать подобную систему для передвижения в свободном пространстве более чем сложно, но работы в этом направлении ведутся.

Подобные нейротехнологии сейчас все больше привлекают к управлению беспилотниками.

Нейрореабилитация

Интерфейсы помогают восстанавливаться людям с инсультом и повреждениями спинного мозга. При этом используется биологическая обратная связь, которая вызывает саморегуляцию мозговой активности. Обычные последствия инсульта — дефицит подвижности на одной стороне тела, ненормальный мышечный тонус, неправильная корректировка позы, недостаток координации и чувствительности. В результате инсульта половина пациентов навсегда остаются в инвалидном кресле. Благодаря интерфейсам люди могут не только управлять вспомогательными устройствами (протезами, экзоскелетами), но и восстанавливать двигательные функции за счет активации пластических механизмов и изменения топологии нейронных сетей мозга.

Недостаток ЭЭГ для этих случаев — низкая точность метода, то есть недостаточно точная локализация источников активности в мозге. Поэтому для нейрореабилитации была бы полезна регистрация гемодинамической активности, измеряемая с помощью фМРТ — но это стационарная, сложная и дорогая техника. Возможное решение — использование NIRS, ближней инфракрасной спектроскопии, чтобы позволить пользователю преднамеренно регулировать свои гемодинамические реакции. При этом мозг учится, а именно — тренируется управлять своим кровоснабжением. Это было показано и для здоровых людей, и для постинсультных пациентов. Нейронная обратная связь на основе NIRS может быть использована и для долгосрочного обучения. Например, в последних работах нашей лаборатории было показано, что, используя биологическую обратную связь, можно до определенных пределов продлить степень концентрации внимания человека при решении монотонной задачи. Хотя за все приходится платить: за счет ограниченного когнитивного ресурса мозга при этом сама степень концентрации уменьшалась.

Интерфейс оценивает человека

Задача пассивного интерфейса — работа со здоровыми людьми, а цель — повышения когнитивных способностей во время деятельности, связанной с высокой нагрузкой. С помощью такого интерфейса можно следить за концентрацией внимания, за когнитивным утомлением, вообще за эмоциональным состоянием оператора. Пассивные интерфейсы уже используются для оценки состояния водителей, используются они и в авиации для мониторинга состояния пилотов и диспетчеров. Интересное направление — мониторинг состояния студентов и школьников в процессе обучения.

Пассивные интерфейсы могут быть использованы и более широко — для мониторинга эмоционального состояния человека. Анализируя сигналы ЭЭГ, удается распознать до шести эмоций. Например, предложены системы, позволяющие различать эмоции счастливый/несчастливый, вызванные картинками и музыкой. В медицине такие системы помогут в диагностике депрессии и шизофрении. Возможны и не медицинские применения, для развлечений и игр. Было бы интересно исследовать влияние различных внешних стимулов и внутренних особенностей человека на его эмоциональное состояние. Как это ни странно звучит, но когда-нибудь на этом пути мы сможем определять, как сделать конкретного человека счастливым. То есть система сможет подбирать музыку, книги и игры так, чтобы сделать нас счастливыми.

Нейро, интер и фейс — что сделано?



Фото: BrainCo



С МИРУ ПО НИТКЕ

Количество групп ученых и инженеров, работающих в каком-либо направлении, определяется несколькими связанными между собой факторами. Перспективы для бизнеса, гуманитарные и антигуманные приложения — все это выражается в финансировании, а еще важна личная притягательность для тех, кто пишет программы и конструирует приборы. Надежда заслужить благодарность миллионов, прославиться, оставить след, реализовать вековую мечту... С мотивами в данном случае все хорошо. А как обстоят дела собственно с нейроинтерфейсами?

В 1998 году Филипп Кеннеди впервые внедрил датчики нейроинтерфейса в обследуемого человека — в мозг художника и музыканта Джонни Рея, который в результате тяжелой травмы потерял способность совершать движения. Представляя движения рук, Рей управлял курсором на экране компьютера. В 1999 году группа Яна Дэна из Университета Калифорнии расшифровала сигналы зрительной системы кошки и воспроизвела изображение, воспринимаемые её мозгом. В 2000 году группа Мигеля Николеллиса создала интерфейс, который позволял обезьяне управлять движением роботизированной руки (наверное, тут надо сказать — лапы). А в июне 2004 года первый «человек-киборг» Мэттью Нэйгл получил нейроимплант с нейроинтерфейсом, который позволил ему управлять курсором на экране, просматривать электронную почту, играть в несложные видеоигры, переключать каналы и громкость телевизора, шевелить электромеханической рукой. Инвазивные, то есть внедренные в мозг, датчики позволяют многое, например, в 2018 году американские ученые под руководством Джейми Хендерсона создали специальный инвазивный нейроинтерфейс для управления планшетом. Одна из испытуемых в процессе эксперимента сумела сделать самостоятельную покупку в онлайн-магазине. Но инвазивные датчики — это дорого, пока что — опасно и ненадежно, да и разъем на затылке в 2019 году не стал брендом и трендом (хотя кто знает, что будет в 2024).

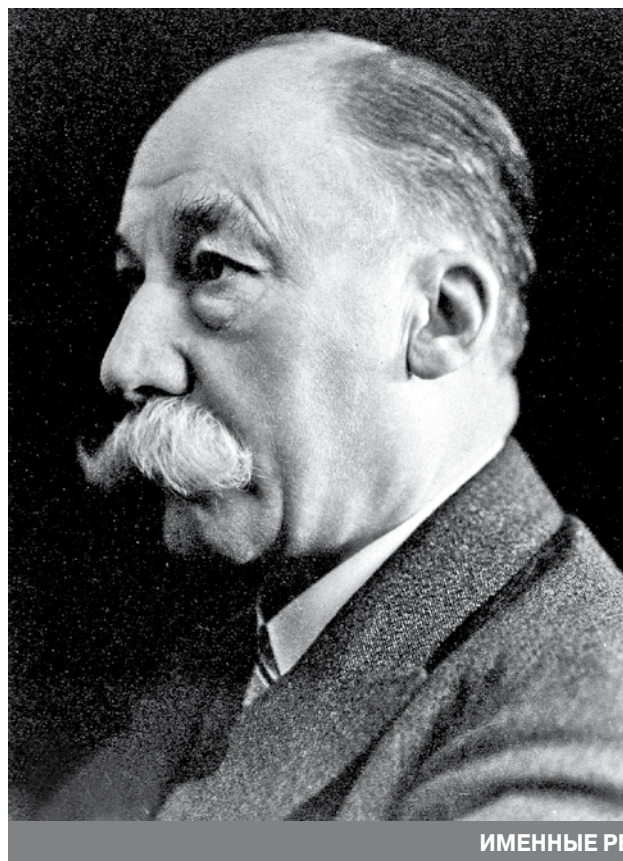
Что же касается неинвазивных приборов, то в начале 2000-х были созданы несколько опытных образцов систем по управлению инвалидной коляской с помощью интерфейса на основе ЭЭГ. Но все они обладали малой точностью распознавания и работали медленно, а это недопустимо — цена запаздывания и ошибки при управлении любым средством передвижения очень велика. Лишь к 2009 году удалось добиться более чем 90% вероятности правильного распознавания команд и приемлемой скорости обработки сигналов. Одну из первых инвалидных колясок с необходимыми параметрами распознавания мысленных команд представили разработчики из компании Тойота (при участии ряда других организаций). Используя обычный ЭЭГ-шлем, они так усовершенствовали алгоритмы обработки сигнала, что система стала способна работать со скоростью до 8 команд в секунду. При этом точность составляла более 95%. Такая скорость представляется для данного применения достаточной, хотя точность — пока что нет. Многие авторы используют некую комбинацию мозгового сигнала и не мозгового, например, чтобы резко затормозить перед препятствием, человеку достаточно надуть щеки — закрепленный на щеке датчик распознает движение и подаст сигнал «стоп». В другом варианте коляска имеет лазерный дальномер, который предотвращает столкновение с преградой. Понятно, что любое подобное устройство увеличивает безопасность, но либо ценой уменьшения универсальности, либо ценой увеличения стоимости. Впрочем, как и всегда.

Отдельная интересная для некоторых читателей нашего журнала тема — применение для преподавания. Например, в 2017 году в КНР закупили ни много ни мало, а 20 тысяч электронных обручей (смотри фото), позволяющих учителям отслеживать внимательность учеников — это была крупнейшая сделка в истории создания нейрокомпьютерных интерфейсов; их разработали в бостонской компании «BrainCo», возглавляемой Хань Биченом. Сигнал ЭЭГ несет информацию о том, много ли внима-

ния школьника направлено на происходящее в классе и не витает ли он в облаках. Эти данные в ходе занятия непрерывно получает педагог. Кроме того, создатели устройства разработали своего рода игру, в которой учащиеся зарабатывают очки, концентрируясь на учебной деятельности. Результаты выводятся на расположенный у доски дисплей в конце урока. Возбуждение интереса посредством игры и соревнования — традиционный прием («коммунистическое соревнование», «стахановское движение»), но давать такую игрушку в руки российским педагогам не стоит. Раздраженные тем, что половина школьников сидит не вылезая из смартфона, а четверть грезит на тему, как обхитрить ЕГЭ, они захотят введения в интерфейс обратной связи. Но не той, о которой шла речь выше, а в виде небольших, но регулируемых учителем импульсов напряжения.

Ведутся подобные работы по мере сил и средств и в России. Например, с 2009 года в рамках проекта NeuroG разрабатываются алгоритмы распознавания зрительных образов человеком. В 2011 году в Политехническом музее Москвы проектом NeuroG была проведена демонстрация распознавания воображаемых образов. Год назад состоялось вручение Премии РБК Петербург 2018. Это награда в области бизнеса, цель которой — популяризация цивилизованного предпринимательства. В номинации «Инноватор» победителем стал Константин Сонькин — основатель компании «АйБрейн» (iBrain). Под его руководством коллектив ученых, врачей, инженеров и программистов разработал и начал практическое применение технологии, помогающей обездвиженным пациентам восстановить утраченные функции мозга. То есть мозг, как и рассказано в статье, тренируется. При этом используется внешний, неинвазивный интерфейс. В Интернете по запросу «нейроинтерфейс» можно увидеть более 200 тысяч страниц, из них около 200 — оригинальных. Если начать их просматривать, то возникает нехорошее впечатление — то десять лет назад обещали, что через пять лет, то пять лет назад обещали, что через два года, а воз и ныне там. Нет, он все-таки не там. Но эта дорога — одна из сложных. Пожелаем удачи тем, кто по ней идет.

Подготовил **Л. Ашкинази**



ИМЕННЫЕ РЕАКЦИИ

Кто открыл реакцию Гриньяра?

Доктор химических наук
Александр Рулёв,
Иркутский институт химии
им. А.Е. Фаворского СО РАН

Однажды судьба стучится в дверь к каждому человеку, но чаще всего в это время он сидит в соседнем кабачке и не слышит её стука.

Марк Твен

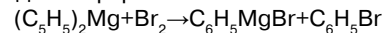
Сегодня, пожалуй, трудно найти химика-синтетика, который никогда не использовал бы в своих исследованиях реактив Гриньяра, ведь магниорганический синтез уже давно вошел в лабораторный практикум студентов химических факультетов университетов. Появившись на стыке девятнадцатого и двадцатого веков, этот реактив сделал головокружительную карьеру – стал одним из самых популярных реагентов в тонком органическом синтезе и в промышленности, прежде всего в фармацевтике и парфюмерии. Он лишил органические производные цинка доминирующего положения, которое те занимали благодаря работам основоположника металлоорганической химии Эдварда Франкланда, и, без преувеличения, открыл новую эру в истории химии.

Магический магний

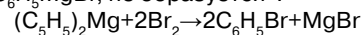
Во второй половине XIX века магний использовали главным образом в пиротехнике и фотографии. О его органических соединениях научный мир впервые услышал в начале 60-х годов. Химики Гёттингенского университета Вильгельм Гальвакс (не путать с его соотечественником физиком В. Гальваксом) и Адальберт Шафарик (Wilhelm Hallwachs и Adalbert Schafarich), а также их парижский коллега Огюст Каур (Auguste Cahours) выяснили, что при взаимодействии метил- и этилиодидов с магнием получаются легко воспламеняющиеся жидкости, которые активно разлагаются водой, образуя соответствующие алканы. Однако живого интереса в научном сообществе эти результаты не вызвали, да и магний тогда стоил дорого, так что о его органических производных забыли на долгие три десятилетия. Лишь в начале девяностых в лаборатории знаменитого Лотара Мейера три его ученика – Филипп Лёр (Philipp Löhr), Герман Флек (Hermann Fleck) и Фриц Вага (Fritz Waga) – приступили к исследованиям в области химии органических соединений магния.

В 1891 году Лёр, нагревая в запаянной ампуле магниевые опилки с алкилиодидами, получил диметил-, диэтил- и дипропилмагний. По физическим и химическим свойствам эти производные

магния заметно отличались от цинк- и ртутьсодержащих аналогов. Два года спустя Флек синтезировал дифенилмагний, выдерживая смесь дифенилртути и порошка магния в вакуумированном сосуде при 200–210°C в течение шести часов. Выходы были низкие, а сам дифенилмагний с трудом удалось очистить от продуктов полимеризации. Годом позже Вага улучшил способ получения дифенилмагния, ввел его в реакцию с хлорангидридами уксусной и бензойной кислот и получил соответствующие кетоны. Флек тоже изучил некоторые свойства дифенилмагния. Оказалось, что это соединение неустойчиво и самовоспламеняется на воздухе, оно легко превращается в бензол, фенол или бромбензол при взаимодействии с водой, кислородом или бромом соответственно. Этот молодой химик первым держал в руках неизвестный в то время фенилмагнийбромид, но по иронии судьбы не распознал его. Он справедливо полагал, что оно должно получаться при медленном прибавлении брома к суспензии дифенилмагния в безводном эфире:



Однако, выделив лишь бромбензол и бромид магния, Флек заключил, что реакция протекает иначе и «устойчивое соединение, соответствующее формуле C_6H_5MgBr , не образуется».



Эти результаты Флек привел в диссер-

Вверху: Филипп Барбе и Виктор Гриньяр

тации, которую защитил в 1892 году. Значительно позже Генри Гилман и Роберт Браун («J. Amer. Chem. Soc.», 1930, 52, 1181–1185) показали, что если бы Флек взял эквимольные количества брома и дифенилмагния, то, возможно, стал бы первооткрывателем нового реактива!

Казалось бы, трудности получения магнийорганических соединений и их свойства (высокая воспламеняемость на воздухе, низкая растворимость в инертных растворителях) должны были ограничить их использование в органическом синтезе. Однако, напротив, все эти работы послужили прелюдией интереснейшей химии органических соединений магния, у истоков которой стоят французские химики Филипп Барбье (Philippe Barbier) и Виктор Гриньяр (Victor Grignard).

Рождение реактива

В 1897 году профессору кафедры общей химии Лионского университета Филиппу Барбье, занимавшемуся терпенами, понадобился 2,6-диметилгептен-5-ол-2. Французский химик решил получить его из имевшегося в лаборатории кетона – 6-метилгептен-5-она-2. «В этом эксперименте я использовал общий метод, предложенный Зайцевым, который подверг существенной модификации, позволившей мне проверить особый случай, меня занимавший, – признавался он в статье, опубликованной в «Докладах Французской академии наук» в 1899 году. – Эта модификация состояла в замене цинка магнием» («Comptes Rendus de l'Académie des Sciences», 1899, 128, 110–111).

Ссылка на работы Зайцева не случайна: именно Александр Михайлович за четверть века до реакции Барбье описал метод синтеза третичных спиртов из кетонов и цинкорганических соединений. Не стоит забывать, что во второй половине XIX века казанская школа химиков добилась впечатляющих успехов в области металлоорганической химии. Так, на основе органических производных цинка Егор Егорович Вагнер разработал метод синтеза вторичных спиртов, а Сергей Николаевич Реформатский – третичных.

Вернемся, однако, к работе Барбье. Предложенный им одностадийный синтез спиртов из алкилгалогенида, магния и карбонильного производного выглядел весьма привлекательно. Сначала в колбу помещали магниевые опилки, к которым приливали эфирный раствор кетона, а затем постепенно прибавляли раствор иодистого метила. После введения примерно третьей части раствора алкилгалогенида начиналась сильная экзотермическая реакция, которую приходилось контролировать охлаждением. Осторожным гидролизом разбавленной серной кислотой со льдом Барбье получил требуемый спирт. По его мнению, реакция протекала по следующей схеме:

«Этот синтез окончательно подтвердил мои первые результаты. Добавлю в заключение, что замена цинка на магний в реакции Зайцева является новой, она позволила мне осуществить определенное количество синтезов, и я оставляю за собой право вернуться к ним через некоторое время», – резюмировал Барбье, недвусмысленно давая понять, что планирует продолжить исследования в этой новой области органической химии.

Нужно заметить, что такого типа заключения были характерны для публикации конца XIX – начала XX веков. Достаточно вспомнить, например, историю открытия свободных радикалов, автором которого считается американский химик-органик Мозес Гомберг. Завершая статью, вышедшую в 1901 году в «Journal of American Chemical Society», он, посвятив мировое химическое сообщество в свои планы, обратился к коллегам с просьбой: «Я намерен распространить полученные результаты на другие кислородные соединения, а также на производные азота, и прошу оставить за мной эту область исследований для дальнейшей работы». К сожалению (или к счастью?!), никто не прислушался к призыву Гомберга, и его открытие стало отправной точкой исследований многих химиков мира.

Ну а что же Барбье, вернулся ли он к изучению органических соединений магния? Будучи увлеченным природными эфирными маслами и получив желаемый результат, он, казалось бы, быстро утратил интерес к открытой им реакции: результаты анонсированных им синтезов так и не были никогда опубликованы. Тем не менее год спустя появилась новая статья о получении и свойствах магнийорганических соединений. Единственным ее автором был ученик Барбье, малоизвестный двадцатидевятилетний Виктор Гриньяр.

Первоначально тема диссертации Гриньяра была близка к исследованиям его руководителя и посвящена химии соединений, содержащих двойные и тройные связи. Однако работа шла трудно, и Барбье предложил молодому химику отказаться от изучения енинов и переключиться на только что открытую им реакцию: показать ее общность, а также оценить преимущества использования магния вместо цинка.

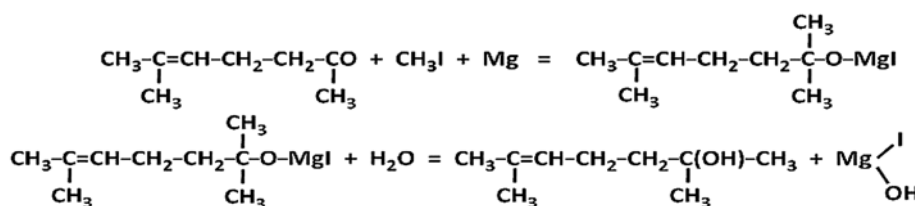
Гриньяр немедленно принял за работу. К сожалению, он не мог много времени посвящать своим исследованиям, поскольку должен был не только готовить

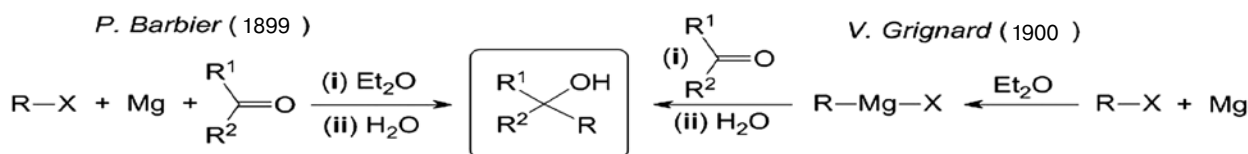
практические занятия для студентов, но и помогать Барбье в его исследованиях. Поэтому ему часто приходилось задерживаться допоздна, проводить в лаборатории выходные и праздники.

По воспоминаниям современников, Гриньяр отличался вдумчивым отношением к работе, он не был человеком, готовым полагаться на случай. Возможно, именно эта черта характера молодого ученого позволила ему не упустить важное наблюдение предшественников, и прежде всего Франкланда, показавших необходимость использования безводного эфира для синтеза цинкорганических соединений. Свои эксперименты Гриньяр решил также проводить в присутствии безводного эфира.

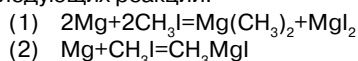
Вскоре на заседании Французской академии наук Анри Муассан представил первые результаты, полученные начинающим ученым и изложенные им в кратком сообщении «О некоторых новых органических соединениях магния и их применении в синтезе спиртов и углеводородов» («C. R. Acad. Sci.», 1900, 130, 1322–1324). В нем Гриньяр описал усовершенствованную им методику своего руководителя, предложив проводить реакцию с карбонильными соединениями в две стадии. По его мнению, сначала следовало получить магнийорганическое производное, которому он приписал формулу RMgBr или RMgI и которое сегодня широко известно как «реактив Гриньяра», и лишь только потом вводить его в реакцию с избранным субстратом.

На первый взгляд, изменения незначительные. Но предложенный им способ синтеза позволил повысить воспроизводимость результатов и выходы целевых продуктов – вторичных и третичных спиртов. «Огромным преимуществом полученного соединения является то, что его можно не выделять. В самом деле, если в эфирный раствор, содержащий ровно один атом растворенного магния на молекулу иодистого метила, добавить одну молекулу альдегида или кетона, происходит энергичная реакция, приводящая к продукту, разлагая который подкисленной водой, можно выделить соответствующий вторичный или третичный спирт с выходом около 70%», – разъяснял Гриньяр тонкости своего метода. И продолжал: «По причинам, о которых я скажу позже, я думаю, что могу приписать металлоорганическим соединениям, которые я получил,





формулу R-Mg-I или R-Mg-Br, где R жирный или ароматический остаток» Работоспособность молодого химика поражала. В начале 1901 года одна за другой вышли еще две его статьи. В первой он расширил круг субстратов, успешно вводя в реакцию эфиры одноосновных жирных кислот. Полученные результаты привели его к заключению, что «использование смешанных магнийорганических соединений позволит не только упростить и сделать более универсальными большинство методов синтеза, для которых до сих пор использовались только цинкорганические соединения, но и осуществить новые, предсказанные теоретически, но практически нереализуемые с помощью цинка. В этих двух направлениях я и буду продолжать свои исследования» («C. R. Acad. Sci.», 1901, 132, 336–338). Во втором сообщении Гриньяр, как и анонсировал ранее, привел доказательства строения магнийорганических производных. В качестве модели он использовал метилмагнийидрид MeMgI. Рассуждения молодого ученого настолько обоснованны, последовательны и логичны, что лучше предоставить слово ему самому: «Реакция проходит очень точно между одним атомом магния и одной молекулой иодистого метила; [в результате] получается прозрачный слегка сероватый эфирный раствор без заметного осадка. Этот факт можно объяснить одной из двух следующих реакций:



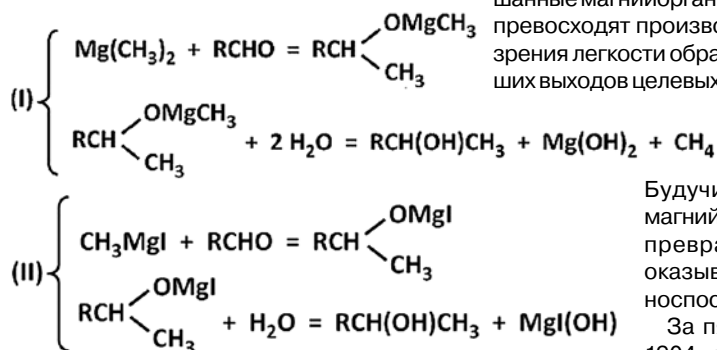
Какую из этих двух формул следует принять? Чтобы ответить на этот вопрос, я попытался прежде всего выделить образовавшееся соединение. После отгонки эфира оставалась серая, плохо кристаллизующаяся масса, чрезвычайно гигроскопичная, из которой я до сих пор не смог извлечь никакого определенного продукта.

Реакция с водой также не помогла решить проблему: она дала чистый метан [...], что одинаково хорошо объясняется одной и другой формулой».

Не получив прямых доказательств в пользу ни одной гипотезы, Гриньяр обратился к косвенным наблюдениям, которые и помогли ему сделать выбор между формулами (1) и (2). «Если бы образовался $Mg(CH_3)_2$, – рассуждал он далее, – то он должен был бы воспламениться на воздухе после удаления эфира; к тому же при его получении должен был бы образоваться осадок иодида магния, поскольку эта соль очень плохо растворима в эфире. Мы

уже видели, что ни того ни другого не происходило».

Вторым наблюдением, которое помогло Гриньяру выбрать верную формулу, стало изучение реакций полученного им органического производного магния с альдегидами и кетонами. В соответствии с высказанной гипотезой, следовало ожидать два возможных варианта реакции:



«В первом случае полученное соединение не содержит галогена и выделяет метан при взаимодействии с водой. Напротив, во втором случае образовавшийся продукт содержит весь галоген, введенный в реакцию, и не высвобождает никакого газа при действии на него водой.

Во всех случаях, которые я реализовал как с альдегидами, так и с кетонами, я никогда не отмечал выделения газа при разложении водой. Более того, мне удалось выделить продукт реакции метилмагнийидрида с ацетоном, который оказался кристаллическим, анализ которого привел меня к формуле $C_4H_9OMgI + (C_2H_5)_2O$, согласующейся со второй гипотезой» («C. R. Acad. Sci.», 1901, 132, 558–561).

В июле того же года Гриньяр защитил диссертацию, вызвавшую огромный интерес химиков всего мира. С этого момента в лексиконе химиков появился новый термин: «реактив Гриньяра».

Если бы Виктор Гриньяр заглянул в современную химическую лабораторию, то был бы удивлен существующим арсеналом методов и приемов, которые позволяют химикам «разглядеть» молекулу. Его сомнения о строении полученного магнийорганического соединения исчезли бы в одночасье! Нам же остается только восхищаться логикой и аргументацией рассуждений молодого ученого, открытие которого мы интенсивно используем сегодня.

... и медные трубы

После того как Гриньяр опубликовал свои первые результаты, в мире разразилась магнийорганическая лихорадка. Число

статей, посвященных использованию реактива Гриньяра, росло лавинообразно. Уже к концу 1914 года было опубликовано около 900 статей, описывающих результаты исследований с участием его реактива, а к 1926 году их число удвоилось. Желая сохранить лидерство в этой области химии, Гриньяр работал много и увлеченно. Он пришел к выводу, что смешанные магнийорганические соединения превосходят производные цинка с точки зрения легкости обращения с ними и лучших выходов целевых продуктов реакции.

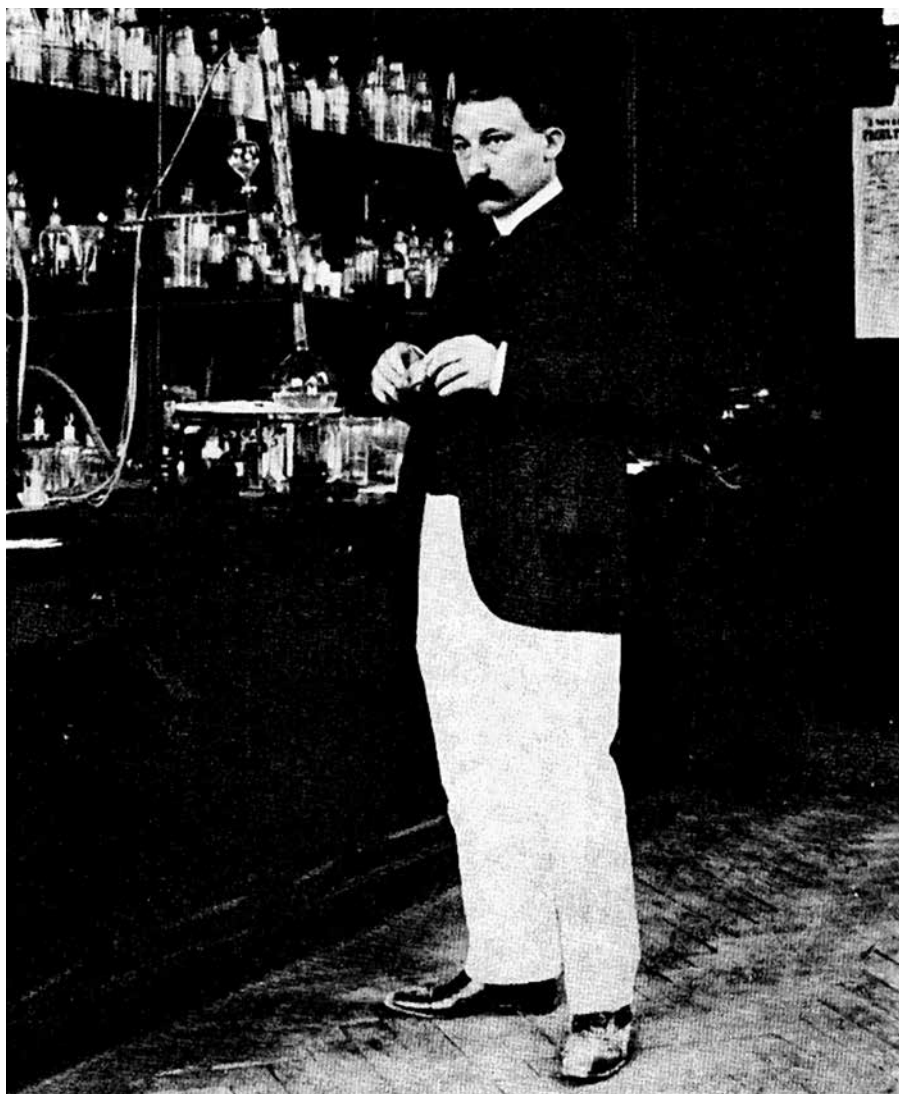
Будучи более активным, магний участвует во многих превращениях, где цинк оказывается неспособным.

За пять лет – с 1900 по 1904 год – он опубликовал

14 статей, разработал методику использования своего реактива в органической химии для получения третичных спиртов из эфиров и кетонов, карбоновых кислот из диоксида углерода, первым показал возможность нуклеофильного 1,4-присоединения реактива к сопряженным системам. Он синтезировал множество соединений, нашедших применение в фармацевтике и парфюмерии.

Значение фундаментального открытия для органической химии было высоко оценено во Франции. Виктор Гриньяр был удостоен самых престижных наград Академии наук: он дважды (в 1901 и 1902 году) получил премию Каура, в 1902-м ему была вручена медаль Берто, а десять лет спустя медаль Лавуазье. В 1912 году Виктор Гриньяр был удостоен Нобелевской премии по химии «за открытие реактива, способствовавшего развитию органической химии». На тот момент он был самым молодым лауреатом этой престижной награды.

Возможно, именно тогда Филипп Барбье понял, насколько опрометчиво поступил, не проявив должного интереса к реакции, которую описал десять лет назад. В январе 1910 года во французском бюллетене появилась его записка «Истоки введения магния в органический синтез» («Bull. Soc. Chim. France», 4e ser., 1910, 7, 206–208). В ней он сетовал на появившуюся в периодической печати и в энциклопедических изданиях неверную тенденцию, «приписывающую исключительно г-ну Гриньяру открытие использования магния в органическом синтезе». Приведя почти полностью текст статьи 1899 года, Барбье впервые



В. Гриньяр в лаборатории

перечислил соединения, полученные им по этой методике, о которых он упоминал в том сообщении, и добавил: «Правда, я ничего не опубликовал об этих соединениях, поскольку как раз в то время посоветовал г-ну Гриньяру изучить, насколько общей является эта реакция, и оценить преимущества замены цинка на магний. Эта работа стала предметом замечательной диссертации, которую он защитил в июле 1901 года на факультете наук в Лионе».

Признавая мастерство Гриньяра как экспериментатора, Барбье полагал справедливым, что изученный им реактив носит его имя. Что же касается реакции, то, по его мнению, он вправе считать себя соавтором ее открытия. «Некоторые ученые не забывают упомянуть мое имя, когда говорят об этой реакции, – подчеркивал Барбье, – и, даже используя методику г-на Гриньяра, цитируют только меня одного. Такой способ [...] тоже не отражает истину [...]: введение магния в органический синтез оказалось достаточно плодотворным, чтобы каждый из нас имел право отста-

ивать ту часть, которая ему принадлежит, и мне кажется, что по справедливости теперь было бы уместно связать два наших имени в названии этой реакции».

Вскоре Виктор Гриньяр отреагировал на заметку Барбье, опубликовав в апреле в том же журнале сообщение «Об использовании магния в органической химии» («Bull. Soc. Chim. France», 4e ser., 1910, 7, 453–454). «Любой неосведомленный читатель будет испытывать искушение рассматривать эту заметку как выпад, направленный против меня, и предполагать, что я, по крайней мере, с большим удовольствием позволяю умолчать роль моего высокоцитируемого Учителя в этом деле, – писал он. – Наверное, сейчас было бы трудно просить химиков переименовать реакцию, названную так вот уже почти 10 лет назад, но было бы справедливо выделить, как это сделано в случае цинка, несколько методов использования магния в органическом синтезе. [...] Первый, схожий с методом Зайцева, предполагает одновременное смешивание двух соединений в присутствии магния; это метод г-на Барбье. Второй метод обязан первому идеей использования магния,

но по способу осуществления он сродни исследованиям Франкланда, Ванклина и Вагнера. Именно он лежит в основе открытия смешанных магнийорганических соединений и их применения. Только поэтому я готов принять оказанную мне химиками честь присвоить ей мое имя».

Историки науки упоминают еще один документ, имеющий отношение к открытой реакции. Это рукописное письмо Виктора Гриньяра своему другу Луи Мённье (Louis Meunier), написанное 13 ноября 1912 года (на следующий день после объявления о присуждении премии): «... по правде, между нами говоря, я предпочел бы подождать немного дольше, увидеть премию, разделенную между Сабатье и Сандераном, а затем разделить ее вместе с Барбье. Но что я могу сделать против такого вердикта, кроме как поздравить себя с этим! Было бы любезно с твоей стороны дать мне как можно больше информации о здоровье и о душевном состоянии г-на Барбье. Интересно, как он это воспримет. Но если он чувствует себя разочарованным, я не думаю, что он может винить в этом меня».

На самом деле Филипп Барбье не только заменил цинк на магний, но и провел реакцию в безводном эфире, хотя и не стал акцентировать внимание на этой отличительной особенности своего эксперимента. Он первым прибавил к магниевым опилкам эфирный раствор кетона, а затем медленно вводил в реакцию иодистый метил. Наконец, именно он впервые привел схему реакции, предусматривающую образование продукта присоединения к карбонильной группе. Большинство историков науки сходятся во мнении, что смешанные алкил- и арилмагнийгалогениды, впервые полученные и изученные Виктором Гриньяром, должны носить его имя. А их реакция с различными карбонильными производными с самого начала должна была называться реакцией Барбье – Гриньяра.

Впрочем, споры о научном приоритете всегда затрагивают чисто человеческие отношения. И порой ох как непросто выяснить, кто первым высказал ту или иную гипотезу, открыл новую реакцию или предложил оригинальную идею. Ведь они, как известно, часто просто витают в воздухе. Но согласимся с тем, что для настоящего ученого намного важнее востребованность результатов его исследований. В этом отношении и Филипп Барбье, и Виктор Гриньяр – оба были первооткрывателями реакции, которая стала поворотной вехой в истории химической науки и которая, несмотря на почтенный возраст, до сих пор привлекает внимание химиков всего мира.



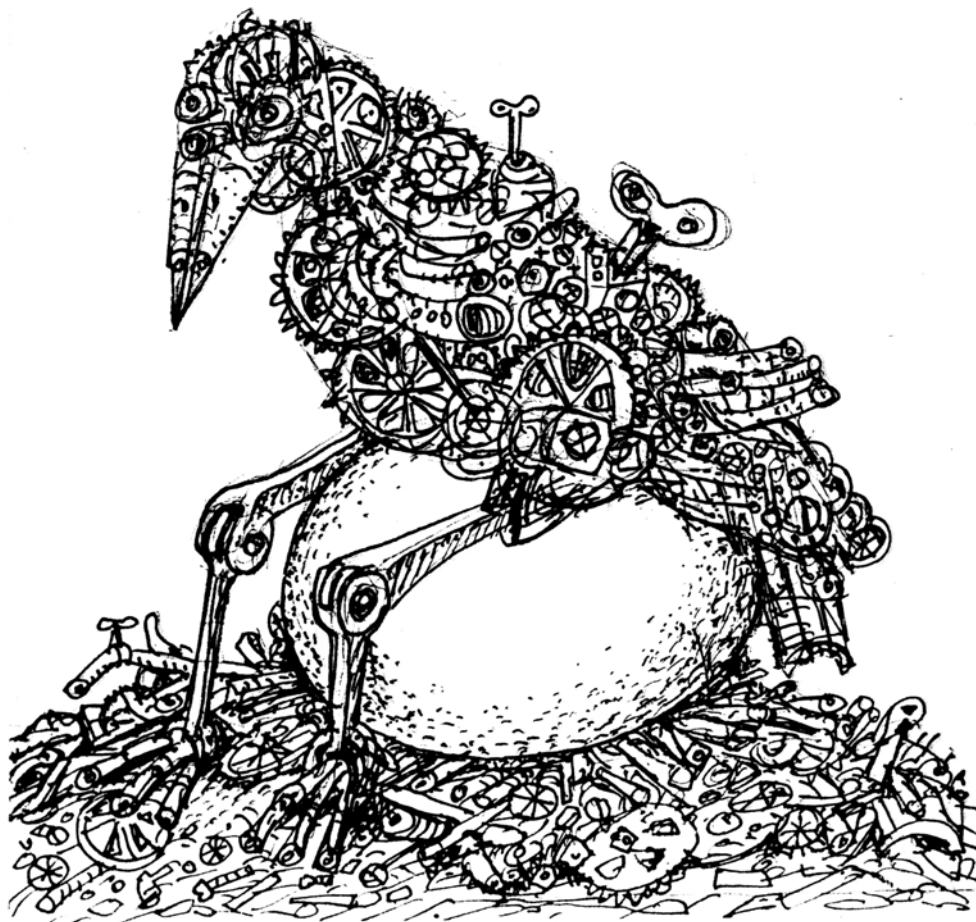


**Если вы
скачали этот
номер
журнала
Химия и
жизнь
с бесплатного
сайта,
то**

**внести посильный взнос на оплату труда
журналистов, редакторов, художников
и корректоров вы можете, оплатив один
номер или целую подписку
в нашем киоске по адресу:**

http://www.hij.ru/buy_subscribe/

**Если вам
надоело
скачивать
случайные
номера
журнала
Химия и
жизнь
с бесплатного
сайта,
то**



**с любого номера вы можете подписаться
на бумажную или электронную версию
журнала по адресу**

http://www.hij.ru/buy_subscribe/



«Уничтожим всех уродов»*

Доктор химических наук
Г.В. Эрлих

Что больше всего мешает работе ученых, научному творчеству? Еще недавно, лет десять — пятнадцать назад, все дружно жаловались на недостаток финансирования, но сегодня, как показал блиц-опрос в кругу наших знакомых, в основном достает обилие разного рода отчетов, бессмысленных и бесполезных, на составление которых уходит прорва времени. Складывается впечатление, что все эти

*Ничего личного, это просто название евгенической антиутопии французского писателя Бориса Виана, которое по неизъяснимой причине пришло автору на ум.



Художник С. Тонин



ни предсказать, ни предотвратить. В этих форс-мажорных обстоятельствах остается только расслабиться, писать отчеты и — шутить, например, награждать особо отличившихся чиновников шутовскими премиями. В 2012 году Игнобелевская премия по литературе была присуждена Счетной палате правительства США (US Government General Accountability Office) за доклад «Действия, необходимые для оценки последствий усилий по оценке затрат на доклады и исследования» (GAO-12—480R от 10.05.2012). Этот 32-страничный доклад, выложенный в открытом доступе на сайте этой достопочтенной организации, представляет собой образец американского канцелярита и поэтому может быть рекомендован всем желающим усовершенствовать свой американский английский.

На самом деле доклад лишь размещен на сайте Счетной палаты, а составлен он членами Комитета Сената США по вооруженным силам и аналогичного комитета Палаты представителей США. Законодатели озаботились высокой стоимостью аналитических исследований и отчетов, которые военное ведомство плодит с завидной регулярностью. Расследование показало, что в двух третях отчетов невозможно докопаться, на что были потрачены средства. Оргвывод: необходимо укреплять финансовую дисциплину, проверять сметы расходов и отчеты о реально произведенных расходах, а по результатам проверок составлять соответствующие отчеты, которые подлежат проверке компетентными органами. Доклад послужил еще одним подтверждением Великого закона бюрократии: любые усилия по сокращению расходов приводят к увеличению расходов. Или в других формулировках: любые усилия по сокращению документооборота приводят к росту документооборота; любые усилия по сокращению числа чиновников приводят к росту числа чиновников и так далее.

Истребование бесчисленного числа отчетов — порождение ума чиновников низшего и среднего звена, соответственно, и вред от них средненький. Куда больший урон наносят законодатели, которые принимают множество самых разных идиотских законов. Прозвище Взбесившийся Принтер, которым наградили Государственную думу отечественные остроловы, может быть с полным основанием распространено на все парламенты мира.

Возьмем, к примеру, законодательное собрание штата Техас, США. С подачи сенатора Боба Глазгоу, оно приняло закон, запрещающий без специальной лицензии продавать и приобретать лабораторное химическое оборудование, всякие колбы, пробирки, мензурки, воронки и так далее. Обоснование: все это может быть использовано для производства наркотиков. О том, что все это используют для получения бесчисленного множества других веществ, в том числе для обучения химии в школах, законодатели, скорее всего, не знали по причине их преимущественно юридического образования. Зато они прекрасно разбираются в карательных мерах: за продажу и приобретение химической посуды без лицензии — тюремный срок до одного года и штраф

отчеты нужны лишь как оправдание существования запрашивающих их чиновников, размножающихся как тараканы.

Упомянутый блиц-опрос выявил также всеобщее убеждение, что повальная бюрократизация — это каинова печать современной российской власти. А вот с этим мы не можем согласиться, спрут бюрократии охватил весь мир, более того, западный бюрократ даст нашему доморощенному головотяпу сто очков вперед.

Ученые всех стран, даже объединившись, ничего не могут с этим поделать. Ученые — люди зависимые, в первую очередь от бюджетного финансирования, бюрократия для них — это непреодолимая сила, действия которой нельзя



до четырех тысяч долларов. За выдачу лицензий отвечает Департамент общественной безопасности штата Техас. За защиту общества от колб и пробирок сенатор Боб Глазгоу был удостоен Игнобелевской премии по химии за 1994 год.

Смех, поднявшийся во всем мире в связи с этим награждением, не остудил горячие головы последователей Глазгоу. Нашлись они и в России, где в 1998 году был принят закон «О наркотических средствах и психотропных веществах» (№ 3-ФЗ от 8.01.1998), подкрепленный Постановлением Правительства РФ «Об утверждении перечня наркотических средств, психотропных веществ и их прекурсоров, подлежащих контролю в Российской Федерации» (№ 681 от 30.06.1998). При составлении перечня прекурсоров (исходных веществ) для получения наркотиков законодатели, судя по всему, ориентировались на методики их синтеза, доступные любому желающему в Интернете, и по незнанию химии просто скопировали все упомянутые там вещества. В их число попали, например, серная и соляная кислоты.

Это породило огромные сложности у организаций, использующих эти простейшие и одни из самых распространенных химических реактивов, включая школы. Мало того что их стало невозможно купить без специальной лицензии, так еще необходимо вести журнал учета этих веществ, сродни тому, что использовали в советское время для этилового спирта. А что же целевая группа синтетиков наркотиков? Они могли по-прежнему свободно покупать ту же серную кислоту в виде электролита для кислотных (свинцовых) аккумуляторов в любом автомагазине (мы вам этого не говорили!). Почему-то инициатива российских законодателей прошла мимо внимания Игнобелевского комитета, а так как это произошло не в первый раз, мы усматриваем в этом факт дискриминации по национальному признаку.

Больше всего чиновники ополчаются на образование, вероятно, потому, что это самая незащищенная сфера человеческой деятельности. Наибольший ущерб наносит их вмешательство в содержание школьных программ. Так, например, Советы по образованию штатов Канзас и Колорадо выступили плечом к плечу против преподавания в подведомственных им школах теории эволюции Дарвина. За это они немедленно были увенчаны Игнобелевской премией в области образования за 1999 год.

Американских чиновников можно понять. Негоже, что в демократическом обществе решение об адекватной картине мира принимает небольшая сектантская группа ученых, этот вопрос необходимо выносить на суд широкой общественности и решать путем голосования, демократическим большинством. Дальше — больше. Школьник имеет право сам определять, изучать ему теорию эволюции или не изучать, если она не соответствует картине мира, сложившейся в его голове под влиянием родителей и Интернета. «Я Дарвина не читал, но осуждаю». Это право на невежество попыталась отстоять 16-летняя школьница из Санкт-Петербурга Мария Шрайбер, подавшая в 2006 году иск в суд с требованием запретить в школах преподавание теории эволюции и ввести в учебные

программы иные концепции происхождения человека. Суд иск отклонил, хотя для принятия решения судье пришлось скрупулезно изучить заверенный перевод автобиографии Дарвина, чтобы лично убедиться, что Дарвин при создании своей теории руководствовался научными соображениями, а не идеологическими или, упаси Боже, антирелигиозными установками. Повезло с судьей, а если бы не повезло?

Помимо награждения чиновников шутовскими премиями, ученые занимаются и более привычным для них делом — изучением феномена бюрократии с научной точки зрения. В последние годы большую популярность среди математиков приобрела «Задача ленивого бюрократа» — составление оптимального режима работы бюрократа, который, с одной стороны, стремится работать как можно меньше, а с другой — должен постоянно демонстрировать свою занятость, действуя по принципу «что бы ни делать, лишь бы ничего не делать». Одно из самых основательных исследований в этой области («Information and Computation», 2003, 184, 129–146) выполнено Эстер Аркин, Майклом Бендером, Джозефом Митчеллом и Стивенном Скинабом из Университета Нью-Йорка. Их работа не прошла мимо внимания Игнобелевского комитета, но премию им все же не дали, потому что, несмотря на 19 сформулированных и доказанных лемм и теорем, им так и не удалось найти строгое решение поставленной задачи, которую любой бюрократ легко решает на интуитивном уровне.

Больше повезло Джану Витторио Капраре и Клаудио Барбаранелли из Римского университета Ла Сапиенца и Филипу Зимбардо из Стэнфордского университета. Их работа «Уникально простые личности политиков», опубликованная ни много ни мало в «Nature» (1997, 385, 493), одном из самых авторитетных научных журналов в мире, была отмечена Игнобелевской премией по психологии за 2003 год.

В чем суть работы? Согласно воззрениям современной психологии, личность любого человека мы оцениваем по пяти параметрам: дружелюбие, честность, эмоциональная устойчивость, интеллект и энергичность. Но ниоткуда не следует, что, принимая решение голосовать или не голосовать за того иного политика, люди руководствуются теми же критериями. Ученые опросили более двух тысяч жителей Италии, предлагая им оценить политиков Сильвио Берлускони и Романо Проди, актера и композитора Пиппо Баудо, горнолыжника Альберто Томба и себя любимого.

Оказалось, что актера, спортсмена и себя люди оценивают по полифонической шкале, которая может быть сведена к вышеозначенным пяти параметрам. Тогда как политиков, как бы наперед отказывая им в интеллекте, дружелюбии и других приятных в общении чертах, они оценивают в плоской системе координат с осями «энергичность» и «степень вызываемого доверия». Аналогичные результаты были получены и в США, где для тестирования использовали личности Билла Клинтона и Боба Доула, соперника Клинтона на президентских выборах 1996 года. Они в глазах избирателей тоже оказались двумерными, хотя наверняка считали себя очень сложными, многогранными личностями, а избирателей, наоборот, одноклеточными.

Мы поражаемся наивности западного избирателя. Далась им эта энергичность! Мы-то на своей шкуре знаем, что энергичный бюрократ куда страшнее ленивого бюрократа, который сам живет и другим жить дает. То же и о доверии. Политикам и бюрократам никому верить нельзя, ни на грош. Верить можно только ученым. Потому что сами ученые ничего не принимают на веру и следуют путем эксперимента и строгой логики, а свои идеи проверяют сначала на мышках, а уж потом на нас, людях.





Однако это выражение было известно в России и раньше. Двадцать шестого февраля 1917 г. председатель Государственной думы М.В. Родзянко телеграфировал Николаю II:

«Положение серьезное. В столице анархия. Правительство парализовано. Транспорт, продовольствие и топливо пришли в полное расстройство. Растет общественная стрельба. Части войск стреляют друг в друга. Необходимо немедленно поручить лицу, пользующемуся доверием страны, составить новое правительство. Медлить нельзя. Всякое промедление смерти подобно. Молю Бога, чтобы в этот час ответственность не пала на венценосца».

Семью годами ранее тот же оборот приводился в Государственной Думе как слова «великого русского патриота Петра Великого».

Действительно, в 16 томе «Истории России» С.М. Соловьева мы находим изречение «Пропущение времени смерти невозвратной подобно». Здесь оно приведено как цитата из письма Петра Сенату от 8 апреля 1711 г., перед Прутским походом. Соловьев заимствовал эти сведения из «Деяний Петра Великого» И.И. Голикова (1788, ч. 3), где цитата приведена чуть иначе: «Пропущение времени подобно смерти невозвратно».

Однако в академическом издании «Письма и бумаги Петра Великого» нет письма, на которое ссылался Голиков, а за ним Соловьев. Можно предположить, что Голиков вольно передал слова Петра из указа фельдмаршалу Б.П. Шереметеву 13 апреля 1711 г.: «Сие все исполнить, не опуская времени, ибо ежели умедлим, то все потеряем».

Слова «смерть» в этом письме нет, однако оно встречается в сходном контексте в более раннем письме Петра. В конце 1700 г., после поражения под Нарвой, Петр приказал срочно отливать новые пушки, переплавляя для этой цели даже часть церковных колоколов. Восьмого апреля 1701 г. он писал начальнику Пушкарского приказа Андрею Винуусу: «Как возможно, для Бога, поспешайте артиллериею», а 16 апреля: «...то зело доброе дело и надобно, ибо время яко смерть».

Наиболее вероятным источником приписанного Петру высказывания было латинское изречение «Periculum in mora» — «Промедление опасно» (букв. «Опасность в промедлении»). Кстати сказать, Ленин цитировал это изречение в письме к Е.А. Преображенскому от 28 октября 1921 г.

Взято оно из рассказа Тита Ливия о стычке римлян с осевшим в Малой Азии галльским племенем тектосагов (179 г. до н. э.): «...видя, что больше опасности в промедлении, чем защиты в сохранении строя, они [римляне] <...> обратились в бегство» («История Рима...», XXXVIII, 25, 13).

Еще ближе к «петровской» формуле фрагмент из Овидия: «Mora damnosa est» — «Промедление пагубно» («Метаморфозы», XI, 376). Но эти слова поговоркой не стали — ни на латыни, ни в новых языках.

Константин Душенко



Промедление смерти подобно

В советское время это изречение приводилось со ссылкой на Ленина, который не устал повторять его в канун Октябрьского переворота:

«Момент такой, что промедление поистине смерти подобно»; «Промедление смерти подобно» (повторено дважды) (Письмо к большевикам — участникам съезда Советов Северной области, 8 октября); «...Теперь уже поистине промедление в восстании смерти подобно»; «Промедление в выступлении смерти подобно».

(«Письмо членам ЦК», 24 октября)



ТЕХНОЛОГИИ И ПРИРОДА

Пережеванный метан

В.М. Хуторецкий

Мир вокруг нас теплеет. Окончательных доказательств того, что это связано именно и только с человеческой деятельностью, так пока и нет, но скорость, с которой происходят изменения, оставляет мало сомнений в этом. Серьезные пертурбации в количестве солнечного излучения, связанные с движением Земли или смещением ее орбиты, происходят гораздо более медленно. Человеческая же деятельность, приводящая к быстрому потеплению, особенно активна в последние десятилетия. Именно она вызывает накопление в атмосфере парниковых газов – воды, озона, метана, закиси азота, углекислого газа, фторуглеводородов, шестифтористой серы (которая влияет сильнее CO_2 почти в 24 тысячи раз) и других. Они так называются потому, что пропускают УФ- и видимые солнечные лучи к Земле, но задерживают тепловое излучение от нее, тем самым заставляя Землю нагреваться.

Из основных загрязнителей (CO_2 , CH_4 и N_2O), как ни смешно, наименьшее время жизни у самого химически инертного газа метана. В тропосфере, нижнем слое атмосферы толщиной 10–12 км, в котором мы, собственно, и живем, он химически не изменяется. Только на верхней ее границе со стратосферой появляются в заметных количествах гидроксильные радикалы, способные окислять его. Дело в том, что для образования ОН-радикалов необходимо как ультрафиолетовое излучение, которое там в изобилии, так и водяные пары, которых там совсем не много. В результате метан разрушается медленнее, чем происходит его физическое перемешивание по высоте, и

он накапливается в атмосфере, где живет около 12 лет, тогда как концентрация углекислого газа округленно уменьшается наполовину за 37 лет, главным образом в результате растворения в океане. Это отнюдь не идет на пользу океану и его обитателям, но кто их спрашивает.

Влияние разных парниковых газов на нагревание Земли зачастую пересчитывают в виде «углеродного следа» – количества углекислого газа, эквивалентного им по действию. Однако поскольку время существования этих загрязнителей в атмосфере сильно различается, то и эквивалент можно рассчитывать на различные сроки. Обычно считают на 100 лет, и тогда метан примерно в 28–36 раз «хуже» углекислого газа. Но если учитывать, что столько времени он не живет, и считать на менее принятый 20-летний эквивалент, то это уже 84–87. Метана в атмосфере в двести раз меньше, чем углекислого газа (0,00018%), но спектральные характеристики у него такие, что его вклад в глобальное потепление составляет около 17–20%.

Среднее содержание метана в атмосфере быстро растет – от 700 ppb (частей на миллиард) в доиндустриальную эпоху до 1863 ppb к маю 2019 года. В августе в Арктике, с ее особенно хрупким равновесием, зафиксирован рекордный уровень 2040 ppb.

Как всегда, в подобных ситуациях возникают два сакральных вопроса: кто виноват и что делать?

Кто виноват?

Измерять метан можно «сверху вниз» в буквальном смысле слова (со спутников, с самолетов), которые прочерчивают ли-

нии концентрации метана на больших территориях, или «снизу вверх» – измерять его на местах, затем отсылать данные «наверх» для суммирования, обобщения. Применяют, естественно, оба метода, но результат не всегда получается надежным.

Выследить происхождение метана помогает анализ его изотопного состава. Изотоп углерода ^{14}C имеет время полураспада 5700 лет, поэтому в ископаемых источниках метана, время образования которых измеряется в миллионах лет (природный или попутный нефтяной газ, присутствующий в угольных шахтах метан), его практически нет. Другое дело метан, который производится сейчас из растительной биомассы. Возраст этой массы от месяцев до тысячелетий. При ее образовании растения усваивали содержащийся в воздухе углекислый газ, а с ним и изотоп ^{14}C , который постоянно возникает из азота под действием космических лучей. Как только растение или животное умирает, обмен веществ прекращается и ^{14}C оказывается связан постоянно. Тогда включается отсчет времени распада радиоактивного углерода. Его исходное содержание (один на триллион обычных атомов) ничтожно, но все измеримо при соответствующей технике. Поэтому можно определить, с метаном какого возраста мы имеем дело: древним, который убежал при добыче и транспортировке газа, или тем, который образовался сравнительно недавно в болоте, в желудке коровы, на свалке, при гниении навоза и т. п.

Согласно материалам Межправительственной группы экспертов по изменению климата (IPCC – The Intergovernmental Panel on Climate Change), после 2007 года ведущую роль в росте содержания метана в атмосфере играют уже биогенные, а не производственные источники.

Лучшее средство борьбы с метановым загрязнением атмосферы – не выпускать его туда. Если CO_2 образуется при горении любого топлива и обойти это никак нельзя, то уж промышленный метан можно бы держать под контролем. Но какое там! В наше время всплеск содержания метана в атмосфере отмечался в начале 1980-х после бурного роста добычи природного газа в СССР, а затем – после 2007 года, когда случился бум добычи сланцевого газа в США. Здесь, как и во всех других примерах, затрагиваемых в статье, главная проблема – надежность данных. Агентство по охране окружающей среды США (EPA) оценивает утечки метана в стране при его производстве и транспортировке в 8 миллионов тонн/год. Однако неправительственная организация Фонд защиты окружающей среды (EDF) на основе своих измерений, в том числе из космоса, приводит куда большую цифру – 13 миллионов. А автомобили Гугл, проверяющие для карт дороги и улицы, но оснащенные соответствующими приборами, заодно проверили содержание CH_4 в воздухе около заводов по производству удобрений, мимо которых они проезжали. Результаты дают оценку 28 миллионов т/год только для этих заводов.

Надо с горечью отметить, что EPA вообще собирается отказать учитывать метан в атмосфере. Что делать, если во главе страны стоит президент, отрицающий влияние человека на климат. Он поставил в EPA руководителя (сейчас уже бывшего), который за годы перед своим назначением туда называл ее вредной организацией, призывал ее уничтожить и за свои 2,5 года успел отменить множество запретов на всевозможные выбросы и ограничения.

Общий ежегодный бюджет CH_4 – 500–600 миллионов тонн. По данным за 2017 год, примерно 40% метана поступает из природных источников, а остальные 60% – результат человеческой деятельности. За десять лет увеличение его концентрации продолжалось на том же уровне, что и в 1997–2007 годах, и сейчас составляет примерно 257% от доиндустриального уровня 1750 года, тогда как CO_2 вырос на 167%.

Главный природный источник метана – гниющие органические осадки на дне природных водно-болотных угодий: болот, озер, полузатопленных лесов. Борьаться с природой, осушать болота, как показывает опыт, себе дороже. С осу-



Природные и антропогенные источники метана согласно данным Института Годдарда по изучению космоса (НАСА)

шением болот мелеют реки, резко возрастает вероятность пожаров и падает продуктивность близлежащих лугов и полей. Пока еще не главный источник (3–5%) – это тающая вечная, но оказавшаяся не вечной, мерзлота. Она не просто превращается при таянии в болото – источник метана, но и может выделять метан, законсервированный в ней ранее в виде ледяных клатратов. А вот это уже просто запал к бомбе не столь уж замедленного действия. Чем теплее атмосфера, тем больше тает клатратов, тем больше выделяется метана, который повышает температуру – примерно так же описывают развитие взрыва в заряде или цепной реакции. А количество метана, хранящегося в клатратах вечной мерзлоты, огромно.

Прикидки НАСА говорят, что в замёрзшей почве Арктики хранится в пять раз больше углерода, чем выделилось за все время человеческой деятельности с 1850 года. Вечная мерзлота Сибирской Арктики в 2013 году выделила при таянии около 13 миллионов тонн метана, в 2006-м это было до 6 миллионов, в конце 20 века – полмиллиона. Исследованиями в этой области занимаются, например, в Томском политехническом университете. К счастью, значительную часть выделяемого из тающей почвы метана анаэробно окисляют бактерии.

Рисовые чеки, вклад которых в атмосферный метан составляет 10–12%, хотя и относятся к человеческой деятельности, но, по сути, представляют собой искусственные временные



Кусок прибрежной тундры отломился и под тонким слоем растительности видна вечная мерзлота, Аляскинский научный центр Геологического надзора США

болота. Без них рис пока не научились выращивать, а он – основной продукт питания миллиардов людей. Метанотрофные бактерии съедают некоторую, не очень большую, часть болотно-го (~7%) и рисового (~20%) газа, но как ее увеличить – неясно.

Любопытно отметить столь же неожиданный, сколь и значительный (3–4%) источник метана в атмосфере – термиты! Ну да, для средней полосы это диковинка, и в нашей стране они встречаются только вблизи Сочи и Владивостока, но в более теплых краях мира их куда больше. Термиты (их еще называют «белыми муравьями», хотя на самом деле их родня – тараканы), как и коровы, едят клетчатку. Правда, они предпочитают ее в виде древесины, а коровы – больше в виде травы или сена, но разница для микробов, которые живут в их желудках и перерабатывают ее, не так велика. В результате те и другие выпускают метан как отход жизнедеятельности. В отличие от коровников, термитники оборудованы микробными фильтрами, которые поддерживают сносную атмосферу внутри жилища. К сожалению, метанотрофные бактериальные маты «сжигают» лишь около половины испускаемого там метана. Количество термитов на Земле таково (по некоторым оценкам – $2\text{--}3 \times 10^{17}$), что количество производимого в их микробиомах метана всего лишь вчетверо меньше, чем от внутренней ферментации животных.

Но вот главный антропогенный источник метана — это обычное животноводство: внутренняя ферментация + отходы животноводства = 21%. По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО), оно поставляет в атмосферу 14,5% антропогенных газов в CO_2 -эквиваленте. Особой критике подвергают выращивание скота для получения говядины, поскольку оно дает 40% парниковых газов от приводимого ФАО количества.

В сельском хозяйстве больше всего жвачных животных: около 1,5 миллиардов коров, миллиард овец и 450 миллионов коз. Сначала они пережевывают пищу, затем глотают, а через некоторое время отрыгивают ее обратно для вторичного пережевывания, при котором и изрыгают метан. Верблюдовые (ламы, альпаки, бактрианы, дромадеры и т. п.) не столь многочисленны, их несколько миллионов на Земле. У них немного по-другому устроен желудок, но в повторном пережевывании пищи и в количестве метана на съеденный корм они сходны с коровами. Лошадей больше, до 60 миллионов, однако метана на единицу корма они производят в 3,3 раза меньше, чем жвачные (28 ± 9 л/кг против 92 ± 15). Есть еще 770 миллионов всеядных свиней, которые, вернее – обитатели которых, тоже производят метан. Кенгуру в Австралии, а их около 50 миллионов, ведут себя гораздо приличнее. Ученые даже пытались пересаживать микробы из их желудков жвачным, но особого успеха не достигли.

По сути дела, усвоение клетчатки, из которой и построена большая часть кормов этих и других животных, питающихся растительной пищей (например, у медведей она составляет ~75% рациона), происходит только благодаря микроорганизмам, населяющим их пищеварительный тракт. Складывающаяся из них симбиотическая система, микробиом, чрезвычайно многообразна: сотни видов бактерий, археи (которые имеют иную, чем бактерии, оболочку), простейшие одноклеточные животные (инфузории), а также грибки, вирусы и неведь что еще. Бактерии превращают полисахариды клетчатки в CO_2 , водород и летучие жирные кислоты ($\text{C}_2\text{--}\text{C}_4$), которые служат главным источником энергии для животных. В результате межвидовой кооперации археи восстанавливают часть этих продуктов в метан, который корове даром не нужен, а отмирающая микробная масса служит животному источником белка и витаминов. Точных измерений кормовых потерь на производство животными метана немного. Оценка для овец – $6,7 \pm 1,7\%$, для коров цифры доходят до 10–12%. Как видите, потери нешуточные.

Кстати, только примерно две трети метана животные производят в своем «многоступенчатом» желудке и кишечном тракте, а еще почти треть (!) дает навоз, столь любимый пропагандистами «органического» сельского хозяйства. Правда,

его можно загружать в ферментеры, получать горючий биогаз для собственных нужд, а уж потом отработанный материал использовать как удобрение, но так ли уж часто это случается даже в крупных хозяйствах?

Что делать?

Попытки подавить метанообразование домашними «травоядными» предпринимали давно. Отбирали менее газогенерирующие породы, вакцинировали против нежелательных микробов, правда, пока без особого успеха. С кормовыми добавками дело обстоит несколько лучше. Например, чесночное масло, один грамм которого получается перегонкой с паром из примерно 500 граммов чеснока и имеет сильнейший «аромат» диаллилдисульфида, весьма эффективно для коров, в меньшей степени для овец.

Химические средства борьбы (бромхлорметан, 2-бромэтансульфонат, хлороформ, аллил изотиоцианат, известное лекарство ловастатин) эффективны в той или иной степени, но малоприспособлены по разным причинам, из которых основные – высокая летучесть и токсичность для «пациентов». Более сложные препараты, например этиловый эфир 3-азидопропионовой кислоты, весьма эффективны, но это уже дорогие фармакологические разработки. В Швейцарии начат пробный выпуск препарата мутрал (Mootral), который подавляет производство метана в желудках у мясных бычков. Он основан на смеси экстрактов из чеснока и апельсиновой кожуры, ведь для препарата из натуральных компонентов не требуется получать дорогостоящее разрешение на его применение. На сайте самой компании «Mootral» рассказывают, что за примерно десять долларов на корову в год можно обеспечить все мировое поголовье средствами, которые снизят выбросы метана жвачными на 30%. Однако директор стратегических проектов компании оценивает эту стоимость в 50 долларов на корову в год. Вот и верь после этого людям!

Из простейших химикатов перспективным представляется 3-нитроксипропанол (3-NOP или, 3NOP), то есть мононитрат 1,3-пропандиола. Тот же нидерландский синдикат DSM, которому принадлежит «Мутрал», более десяти лет совместно с американским университетом Калифорнии в Дэвисе изучает 3NOP. Его добавка в корм в количестве 60–120 мг/кг сухой массы корма уменьшает метанообразование на 30–50% и увеличивает надои молока и привес коров. Большое достоинство препарата – доказанное отсутствие у него и его метаболитов мутагенности и генотоксичности, чем зачастую отличаются нитраты. Но есть и недостатки: умеренная активность, большие дозы и ухудшение результатов при увеличении доли грубых кормов в рационе. Сейчас разработчики пытаются получить разрешение на его применение от Евросоюза, правительства Бразилии (с ее 215 миллионами коров) и американской FDA.

Розовая водоросль

Помните «Возвращение блудного попугая» «Прилетаю я на Таити... А вы не были на Таити? — Таити, Таити... Не были ни в какой Таити! Нас и здесь неплохо кормят»

Я так не только на Таити, но и на Гавайях тоже не был, но пишут, что в тамошней кухне поукей (сырая рыба) обычно подается с лиму (водоросли вообще), а лиму коху (наилучшая водоросль) – самый популярный вариант у посетителей ресторанов. Вот, знакомьтесь: *Asparagopsis taxiformis* (см. фото). В Гугле на это имя уже выдается свыше 78 тысяч ссылок.

Но совсем не в связи с гавайской кухней, а потому, что в 2014 году группа австралийских ученых показала, что этот самый таксиформис в небольших дозах *in vitro* почти полностью прекращает выделение метана в культурах, взятых из передней части желудка (рубца) коров. Практическое применение



Вкус этой водоросли розового цвета *Asparagopsis taxiformis* или лиму коху, оценили не только люди, но и коровы



ТЕХНОЛОГИИ И ПРИРОДА

водческих фермах (если работы перенесут и туда), а заодно связывать избыточный углекислый газ из морской воды.

Здесь надо сделать отступление. Чего это вдруг американцы так активно взялись за аспарагопис? США – это объединенные государства (states) Америки. Эти самые штаты-государства сохранили право издавать законы, действующие на их территории. Особенно выделяется своими законами по охране окружающей среды Калифорния – наиболее экономически развитый штат

этого открытия уже запатентовано (WO 2015/109362 A3).

После этого появилось довольно много исследований, особенно американских и австралийских, и, как следствие, множество сообщений о том, что если добавлять коровам в пищу достаточное количество таксиформиса (до 2%, больше обычно нет смысла), то выделение ими метана уменьшается на 99%. Я видел уже три диссертации (австралийскую, американскую и шведскую) на эту тему. В зависимости от сорта и места произрастания эта водоросль может давать и худшие результаты: например, подавление метаногенеза на 74% при 2% добавки или на 99%, но при 5% добавки. В октябре 2019 года американско-австралийский коллектив сообщил в «Journal of Cleaner Production», что и другой вид аспарагописа (их только два в роду), *Asparagopsis armata*, снижает выделение метана на 67% при добавлении всего 1%. Коровы менее охотно едят такой подсолненный корм, поэтому в пересчете на килограмм корма снижение составляло 47%, а на килограмм молока – 60%. Важно, что коровы съедают такого приправленного корма меньше, а молока дают столько же, то есть используют его в полезных целях более эффективно. Это открытие значительно расширяет доступность аспарагописа, поскольку армата живет в более прохладных водах, вплоть до Ирландии и Великобритании, а таксиформис предпочитает тропики и субтропики.

В конце 2019 года в отделении университета Калифорнии в Дэвисе, в лаборатории профессора Е. Кебриб завершится полугодовой эксперимент. Он позволит узнать, как сказывается таксиформис в кормах на самих коровах, на их молоке и мясе. Пока что коровы благожелательно принимали корм с добавкой солоноватых водорослей, а они разборчивы в еде. Результаты трехмесячных опытов были успешными: ни количество, ни, главное, качество молока, по мнению знатоков, ничуть не ухудшилось. В университете Калифорнии в Сан-Диего, в лаборатории профессора Джен Смит, приспособливают сорта таксиформиса для выращивания в местных условиях. На Гавайях стартап «Symbrosia» уже проверяет возможность симбиоза креветок и таксиформиса, выращиваемых на одной акваферме. Отходы жизнедеятельности креветок – азотные удобрения для водоросли, так что таксиформис будет очищать воду для креветок в данном случае или для рыбы на рыбо-

страны (ВВП 2,7 триллиона долларов, для сравнения ВВП РФ 1,72 триллиона). Выход США из Парижского соглашения по климату не помешал Калифорнии принять закон, обязывающий фермеров снизить к 2030 году выбросы метана в воздух на 40% от уровня 2013 года – что и записано в Парижском соглашении. Этим, вероятно, объясняется активное вовлечение ученых из университета Калифорнии, распределенного по разным городам штата, в работу по таксиформису. Да еще, конечно, субтропический климат, близкий к Северо-Западной Австралии, откуда тот родом. А австралийцы из соглашения и не выходили, они работают по полной программе, у них эта водоросль родная.

Как обычно действуют в случаях обнаружения физиологической активности биологических объектов? Выделяют биоактивное вещество, синтезируют его в лаборатории, проверяют на животных, при необходимости синтезируют аналоги и передают их фармацевтической компании. В случае аспарагописа все вышло на удивление легко: действующим веществом оказался простейший, давно известный бромформ, CHBr_3 . Прямое сопоставление действия водоросли и эквивалентного количества бромформа подтверждает этот вывод. Это хорошо и плохо. Хорошо, поскольку задачу идентификации удалось решить в кратчайшие сроки самыми простыми методами. Плохо, поскольку бромформ, как и другие полигаллоидметаны, довольно ядовит для приема внутрь. Пока CHBr_3 поступает в организм животного натуральным, «органическим» путем из водоросли, это никого не тревожит. Но кормить скотину бромформом? Мало нам гормонов и антибиотиков?! А почему, собственно, нет?

Пищеварительная система коровы приспособлена к переработке грубых кормов, поэтому сено – основа рациона: в день его нужно 2–4 кг на 100 кг живой массы в зависимости от продуктивности, физиологического состояния животного и качества корма. Средняя корова весит 725 кг, стало быть, ей нужно примерно 20 кг сена в день (на самом деле в интенсивном животноводстве кормят более питательными смесями в меньшем количестве) и 2% от этого – до 0,5 кг сушеного аспарагописа. Есть и другие водоросли (ламинария, например), которые миллионами тонн используют в пищу человека и в корм скоту каждый год. Они тоже содержат пусть куда меньшие, но все же значительные

количества бромформа. Его химическое воздействие на микробиом коровы смещает внутреннюю ферментацию в сторону преимущественного образования пропионовой кислоты (в ущерб уксусной и масляной), в результате чего образующийся в анаэробных условиях водород идет на другие восстановительные реакции, а не на образование метана.

Считаем: 0,5 кг/день на 1,5 миллиарда коров = 750 тысяч тонн/день. Даже если все пригодное морское побережье, где нет портов, пляжей, курортов, заводов, занять фермами по выращиванию водорослей, и то не факт, что продукции хватит.

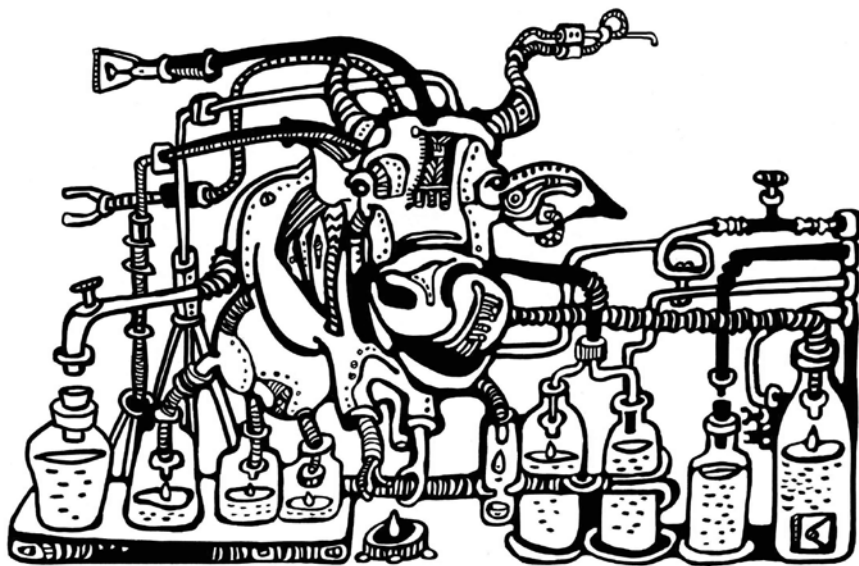
В принципе можно аспарагопис не возить с побережья, а выращивать на местах, если солнца достаточно и есть соли брома, чтобы добавлять в воду, в которой он будет расти. Солей брома на Земле вполне хватает: примерно 100 триллионов тонн; их концентрация в морской воде составляет около 0,065%, и одно только Мертвое море содержит около одного миллиарда тонн брома. Да и идея морского хозяйства на суше не нова: вон в Израиле осетров в пустыне выращивают и по всему миру поставляют икру. Проблема в том, что корм для коров – это не черная икра, его надо не просто много, а очень много. Так что принципиально идея может и осуществима, беда в том, что она не имеет пока экономического обоснования.

Но раз действует именно бромформ, то, казалось бы, удобнее не связываться с водорослями вообще, а просто прибавлять его в корм. Содержание CHBr_3 в водоросли 1,72 мг на грамм сухого веса (других сколько-нибудь активных компонентов, вроде CH_2Br_2 или дибромуксусной кислоты, в 100 раз меньше), а среднестатистической корове надо 860 мг бромформа в день для почти полного подавления выработки метана. Это меньше 1,5 мг/кг живого веса в день. Данных по токсичности бромформа для коров не оказалось под руками – если они вообще существуют. Между тем для крыс добавление бромформа в пищу в течение двух лет (это

их средняя продолжительность жизни) не вызывает видимых эффектов при дозе до 35 мг/кг/день, хотя значительно более высокие дозы начинают вызывать повреждения печени. Но это в 20 с лишним раз больше, чем нужно корове, чтобы избавиться от метанообразования, а ведь можно давать и меньше, если не добиваться идеала. Почему в день? Потому что бромформ не накапливается в организме: более 2/3 съеденного бромформа, меченого ^{14}C , крысы выдыхают неизменным, еще 4% – в виде CO_2 («Journal of Occupational Health», 2000; 42: 229–233).

Канцерогенность бромформа оценивается как меньшая или равная таковой для хлороформа, широко применяемого в промышленности, просто по аналогии с ним. Рекомендации ЕРА относят бромформ к группе риска В2 (вероятный канцероген для человека). В новозеландском исследовательском Центре сельскохозяйственных парниковых газов доктор Э. Райзингер к самой идее использования бромформсодержащих водорослей относится настороженно, если не сказать отрицательно. Он не без оснований полагает, что при разведении водорослей на фермах будет невозможно контролировать выделение бромформа в атмосферу, а это может усилить разрушение озонового слоя. Новая Зеландия до крайности дорожит своей репутацией самой экологически чистой страны в мире, поэтому там очень опасаются любых непредсказуемых событий в этой сфере. Например, при въезде в страну спрашивают, не были ли вы на ферме перед отлетом и, если были, как хорошо вымыли подошвы обуви? Если не очень, вот плоский тазик с влажной хлоркой, пройдитеесь. Опрос как при посадке в самолет израильской авиакомпании, хотя там опасения другие.

В CSIRO (Австралийское правительственное агентство по науке и технологиям) этих опасений не разделяют и работы по таксиформису активно развивают. В частности, его сотрудник доктор Р. Кинли отвергает опасения по поводу канцерогенности бромформа. В единственном исследовании, где оно



Художник Н. Колпакова

Индустриальное молоко лакты

Молоко в средствах массовой информации и в научных статьях ныне выглядит не очень презентабельно. Во-первых, многие взрослые люди не могут усваивать содержащийся в молоке сахар – лактозу. Ничего необычного здесь нет, это естественно. Более того, способность взрослых усваивать лактозу – это отклонение от нормы, вызванное древней мутацией. Однако преломление факта непереносимости в

зеркале СМИ дает образ цельного молока как чего-то опасного, способного повредить здоровью. В отдельных статьях прямо утверждают – всем взрослым людям пить цельное молоко не нужно и даже вредно, другое дело безопасное, безлактозное молоко: его нужно потреблять всем. Во-вторых, те же СМИ нагнетают страхи сообщениями о том, что каждый выпитый стакан молока приближает климатическую

катастрофу, ведь жвачные животные выделяют опаснейший парниковый газ – метан. В-третьих, защитники животных намекают, что разводить домашних животных для получения от них пищи – не гуманно.

Что же делать? Неужели надо отказаться от молока ради заботы о собственном здоровье, об окружающей среде и проявляя гуманность по отношению к животным? Нет, проблему можно решить кардинально – перейти на индустриальное молоко. Суть идеи состоит в том, чтобы превратить корову в искусственное существо – лакту, которая станет полностью усваивать корм и не загрязнять воздух метаном. Для этого нужно прежде всего ввести в рубец коровы новых членов бактериального пула, которые станут выполнять две задачи. Во-первых, связывать азот из воздуха, либо извлекать его из минералов вроде мочевины – так лакта окажется обеспечена необходимым азотом. А во-вторых, разлагать и полностью утилизировать все компоненты корма. Эти цели реальны, но расширение функционала рубца потребует увеличить его объем.

Коль скоро все нужные для лакты вещества, по сути, синтезируют бактерии ее рубца, нет смысла заботиться о сбалансированности питания. Достаточно выращивать такие культуры, которые дают как можно большую биомассу: тогда многочисленные микробы будут в

было обнаружено, мышам вводили дозу в полторы тысячи раз больше, чем требуется давать коровам (на килограмм живого веса, конечно). В отношении озонового слоя его мнение таково: «конечно, нехорошо менять одну проблему на другую, однако количественных данных по разрушению озонового слоя от бромформа нет, а достоинства применения морских водорослей весьма существенны и представляются достижимыми. Когда-то мы все должны принимать поворотные решения». Надо заметить, что доктор Кинли принимал участие в исследовании, в котором отметили, что у некоторых овец, получавших в пищу таксиформис в течение 72 дней, были обнаружены грануломатозы и кератозы рубца. Это не онкология, конечно, но предмет для пристального изучения.

Вернемся опять к арифметике. На полтора миллиарда коров требуется, если обходиться без водорослей, 1,3 тысячи тонн бромформа в день (0,86 г для каждой) или 500 тысяч тонн в год. Цена его в каталоге химических реактивов – 321 доллар/кг, но для менее разборчивых клиентов можно и за 10–15 долларов найти. При массовом производстве цена конечно же сильно упадет. Даже если считать по 10 долларов/кг, получается 5 миллиардов долларов в год. Это много или мало? Проект создания зеленого пояса-леса через Африку под Сахарой, который позволит связать порядка 250 миллионов тонн CO₂ из ежегодно выбрасываемых 36 гигатонн в год (это 0,7%), обойдется в 8 миллиардов. Проект «Бромформ» позволит ежегодно не допускать в атмосферу свыше 5% в пересчете на «углеродный след».

Увы, этот проект без подробных исследований – пустое мечтание, хотя бы потому, что он противоречит принципу Анны Карениной. И нечего смеяться, если вы о нем не знаете. Да, да это от общеизвестного «Все счастливые семьи похожи друг на друга, каждая несчастная семья несчастлива по-своему». Это весьма общий принцип для всех сложных систем. В микробиологии он

означает, что воздействие на один элемент микробиома приводит к непредсказуемым последствиям для целого. Хорошая иллюстрация его приведена в «Химии и жизни» (2019, 6, с. 13): «Прямая подсадка в рубец бактерий, синтезирующих пропионовую кислоту — на этот синтез идет много водорода, — привела к неожиданному результату: производство метана в коровьем желудке выросло», вместо того, чтобы уменьшиться. Для экономически обоснованного обсуждения возможного применения 3NOP, аспарагописов и бромформа в животноводстве пока остро не хватает солидных долгосрочных исследований. Но они на подходе, а результаты их внедрения могут в корне изменить ситуацию с выбросом метана в этой области хозяйствования.

Что же касается глобального потепления в целом, то здесь есть важная новость. Четвертого декабря 2019 года в журнале «Geophysical Research Letters» Американского астрофизического общества была опубликована совместная статья университета Калифорнии в Беркли, Массачусетского технологического института и Института Годдарда НАСА. Исследователи оценили, насколько точно различные климатические модели, опубликованные с начала 1970-х до конца 2000-х годов, предсказали нынешнее изменение климата. Оказалось, что наблюдаемое нами сейчас потепление, по сути дела, в точности совпадает с тем, что было предсказано четырнадцатью из семнадцати моделей, которые основывались на данных о содержании парниковых газов в атмосфере. Это прибавляет уверенности в том, что современные модели предскажут будущий климат еще лучше. Чего они не могут предсказать, так это поведения людей: сколько еще этих самых газов люди продолжат выбрасывать в воздух. Но это уже не физика, а отсутствие заботы о будущем.



А ПОЧЕМУ БЫ И НЕТ?

изобилии обеспечены питанием. То есть, на первый план в выращивании кормов выходят интенсивность фотосинтеза, неприхотливость в данной местности и устойчивость к вредителям. Цена такого корма, очевидно, будет ниже, чем у комбикорма, содержащего дорогие добавки вроде препаратов аминокислот. А поскольку корм в массовом производстве вносит основной вклад в себестоимость, молоко лакты станет дешевле любой вегетарианской пищи.

Как это может работать? Есть несколько путей, вот один из них. Можно подобрать такое сообщество грибов и бактерий, которое еще до помещения растительной биомассы в желудок лакты превратит ее в набор легко усваиваемых веществ. Получится размолотый полуфабрикат, удобный для синтеза из него нужных биомолекул. Обработав его ферментами и выдержав при оптимальной температуре, можно обеспечить необходимую степень конверсии для последующей передачи симбионтам рубца. А самим жвачным животным такая конверсия не по зубам из-за низкой температуры тел и недостаточности измельчения корма жеванием.

В перспективе, варьируя симбионтами можно будет изменить состав молока и таким образом решить проблему неусвоения лактозы. От чего сразу же удастся

избавиться – так это от метана, который формируется как раз в рубце при разложении растительной пищи.

У коровы метан вырабатывают метаногенные бактерии, соединяющие высвобождающиеся водород и углекислый газ; убрав этих бактерий из микробиома рубца удастся в принципе избежать выделения лактой метана. Если же метаногенные бактерии неизбежны, можно найти обходной путь – создать аэробную кишку. То есть, ввести окислители в конце кишечника: поселенные там метанокисляющие бактерии переработают зловредный газ. Для этого по вживленной в кишку трубе нужно подавать коктейль из кислорода, перекиси водорода, нитратов и подкормки для аэробов. Вживлять трубу лучше сразу после родов лакты, а идеал совместимой трубы -- пуповина лактёнка.

Окислительную среду создаст и ввод в корм капсул с нитратами, растворяющимися через заданное время, но с этим надо быть аккуратным, ведь чем меньше в корме добавок, тем он дешевле и безопаснее. Впрочем, лакта в любом случае не испортит воздух, так как кишечные газы отправляются по подключенной к ней навозной трубе на утилизацию.

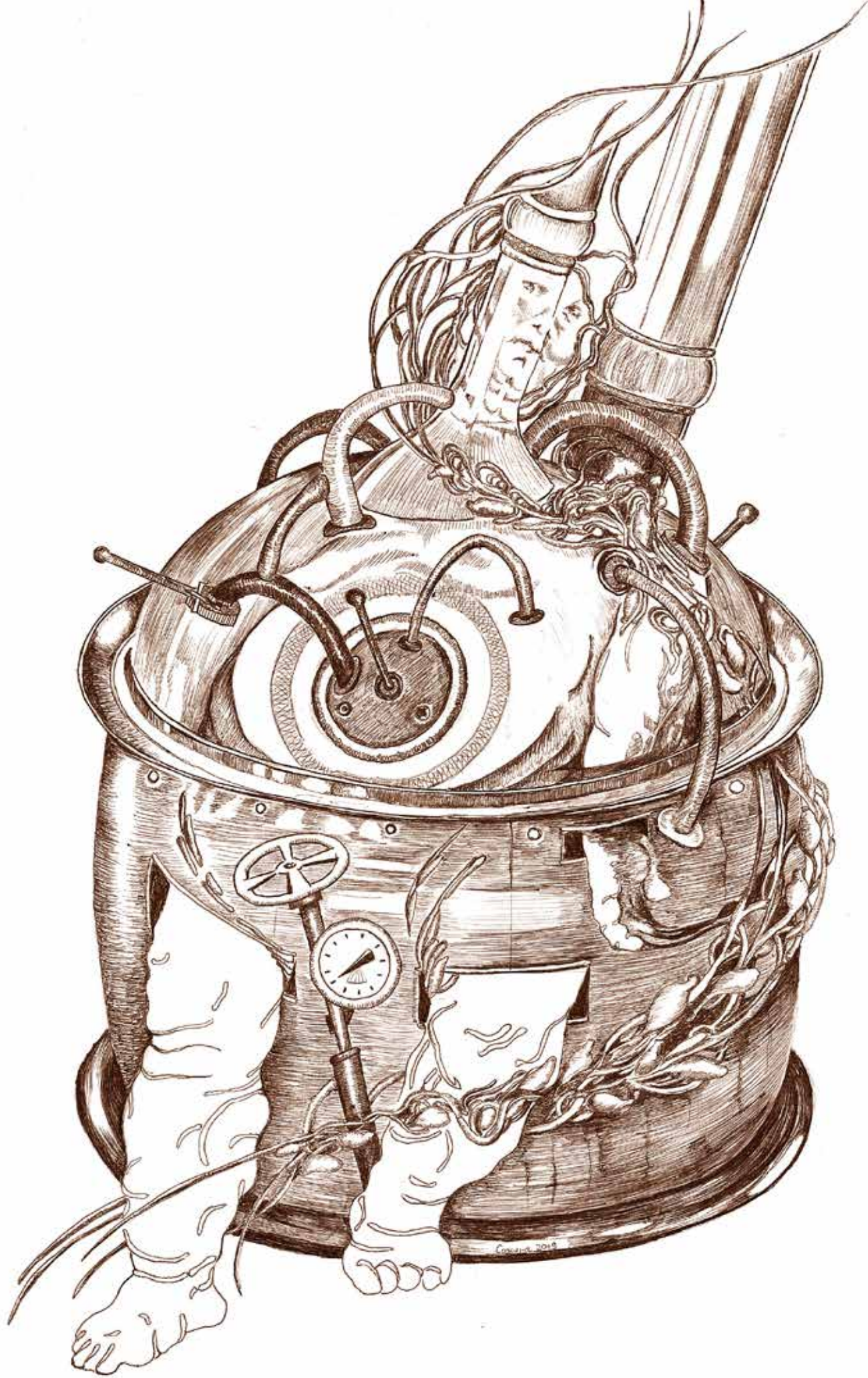
Жить лакта станет в водном стойле для минимизации потерь энергии, ведь в воде оптимальной температуры нет потерь на согрев или охлаждение тела. Да и стоять не нужно: если воде придать

должную плотность, лакта в ней повиснет. Метаболиты и молоко надо отводить по герметично приклеенным к телу трубам. Точный контроль температуры -- условие максимума лактации.

Всё лишнее, не нужное лакте для производства молока – это потери энергии. Не нужны промышленной корове, безвылазно находящейся в теплой воде, ноги, глаза, уши, шерсть, пот, органы репродукции и многое другое, включая головной мозг. Их можно убрать селекцией, геной инженерией и стимуляцией НПР -- направленных пороков развития. Для создания НПР надо изучать морфогенез зародыша коровы в пробирке.

Лакта будет почти безотходна: образование навоза, мочи и метана снизятся на порядки и основным метаболитом станет углекислый газ. Его можно собирать и отправлять в теплицу на выращивание компонентов корма. Туда же – излишнее тепло хлева, где содержатся лакты, то есть лактозника. В общем, лактоферма – это экологически чистое, легко автоматизируемое производство, весьма компактное из-за высочайшей продуктивности лакт и отсутствия залов мывья и дойки, тихое, лишенное запахов. В общем, вполне уместное даже в городе.

Владимир Кальменс



Человек-пивоварня

Кандидат
биологических наук
Н.Л. Резник



ЗДОРОВЬЕ

Если пьяный человек клянется, что не пил ни капли, не надо отмахиваться от его слов. Он имеет право если не на доверие, то хотя бы на диагностику. Возможно, спирт образуется у бедняги внутри.

Щедрые дрожжи

В апреле 1946 года в больнице Мулаго в Уганде умер пятилетний мальчик. Днем его госпитализировали с опухолью в нижней части живота, а вечером мама принесла ему на ужин бататы. Через несколько часов у ребенка заболел и вздулся живот, началась рвота, и он промучился до утра, когда его заметил один из английских врачей. Мальчика прооперировали. Опухоли не нашли, зато в задней стенке желудка обнаружился разрыв длиной около десяти сантиметров, из которого в брюшную полость выходили газы и пенная, густая, серо-белая жидкость, в которой плавали частицы батата. От жидкости разлило алкоголем, однако этот запах не напоминал ни один из сортов местного пива (отдадим должное осведомленности британских медиков). Хирурги хотели зашить разрыв, но ребенок умер, а жидкость продолжала бродить и после его смерти. Поскольку ни местных лекарств, ни пива мальчику не давали, а стенки желудка не были ни воспаленными, ни травмированными, врачи пришли к выводу, что желудок разорвали газы, образовавшиеся в большом количестве в результате сбраживания углеводов, которых мальчик съел слишком много.

В жидкости медики обнаружили смесь кокков и бацилл, которые ферментируют разные сахара и выделяют большое количество газа. К сожалению, бактериальные культуры погибли, и на этом расследование завершилось.

На этот прискорбный случай часто ссылаются как на первое научное описание синдрома ферментации кишечника, он же синдром автопивоварни. Это достаточно редкое заболевание, при котором в пищеварительной системе человека образуется значительное количество этанола. У некоторых больных содержание ал-

коголя в крови превышает 800 мг/л — пороговое значение, разрешенное водителям США и Великобритании (в России ограничения строже, 300 мг/л). Такая концентрация вызывает у большинства людей явные симптомы опьянения, поэтому болезнь и назвали синдромом автопивоварни. Название это длинное, встречаться будет часто, поэтому обозначим синдром аббревиатурой САП (не путать с лошадиной болезнью!).

Этанол образуется, когда живущие в кишечнике дрожжи, обычно *Candida* и *Sacchromyces*, расщепляют съеденные человеком углеводы. У здоровых людей дрожжей очень мало, менее 0,1% всего кишечного изобилия. И спирта они синтезируют всего ничего. Крупномасштабное исследование, недавно проведенное в Саудовской Аравии с участием 1400 трезвенников, показало, что естественная концентрация этанола в кишечнике составляет у них, в среднем, 1,4 мг/л, минимальная — ноль, а максимальная — 15,3 мг/л. В Арабских Эмиратах максимальные значения оказались чуть выше: 35,3 мг/л у мужчин и 32 мг/л у женщин. Но и такое количество не влияет на самочувствие. САП обычно возникает при хронической дрожжевой инфекции, и размножившиеся грибы щедро благодарят выпивкой хозяина, предоставившего им стол и кров.

В прошлом веке о САПе писали мало и воспринимали его как редкий курьез. Больным веры не было, особенно когда их задерживали за вождение в нетрезвом виде. Критики напоминали, что в желудке и печени работает фермент алкогольдегидрогеназа, претворяющая этанол в ацетальдегид, который затем превращается в уксусную кислоту. Печень здорового человека способна переработать 6–8 г спирта в час. Иногда, но не всегда, ферменты печени у больных САПом работают плохо и не справляются с большим притоком ал-

коголя. Но каков же должен быть этот приток, чтобы концентрация спирта достигла 800 мг/л? Такого просто не может быть, а исследователи ошиблись при измерениях. Однако более поздние наблюдения, проведенные с помощью газовой хроматографии, показали, что ошибки нет. Люди не пьют, а спирта у них в крови много.

Один из характерных случаев описали в 2019 году специалисты Медицинского центра Ричмондского университета (США) в журнале «BMJ Open Gastroenterology». К ним обратился 46-летний мужчина, не имевший серьезных физических и психических заболеваний, но страдавший лишним весом. Он хотел избавиться от синдрома кишечной ферментации. Страдания пациента начались шесть лет назад, после серьезной травмы большого пальца, которую лечили антибиотиком цефалексимом. Палец он вылечил, но стал жаловаться на плохую память, эпизоды депрессии и агрессивное поведение, ранее ему не свойственное. Антидепрессанты и успокоительные средства, которые назначил психиатр, не помогли, а тут еще новая напасть — арест за вождение в нетрезвом виде. Концентрация алкоголя в крови оказалась чудовищной — 2 г/л. При таком опьянении человек на ногах не стоит, и полиция, естественно, не поверила, что задержанный ни капли в рот не брал.

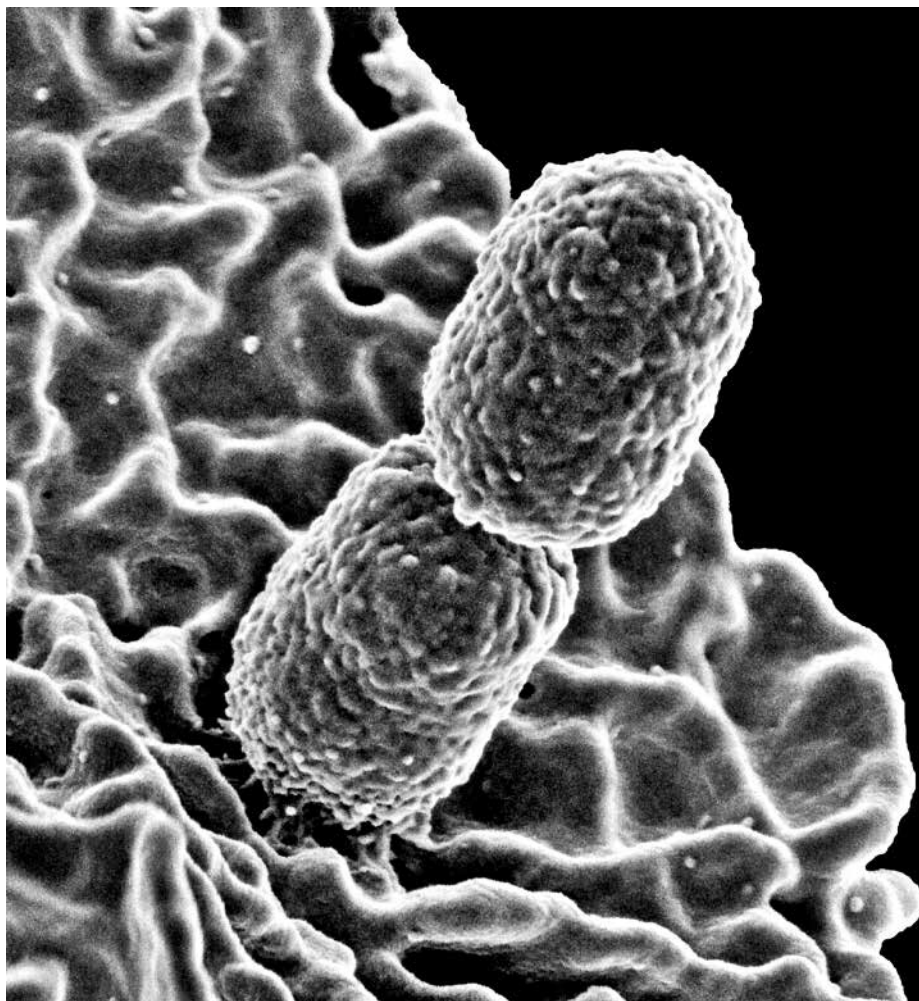
К счастью, у этого человека была тетушка, которая знала, что после травмы он вообще не пьет. По ее совету бедняга купил алкотестер и стал следить за содержанием спирта в крови. Оказалось, что концентрация алкоголя подскочивала через восемь часов после того, как больной ел углеводную пищу. Он обратился к врачу, в его стуле обнаружили дрожжи-сахаромицеты и стали лечить антигрибковыми препаратами: флуконазолом и нистатином. Дрожжи пропали, и больного выписали, запретив углеводные продукты. Увы, спустя несколько недель вспышки внутреннего пьянства возобновились. Один раз опьянение было настолько сильным,

что мужчина упал и сильно ушиб голову. Последствия внутричерепного кровотечения пришлось лечить в неврологической клинике. Концентрация спирта доходила до 4000 мг/л. Как при таких показателях не согрешить на ложь пациента или точность измерительного оборудования!

После всех этих мытарств больной и обратился к специалистам из Ричмонда. Оказалось, что, помимо сахаромикетов, в его кишечнике живут и кандиды. Наверное, дрожжи были устойчивы к лекарствам, потому что извести их удалось с огромным трудом, задействовав не только антигрибковые препараты, но и пробиотики, нормализующие микрофлору кишечника. Полтора года этот человек диету не соблюдает, приступов опьянения не испытывает, но регулярно проверяет уровень алкоголя в крови.

Будем надеяться, что эта история закончится счастливо, поскольку полного излечения удастся добиться не всегда. Техасский врач Барбара Корделл, которая специализируется на САПе, рассказывает о пациентке, которой пришлось поменять образ жизни и сесть на очень жесткую диету — качественное мясо и некрахмалистые овощи. Отступление от диеты вызывает тяжелый приступ. Другой пациент, молодой мужчина, несколько лет маялся диареей, необъяснимыми болями в животе и рвотой. Потом начались алкогольные эпизоды, которые повторялись все чаще. Не врачи, к которым больной безрезультатно обращался, а его жена нашла в Интернете информацию о САПе, купила алкотестер и связалась с доктором Корделл. Увы, избавить страдальца от дрожжей так и не удалось, антигрибковые препараты не помогали, а лишь усиливали рвоту — пациент не смог их принимать. Семья живет в старом доме, где есть плесень, а Барбара Корделл считает, что плесневые грибы также вызывают в кишечнике спиртовое брожение. Один из ее пациентов, успешно излеченный, вновь заболел, когда занялся перевозками зерна. Врач предположил, что на элеваторе есть плесень. Пациент сменил работу, перешел на низкоуглеводную диету, и приступы у него случаются реже одного раза в месяц.

Барбара Корделл часто советует больным продезинфицировать дом и воздерживаться от сыра, кофе и арахиса, которые могут содержать плесень. Тем, кто следует ее рекомендациям, становится немного легче, однако сообщений о том, что в кишечнике больных САПом действительно нашли плесневые грибы, пока не было.



Возбудители внутреннего пьянства:
бактерия *Klebsiella pneumoniae*;
справа — дрожжи *Candida albicans*
и *Saccharomyces cerevisiae*

Испытание углеводами

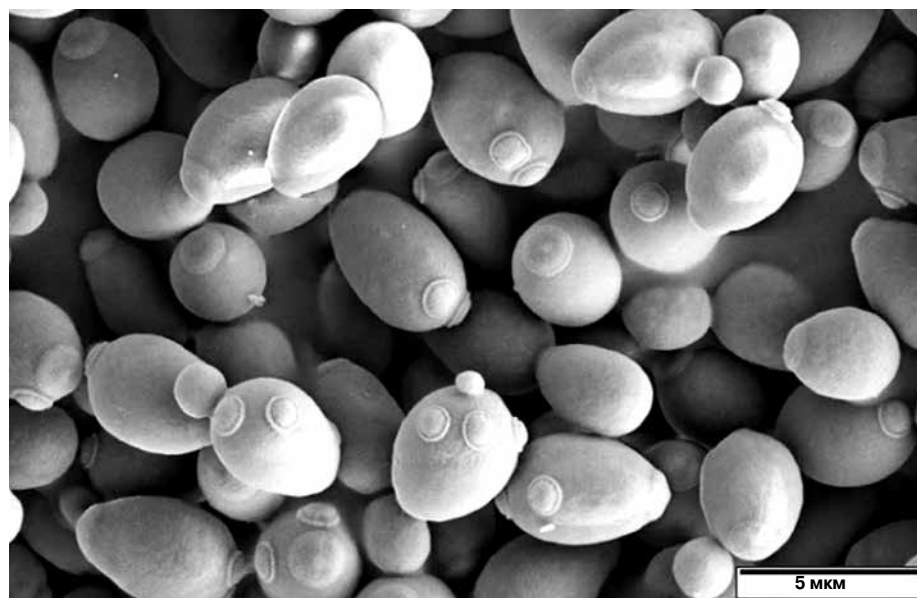
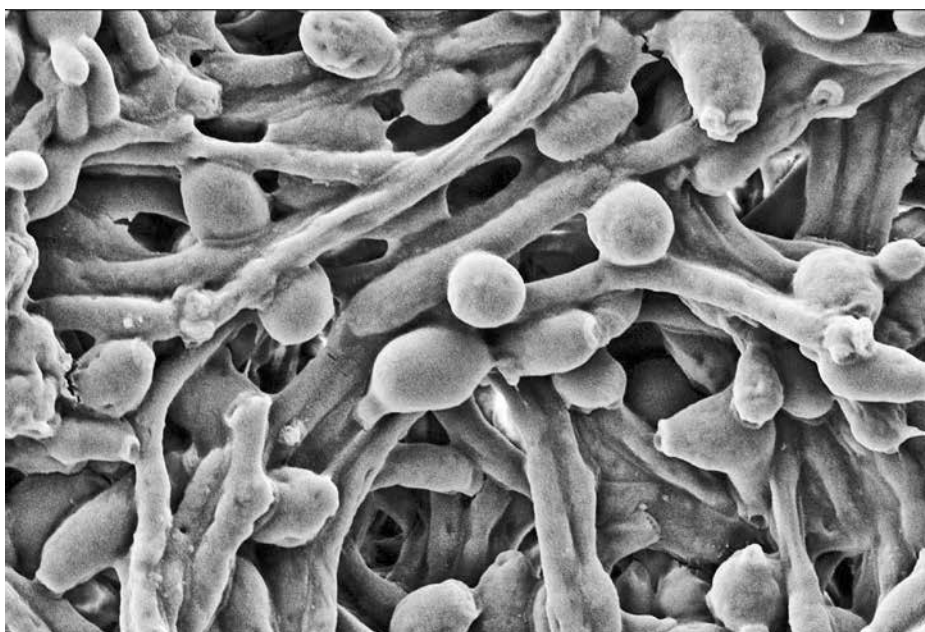
У здоровых взрослых людей грибы в кишечнике не разрастаются. Для процветания дрожжам нужны особые условия, и ученые составили довольно длинный список факторов риска.

Грибковые инфекции поражают маленьких детей. Медики описали несколько больных САПом от одного до трех лет, которые «пьянели» от фруктовых напитков.

Кандиды и сахаромикеты хорошо себя чувствуют, когда иммунная система хозяина ослаблена, а естественный состав кишечной микрофлоры нарушен. Во многих случаях люди, прежде чем заболеть САПом, долго принимали антибиотики: выводили прыщи, лечили травмы. Длительный прием антибиотиков разрушает здоровую микробиоту, освобождая место для патогенов. Пациент доктора Корделл, которого она не смогла вылечить, в детстве перенес не менее десятка курсов антибиотикотерапии.

Для спиртового брожения необходимо сырье. САП часто встречается у пациентов с малой подвижностью или непроходимостью кишечника или с недугами, при которых нарушено всасывание углеводов: болезнью Крона, синдромом раздраженного кишечника, синдромом короткой кишки. Во всех этих случаях съеденные углеводы задерживаются в пищеварительном тракте, предоставляя дрожжам обильный материал для ферментации. Спиртовому брожению способствуют и продукты, богатые крахмалом, сахарами, пищевыми волокнами. Больные САПом, осознавшие, что их проблемы связаны с питанием, радикально меняют диету: предпочитают домашнюю пищу, избегают крахмалистых блюд, пьют меньше кофе и больше воды.

В 2001 году специалисты Оклахомского университета описали тринадцатилетнюю девочку, страдавшую синдромом короткой кишки. Это заболевание возникает, когда значительная часть тонкого кишечника удалена или должным образом не функционирует. Девочка часто бывала сонлива, и от нее пахло алкоголем, концентрация спирта в крови составляла 250–350 мг/л. Ребенка заподозрили в тайном



пьянстве, показывали психиатру и поместили для детоксикации и наблюдения в наркологическую клинику. Там врачи убедились наконец, что пациентка не пьет. Тогда и члены семьи присмотрелись повнимательнее и заметили, что девочка пьянеет после употребления углеводов и сока. Ее отец, сам врач, купил алкотестер и обнаружил жесткую зависимость между повышением концентрации этанола и углеводными трапезами. В кишечнике девочки нашли дрожжи и успешно с ними справились.

И наконец, на проявление синдрома влияют стрессы. Одна из пациенток Барбары Корделл страдала тяжелыми пьяными эпизодами. Концентрация спирита подсакивала до 400 мг/л, женщина не держалась на ногах, часто падала, ломала ребра и нос, повредила

глаз. На следующий день, протрезвев, она не могла вспомнить, что было накануне. Но так бывало лишь в рабочие дни, в выходные больная не суежилась, не нервничала и не пьянела.

Диагностика САПа разработана слабо. Медики советуют обращать внимание на симптомы, которые могут проявляться раньше опьянения: изменения настроения, спутанное сознание, психозы. У больных САПом частый стул, как правило, жидкий, и неприятный запах изо рта, причем не алкогольный, а фруктовый.

Любой человек, арестованный в состоянии алкогольного опьянения и уверяющий, что не пил, должен быть проверен на САП. Для подтверждения диагноза специалисты Ричмондского университета разработали стандартный углеводный тест. Пациенту с утра натощак дают 200 г глюкозы и через



ЗДОРОВЬЕ

определенные промежутки времени измеряют уровень сахара и спирта в крови. При САПе концентрация этанола обычно растет в первые несколько часов. Последние измерения делают спустя 16 и 24 часа, потому что некоторым грибам для превращения углеводов в алкоголь требуются сутки.

Помимо углеводного теста, нужно взять пробы из разных отделов кишечника для поиска патогенных бактерий и грибов, определить их чувствительность к лекарствам, оценить состояние желудочно-кишечного тракта.

Чтобы контролировать свое состояние, пациенты часто используют алкотестер, регистрирующий содержание спирта в выдыхаемом воздухе. Это полезное приспособление при условии, что оно правильно откалибровано. Чтобы прибор оставался точным, его надо калибровать или заменять каждые 30 дней.

Будем надеяться, что скоро у больных не будет необходимости тратить несколько лет на получение правильного диагноза. Но диагностика — лишь полдела, надо лечиться, а это непросто. Одним людям достаточно изменить диету, другим необходимы еще антигрибковые препараты и пробиотики, которые помогают восстановить нормальную микрофлору. По мнению Барбары Корделл, САП может быть хроническим заболеванием, требующим не просто лечения, а изменения образа жизни. Нужно высыпаться, избегать стрессов, делать гимнастику, навсегда отказаться от привычных продуктов: сладкого, алкоголя, арахиса и крахмалистой пищи. К сожалению, некоторым больным не помогает ничего.

Неубиваемые бактерии

Печень обезвреживает алкоголь, алкоголь разрушает печень. Один из недугов, мешающих этому органу выполнять свои функции, — жировая болезнь. Сначала в печени накапливается жир, потом она воспаляется, затем гепатоциты замещаются соединительной



тканью. Жировая болезнь печени может быть алкогольной и неалкогольной. Неалкогольную обычно связывают с ожирением, метаболическим синдромом, инсулиновой резистентностью и изменением кишечной микробиоты. В 2012 году немецкие ученые обнаружили, что в крови непьющих пациентов с неалкогольной жировой болезнью печени уровень спирта выше, чем в крови здоровых людей. Содержание алкоголя зависит от потребления белков и углеводов, в частности сахаров, которых больные едят значительно больше, чем здоровые.

Хотя пациенты с жировой болезнью слегка проспиртованы, диагноз САП им ставят очень редко. Недавно такой субъект, страдающий обоими недугами сразу, попал в поле зрения китайских медиков, описавших эту судьбоносную встречу в октябрьском номере журнала «Cell Metabolism». Больной алкоголя не пил, жирной пищи не ел, соблюдал высокоуглеводную диету, и после сладких газированных напитков концентрация спирта в его крови порой достигала 4000 мг/л. Как обычно в подобных случаях, беднягу подозревали в тайном пьянстве. Врачи попытались вылечить пациента от САПа, однако антигрибковая терапия ему не помогла, и неудивительно, поскольку дрожжей в его стуле не нашли. Возбудителем САПа оказались мутантные бактерии *Klebsiella pneumoniae*, которые в больших количествах синтезируют алкоголь.

K. pneumoniae — патогенная бактерия, живущая в окружающей среде, во рту, на коже, в легких и в кишечнике, иногда в крови. Куда попадет, там и напакостит. Клебсиелла вызывает сепсис, пневмонию, инфекцию мочевыводящих путей, заражение мягких тканей. В синтезе алкоголя она ранее замечена не была, однако среди клебсиелл, выделенных из фекалий пациента, оказались два штамма, которые выдерживают 10%-ную концентрацию спирта. Ученые назвали эти штаммы HiAlc *Kpn*. Они тихо сидят в кишечнике, а получив хорошую порцию глюкозы

или фруктозы, синтезируют этанол, который попадает в кровь и может вызывать жировую болезнь печени. Неалкогольную, поскольку пациент не пьет.

Чтобы подтвердить связь бактерий с болезнью, ученые сравнили *K. pneumoniae* у 43 пациентов с неалкогольной жировой болезнью печени разной степени тяжести и у 48 здоровых людей. У больных клебсиелл в кишечнике было лишь немногим больше, чем у здоровых, однако их алкогольная продуктивность оказалась гораздо выше. Штаммы HiAlc *Kpn* нашли только у трех членов контрольной группы и у 26 больных, в том числе у всех тяжелых. После углеводной трапезы концентрация спирта в их крови превышала 900 мг/л, однако диагноза «САП» этим людям никто не ставил.

Многих пациентов удалось вылечить от жировой болезни, и у большинства из них HiAlc *Kpn* исчезли. Так подтвердилась связь спиртосинтезирующих штаммов и жировой болезни печени. Ученые продолжили исследование на мышах.

Через зонд HiAlc *Kpn* ввели грызунам особую линию, свободной от патогенов. Клебсиеллы прижились, и мыши, поев глюкозы, пьянели. Микробный этанол действовал на печень, и спустя несколько недель в ее клетках засверкали капельки жира и испортились митохондрии, у которых нарушилась целостность мембран, чаще возникали повреждения ДНК, концентрация активных форм кислорода была выше нормы. А скопление активных форм кислорода приводит к перекисному окислению липидов и гибели клеток. Кроме того, усилился синтез некоторых белков, обычно образующихся при алкогольном воздействии на печень.

Короче говоря, HiAlc *Kpn* вызвали у мышей патологические изменения печени, подобные тем, которые вызывает алкоголь. Жирная и сладкая диеты усиливают действие клебсиелл. Штаммы *K. pneumoniae*, выделяющие мало спирта, печень не портят. Другие кишечные бактерии, в том числе кишечная палочка, тоже могут синтезировать этанол, но в количестве, недостаточном для развития болезни.

Эти результаты надо проверять, но если окажется, что данные, полученные на 43 китайцах, можно распространить на все человечество, то примерно 60% случаев неалкогольной жировой болезни печени возникает под действием эндогенного алкоголя, который синтезируют клебсиеллы. Чтобы вылечить болезнь, необходимо избавиться от бактерий. Подтвердить их присутствие может глюкозный или

фруктозный тест, аналогичный тому, который используется при диагностике САПа: у носителя клебсиелл, съевшего углеводы, заметно возрастает уровень алкоголя в крови.

Если зловещая роль *K. pneumoniae* подтвердится, наши дела не очень хороши, потому что эти бактерии бывают устойчивы к лекарствам, вездесущи и чрезвычайно живучи.

Недавно американские исследователи под руководством генерального директора и научного руководителя Института Форсайта Вэньюаня Ши проверили устойчивость микробного сообщества слюны к длительному голоданию. Бактерии помещали либо в солевой буфер, либо в буфер, наполовину разбавленный слюной. Такую среду не назовешь питательной, и в первые же дни численность микробов сократилась в 50–100 раз. Спустя 20 дней жизнеспособность сохраняли только энтеробактерии, к которым относится и *K. pneumoniae*. На 84-й и 100-й день в живых остались лишь *K. pneumoniae* и еще одна энтеробактерия, *Providencia alcalifaciens* — возбудитель кишечных и урогенитальных инфекций. Во время голодания частота мутаций у этих бактерий увеличивается в несколько раз. Мутанты почти не двигают жгутиками, не образуют биопленку, зато активно перерабатывают углеводы. Создается впечатление, что энтеробактерии запасают энергию и готовятся к пассивному сплаву в более кормные места. В ожидании попутного потока жидкости они синтезируют циклические депсипептиды — класс небольших молекул, обладающих антимикробной активностью. Возможно, энтеробактерии используют депсипептиды, чтобы в голодное время убивать соседей, относящихся к другим видам, и использовать их для собственного питания.

K. pneumoniae, способная выдерживать столь длительное голодание, три месяца продержится на влажной поверхности, например на раковине, если на нее попадет слюна. Такие поверхности часто становятся источником всплеск болезненных инфекций клебсиеллы с множественной лекарственной устойчивостью. Причем мутантные бактерии могут передать гены устойчивости соседям. А что, если они их заодно научат и спирт синтезировать?



Результаты: Биохимия



Кандидат биологических наук

О.В. Космачевская

Полидатин останавливает рост раковых клеток

Злокачественная опухоль, или попросту рак, развивается тогда, когда в обычных клетках происходит сбой генетической программы и они начинают бесконтрольно делиться, поражая прилежащие ткани и даже отдаленные органы. На протяжении многих лет ученые ищут способы борьбы с этими обезумевшими клетками. Чтобы победить врага, нужно знать его слабые места. И у раковых клеток такое место есть — это метаболический путь, перерабатывающий основное питательное вещество, глюкозу, в соединения, из которых синтезируются белки, липиды, ДНК.

Глюкоза — пища не только для опухоли, это самая лучшая пища для любой клетки нашего организма. Но в отличие от нормальных клеток, делящихся время от времени или вообще не делящихся, клетки опухоли размножаются с большой скоростью. А для этого им необходим постоянный приток сахара, из которого они извлекают строительный материал, энергию и восстановители (НАДН и НАДФН).

На связь между глюкозой и раком еще в начале XX века обратил внимание немецкий ученый Отто Варбург. Он обнаружил, что раковые клетки получают энергию за счет очень быстрого гликолиза — расщепления глюкозы без участия кислорода. Часть глюкозы направляется по альтернативному пути — пентозофосфатному циклу, в котором образуется НАДФН и материал для синтеза ДНК. НАДФН — это донор электронов, универсальный восстановитель в клетке. Многие ферменты используют его для синтеза. Главные потребители НАДФН — антиоксидантные ферменты, устраняющие активные формы кислорода. Производится этот восстановитель в реакции, катализируемой ферментом глюкозо-6-фосфатдегидрогеназой, сокращенно — Г6ФД. Без этого фермента клетки не смогут синтезировать нуклеиновые кислоты и бороться с окислительным стрессом. Если они и не погибнут, то быстро расти и делиться точно не смогут. Было замечено, что количество Г6ФД повышается при раке мочевого пузыря, молочной железы, эндометрия,

пищевода, предстательной железы, желудка, почки, печени, шейки матки, легких, яичников, а также при глиобластоме и лейкемии. Осталось только найти нетоксичные блокаторы зловредного фермента.

И такое вещество было найдено, им оказался глюкозид ресвератрола — полидатин, который давно использовали в лечебных целях. Содержится полидатин в китайском лекарственном растении *Polygonum cuspidatum*. Итальянские ученые с кафедры экспериментальной медицины Университета Компани «Луиджи Ванвителли» (Неаполь, Италия) проверили, может ли оно быть полезным в борьбе с раком. На экспериментальной модели раковой опухоли языка полидатин в концентрации 100 мг/кг тормозил развитие опухоли и образование метастазов. Исследователи предположили, что этот эффект вызван накоплением активных форм кислорода, которые запускают программу гибели клетки.

По данным клинических исследований, пациенты хорошо переносят полидатин, его лечебная доза существенно ниже токсичной. Кроме того, это вещество активно проникает в клетку.

Это исследование внушает надежду, что убить раковые клетки можно не только воздействуя на геном, но и внося помехи в метаболические пути, перерабатывающие глюкозу. («Cell Death Dis», 2018, 9, 572).

Миоглобин защищает от рака

Миоглобин — гемосодержащий белок, похожий на гемоглобин эритроцитов. Так же, как и гемоглобин, миоглобин связывает кислород. Содержится он в высоких концентрациях в сердечных и скелетных мышцах, где служит хранилищем кислорода на случай его острой нехватки, то есть гипоксии. На удивление ученых, этот белок обнаружили во многих высокоагрессивных опухолях молочной железы, яичника, толстой кишки, легких. Было непонятно, для чего он в них синтезируется в низких концентрациях, недостаточных для запасаения кислорода.

Ученые из восьми исследовательских организаций Питтсбурга (штат Пенсильвания, США) изучили роль миоглобина в развитии рака молочной железы. Исследование проводили на мышцах с перевиваемой опухолью. Опухоли с миоглобином росли медленнее, чем безмиоглобиновые.

Кстати, у пациентов с миоглобиновой опухолью шансы на выздоровление были выше. Оказалось, миоглобин запускает сигнальный путь в клетках, останавливающий их рост. Делает он это за счет реакции с перекисью водорода, в которой образуются активные формы кислорода. Именно они служат сигналом для активации белков-митофузинов, вызывающих слияние митохондрий и в конце концов прекращение роста. При изучении тканей опухоли молочной железы человека исследователи установили положительную причинно-следственную связь между синтезом миоглобина и активностью митофузинов.

Митохондрии — внутриклеточные структуры (органеллы), которые выполняют функцию энергетических станций, вырабатывающих энергию в виде АТФ. От здоровья митохондрий зависит судьба клетки. Жизнь митохондрий протекает в режиме цикла деления и слияния. Делают они это для того, чтобы приспособиться к изменению концентрации питательных веществ: в состоянии сытости — разделяются, в состоянии голода — сливаются. Слитые митохондрии не могут пройти контроль качества, поэтому накапливаются внутри клетки. Загрязненная испорченными митохондриями клетка не может делиться и погибает.

Миоглобин восстанавливает перекись водорода не потому, что он должен это делать, а потому, что он может это делать. Виной всему гемовая группа, которая катализирует эту реакцию. Только в отличие от настоящих пероксидаз, работающих чисто, миоглобин производит активные формы кислорода, которые вредны для клетки. Эта работа американских исследователей показывает, как организм может приспособить нежелательные лишние реакции для своих нужд. («*Journal of Biological Chemistry*», 2019, 294, 18)

Спокойный мозг — долгая жизнь

Старение — досадное недоразумение. И даже если привести доводы о пользе старения для развития человечества и эволюции жизни на Земле, чувство досады все равно не исчезнет. Попытки затормозить старение предпринимали с незапамятных времен. Сейчас мы знаем, что отсрочить его могут антиоксиданты, физическая активность, ограниченное употребление сладкого или небольшой голод. И это далеко не все. Оказалось, на продолжительность жизни влияет даже характер человека, ход его мыслей, поведение.

В экспериментах, проведенных исследователями из Гарвардской медицинской школы на донорских тканях мозга человека, мышцах и червях, впервые было показано, что перевозбуждение в нервной системе сокращает жизнь, а спокойствие — продлевает. Ученые проанализировали работу генов и состав белков в тканях мозга людей разных возрастных групп. Оказалось, у долгожителей активность генов, связанных с нервным возбуждением, понижена. В свою очередь, гены регулируются специальными белками, которые определяют, какие из них должны работать, а какие молчать. Один из таких регуляторов — белок REST, подавляющий избыточную активность нейронов мозга. Мыши с дефицитом REST испытывали повышенную возбудимость нейронов. Также на утрату подобных белков реагировали черви *Caenorhabditis elegans* — излюбленный объект ученых-геронтологов. Во всех экспериментах повышенное нервное возбуждение уменьшало продолжительность жизни. Интересным оказался тот факт, что белок REST активирует древние пути регуляции генов, связанные с долголетием. Причем эти пути сходны у червей, мышей и человека.

Воздействуя специальными веществами на возбуждающие нейроны *C. elegans*, удалось значительно продлить жизнь червям. Это вселило в ученых надежду, что, если будет найден способ снижения перевозбуждения в человеческом мозге, появится еще одна возможность замедлить наступле-

ние старости. Просто нужно найти вещество, активирующее белок REST.

Пока такого вещества нет, можно попытаться обуздать свои эмоции, разгрузить мозг, изменить его ритмы. В этом помогут занятия йогой, медитациями, спортом. И конечно, мозг нужно не только успокаивать, но и тренировать, например решая разные интеллектуальные задачи. Тогда удастся не только продлить жизнь, но и сохранить когнитивные навыки в пожилом возрасте. («*Nature*», 2019, 574, 359–364)

Найден биомаркер шизофрении

Шизофрения (расщепление рассудка) — одно из самых тяжелых психических заболеваний, сопровождающееся галлюцинациями, бредом, расстройством мышления, двигательными нарушениями. Этим заболеванием страдает примерно 0,6% населения планеты. Причины возникновения шизофрении до сих пор неизвестны. Как и многие болезни, шизофрения — результат взаимодействия генов и экологических факторов. Согласно одной из теорий, причина кроется в нарушении развития мозга плода, вызванном либо генетическими отклонениями, либо факторами окружающей среды. Например, спровоцировать осложнения могут вирусные заболевания у матери в период беременности.

В Центре исследования мозга RIKEN (Вако, Сайтама, Япония) провели эксперименты на мышах двух типов: нормальных и склонных к шизофрении. Склонность к шизофрении определяли с помощью специального теста. Мышей сажали в так называемые «камеры испуга», оборудованные детекторами движения. У подопытных животных измеряли преимпульсное ингибирование — насколько снижалась реакция вздрагивания на сильный резкий звуковой сигнал при наличии слабого предварительного сигнала. У здоровых животных преимпульсное ингибирование возрастает, а у больных, наоборот, снижается.

Затем ученые исследовали белковый состав мозга здоровых и больных мышей. Оказалось, что у склонных к шизофрении животных повышено содержание белка Mprst (3-меркаптопируватсульфуртрансферазы), производящего сероводород (H_2S) и полисульфиды. В образцах мозга умерших больных были обнаружены высокие концентрации H_2S . Это означает, что больные испытывают сульфидный стресс. Чтобы быть уверенными в том, что Mprst действительно виновник болезни, исследователи создали мышей с неработающим геном этого белка. Преимпульсное ингибирование у таких животных повышалось, они становились более нормальными.

Исследование волосных фолликул у 150 человек с шизофренией подтвердило результаты экспериментов: у больных содержание Mprst было намного выше. По мнению ученых, определение Mprst в волосах может быть быстрым способом диагностики шизофрении на ранних стадиях, еще до проявления клинических симптомов. Чем раньше начнется лечение, тем больше шансов отсрочить или даже предотвратить болезнь.

Правда, пока не совсем понятна причинно-следственная связь между H_2S и шизофренией. Ученые решили, что высокое содержание белка Mprst и сульфидный стресс — это следствие пережитого мозгом окислительного стресса еще в период внутриутробного развития организма. Окислительный стресс меняет программу работы генов, иными словами, изменяет эпигенетическую программу. Последствия такого перекодирования могут проявиться в будущем в виде психотических симптомов. Причем стрессовое состояние может передавать материнский организм через активированную иммунную систему при воспалении. («*EMBO Molecular Medicine*», 2019)

Белок, провоцирующий возникновение атеросклероза

Атеросклероз — хроническое заболевание сосудов, при котором на них откладываются липиды и холестериновые бляшки. Из-за этого просвет сосудов сужается, проходимость крови уменьшается. Закупорка сосудов приводит к возникновению инфарктов и инсультов. Поэтому ученые на протяжении нескольких десятилетий ищут способы, как предотвратить развитие этого недуга на ранней стадии.

Команда исследователей из Университета Шеффилда (Великобритания) обнаружила белок, названный TRIB1, который провоцирует появление атеросклероза. Этот белок образуется в макрофагах — клетках-мусорщиках, которые патрулируют наши кровеносные сосуды в поисках чужеродных или вредных для организма частиц: бактерий, остатков разрушенных клеток, белков и т. д. Когда они обнаруживают липидные пятна на стенках артерий, то устремляются к ним, намереваясь их поглотить. Однако не все виды холестерина макрофагам по зубам. Нагруженные «плохим» холестерином

клетки-мусорщики раздуваются и превращаются в пенные клетки. К ним устремляются новые полчища макрофагов, которые после напрасных попыток справиться с жировыми отложениями наполняются холестерином и умирают. На месте погибших пенных клеток формируется атеросклеротическая бляшка. Ученые показали, что способность пенных клеток поглощать холестерин зависит от количества белка TRIB1. Чем больше в макрофагах этого белка, тем больше холестерина они поглощают.

По данным исследования генетики большой популяции людей, страдающих сердечно-сосудистыми заболеваниями, TRIB1 способствует прогрессированию атеросклероза. Пагубную роль TRIB1 также исследовали на мышах, служивших моделью раннего атеросклероза человека. Испытуемые животные с высоким содержанием этого белка были предположены к ишемической болезни сердца.

Это исследование показывает, что, если удастся заблокировать ген белка TRIB1 в макрофагах, можно будет предотвратить формирование атеросклеротической бляшки. (*bioRxiv, 2019, 615872*).

!!! ПОДПИСКА !!!



Художник Н. Крацін

Стоимость подписки
на первое полугодие 2020 года

Бумажная версия с доставкой простым письмом
по территории РФ: 1320 рублей

Электронная версия: 420 рублей

**Подписку можно оплатить банковской картой
в нашем редакционном киоске на www.hij.ru**

Справки по телефону (495) 722-09-46
(с 11.00 до 18.00, вторник — четверг)
или по электронной почте redaktor@hij.ru

*Если вы хотите подарить наш журнал
вашей любимой библиотеке, не отказывайте себе
в удовольствии — это можно сделать
на сайте biblio.planeta.ru*

Не забудьте сообщить адрес доставки журнала



Пластичность всего живого

Кандидат биологических наук
Т.Н. Виноградова

ДНК любят сравнивать с чертежом, согласно которому формируется и развивается живой организм. Сравнение хорошее, но слишком механистическое: яйцеклетка представляется аналогом кибернетического зародыша из научной фантастики, который по командам хитроумных программ вырастает в стандартную марсианскую лабораторию или летательный аппарат. На самом деле эти программы настолько хитроумны, что результат их работы заранее неизвестен. У растущего организма всегда есть хоть и ограниченный, но выбор.

Никого из нас не удивляет, что рассада, выращенная в горшочках на окне, чуть-чуть неодинаковая: одни растения немного крупнее, и у них разворачивается уже третий лист, другие слегка отстают. Мало ли почему! Может, они не вполне идентичны генетически, а может, те, что послабее, стоят ближе к щели, из которой дует холодный воздух. Есть много причин для того, чтобы похожие организмы развивались разными темпами. Для биолога же это явление — выражение пластичности некоторых признаков, которая позволяет организмам и популяции в целом подстраиваться под изменчивые условия среды. Каждый организм способен менять скорость развития в определенных пределах (норма реакции), причем границы нормы неодинаковы у различных особей. Вроде все просто?

Тридцать лет назад Алексей Сергеевич Северцов в книге «Направленность эволюции» описал серию опытов с головастиками двух видов лягушки — травяной и съедобной. В одном из опытов головастики травяной лягушки, взятых из одной кладки и находящихся на одной стадии развития, разделили на четыре группы по размеру и создали в аквариумах круговое течение. Головастики, которые в природных водоемах двигаются только по необходимости, теперь были вынуждены непрерывно противостоять этому течению. Хотя оно и не было быстрым — около сантиметра в секунду, — зато действовало постоянно, и головастики погибало больше, чем обычно.

Можно было ожидать, что тяжелее всего придется самым мелким головастикам, ведь они слабее остальных. Ожидалось также, что высокой окажется смертность в группе самых круп-

ных, ведь они много ресурсов расходуют на собственно рост. Иначе говоря, предполагалось, что в условиях эксперимента будет смоделирован стабилизирующий отбор, отсекающий особей с крайними значениями признака (в данном случае с крайними значениями скорости роста). Однако получилось совсем другое: смертность оказалась одинаковой во всех группах. Кроме того, выжившие головастики за время опыта выросли почти так же, как их братья и сестры в контрольных группах. То есть никаких «им стало плохо, и они перестали расти» не наблюдалось.

Поразительно, правда?

Значит, отбор шел не по темпам роста как таковым. Какие же головастики избежали гибели? Какими качествами они обладали? Какой, собственно, признак подвергся отбору? Может, выживают не те, чья скорость обмена веществ лучше подошла к условиям среды, а те, кто лучше могут этот обмен перестраивать?

Чтобы это проверить, пришлось взять головастиков другой лягушки, съедобной: они развиваются медленнее, и это давало возможность тоньше отследить происходящее. К тому же и скорость течения в этом опыте исследователи сделали ниже, всего пять миллиметров в секунду.

И вуаля: увеличение смертности при физических нагрузках сопровождалось не уменьшением, а увеличением разнообразия по скорости роста. Головастики не реагировали одинаково. Одни росли медленнее, другие быстрее! Как это часто бывает, действительность оказалась сложнее наших представлений о ней.

А при чем тут орхидеи?



Фото: Arthur T. LaBar

Calypso bulbosa



В МОРЕ И НА СУШЕ

Примерно в эти же годы я проводила длительные наблюдения за популяцией калипсо луковичной (*Calypso bulbosa*) на Беломорской биостанции МГУ. Зима 1986/87 годов оказалась малоснежная, почти онегинская: «снег выпал только в январе», и это при беломорских ранних морозах! Неудивительно, что летом 1987 года я обнаружила на площадке всего сорок семь растений калипсо из закартированных ста двадцати одного экземпляра. У калипсо только один зеленый лист, причем отмирает он в августе, и примерно тогда же (чуть раньше отмирания листа прошедшего года) разворачивается лист следующего побега, с которым растение затем зимует. В августе же 1987 года отмирание листьев произошло чуть раньше, а разворачивание новых задерживалось. Однако те из выживших растений, у которых новый лист уже развернулся, продемонстрировали просто-таки полное отсутствие единодушия: у одних он оказался меньше прошлогоднего (ожидаемо), у других остался такого же размера, но у нескольких растений новый лист был крупнее и с большим числом жилок!

Вообще-то сравнивать итоги такого «ненормального» года следует с «нормальным». Но в том-то и дело, что и в «нормальные» годы именно это и происходит: часть растений с возрастом становится крупнее, какая-то часть временно «отступает назад», вырастает мельче, чем в предыдущем году, — чтобы наверстать потери год спустя. Конечно, можно было ожидать, что стресс подействует на все растения примерно одинаково и они все окажутся ослабленными; что будет больше растений, которые стали мельче или, по крайней мере, остались в прежней размерной группе.

Уже то, что сохранилась более или менее нормальная картина индивидуальных изменений, было удивительно. Но оказалось, что последствия бесснежной зимы растянулись на несколько лет.

На следующий год произошло невероятное. Из сорока семи растений сохранились тридцать. Но площадка не опустела! Теперь здесь зеленело больше двухсот растений. Пятнадцать из появившихся «новеньких» при ближайшем рассмотрении оказались теми, которых не удалось найти в прошлом году, еще двенадцать возникли путем вегетативного размножения, когда у растения вместо одной почки возобновления развиваются две. Одиннадцать оказались ювенильными растениями: у них оставался протокорм (эмбриональный клубенек) у основания стебля, и это говорило о том, что они совсем недавно выросли из семян. А остальные, сто сорок один экземпляр, вынырнули, как чертики из коробочки, на тех местах, где их не было, вполне взрослые, без остатков протокорма!

В наше время уже никто не верит в то, что в кувшине с зерном, перемешанным с тряпками, могут возникнуть путем самозарождения мыши, причем сразу половозрелые. Внезапное появление на площадке без малого полтора сотен взрослых растений выглядело почти анекдотом. Большинство были некрупными. Тем не менее некоторая их часть зацвела и дала семена.

К 1994 году от вынырнувших из ниоткуда растений не осталось и следа, хотя двадцать из тех самых сорока семи по-прежнему были живы и благополучно цвели. Популяция к этому времени полностью восстановила свою численность, и «пришельцы» наверняка сыграли в этом не последнюю роль.

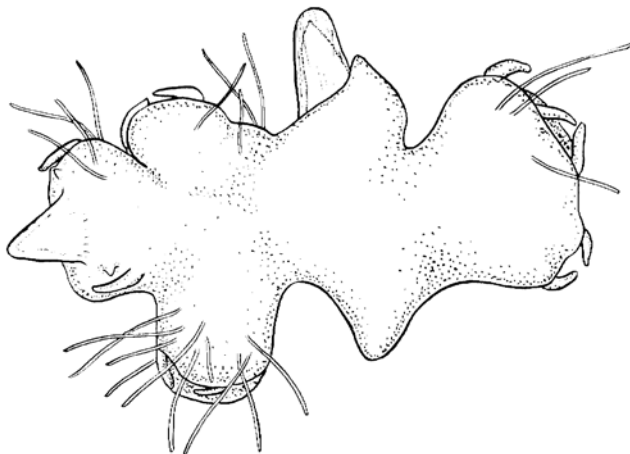
И все же откуда они взялись? Может, это были сенильные растения, «пенсионеры», скрытые в толще мха и уже не разворачивающие листьев? Такие растения после воздействия холодом могли сделать последнее в своей жизни усилие. Это единственное объяснение, которое приходит в голову, но все равно остается ощущение неудовлетворенности: даже если сенильные экземпляры накапливались в популяции несколько лет, неужели их численность может быть сопоставима с численностью остальной части популяции?

В любом случае пластичность онтогенеза и здесь, как в экспериментах с головастиками, оказалась налицо. А когда у таких непохожих объектов обнаруживаются совпадения в закономерностях — это очень вдохновляет.

Калипсо преподнесла и еще одна загадку, в конце концов тоже приведшую к мысли о пластичности онтогенеза. Еще в 1818 году Осип Либошиц и Карл Триниус в книге с замечательным длинным названием «Флора Санкт-Петербургская и Московская, или Описание растений, находящихся в окрестностях обеих столиц Российской империи: Для любителей ботаники и садов, для докторов, аптекарей, содержателей фабрик, красильщиков, экономов и проч.» сообщили, что у цветущего экземпляра калипсо «овальный желвак (то есть утолщенный побег, псевдобульба — *Примеч. автора*), переменяемый с каждым годом», соединен иногда с одним или двумя мясистыми желваками, «дланеобразными» или подоб-



Фото и рисунок автора



Взрослый экземпляр калипсо с дланевидным корневищем (внизу)

ными кораллам. Либошиц и Триниус предположили, что эти желваки скорее всего предназначены для запасаания «сока» (питательных веществ).

Более чем сто лет спустя, в 1924 году, американский ботаник Генри Мозли отметил, что такие корневища встречаются не только у очень молодых, но и у генеративных экземпляров, и чаще у растений, которые приурочены к сгнившим пням и лежащим стволам. И хотя ни текст двух статей Мозли о калипсо, ни приводимые им фотографии не давали основания предполагать, что с помощью коралловидных корневищ возможно вегетативное размножение, впоследствии многие авторы именно ему приписывали это утверждение, которое таким образом закрепилось в литературе и стало мифом. Самих же этих корневищ с тех пор и до 1985 года обнаружить не удавалось.

А в 1985 году на Беломорской биостанции МГУ студенты расчищали ЛЭП и нашли в вырубаемых зарослях сто пятьдесят растений калипсо. Конечно же растения из Красной книги решено было перенести в лес, и конечно же нельзя было не воспользоваться случаем внимательно рассмотреть их и обмерить подземную часть. Работой руководил Владимир Романович Филин.

И вот тут повезло. У пятнадцати экземпляров обнаружилось те самые таинственные «коралловидные корневища».

Немного позже возникла догадка, что «коралловидные корневища» имеют какое-то отношение к протокормам и подземным проросткам калипсо, но этих протокормов в то время никто еще не видел (история с «самозарождением» калипсо произошла позже). К тому же «коралловидные корневища» были у взрослых растений, иногда даже цветущих, тогда как гораздо меньшие растения их не имели.

Оставалось одно — искать то, не знаю что.

Как ни странно, три года спустя оно было найдено: 11 юных подземных экземпляров калипсо, начиная от самых крохотных протокормов и заканчивая растениями, уже почти готовыми к выходу на поверхность, а также два растения с первым надземным побегом и зеленым миниатюрным листочком. И вот тогда-то стало ясно, что «коралловидные корневища» — это подземные ювенильные растения калипсо, но только очень большие. И, значит, их крупный побег с зеленым листом «взрослого» размера, а иногда и с цветком — точно такой же первый в жизни надземный побег растения, как и у гораздо меньших ювенильных собратьев.

Это означало, что в одних случаях молодые растения могут выходить на поверхность и переходить к фотосинтезу очень быстро, в других — задерживаются под землей по крайней мере на год, отрачивают более крупную подземную систему побегов, заселенных грибами, зато позже они способны развернуть над поверхностью земли гораздо более крупный лист, а иногда даже зацвести в тот же год.

И та, и другая стратегии имеют преимущества. В первом случае молодое растение меньше зависит от симбиоза с грибом, ведь успех питания гриба напрямую связан с конкретными условиями сезона, даже теми, которые создаются микрорельефом: влажностью и температурой. Во втором случае растение, вышедшее на поверхность и тем самым переживающее смену условий, лучше к этому готово: у него накоплены гораздо большие запасы.

Правда, в популяции растения гораздо более генетически разнообразны, чем даже головастики из одной кладки. Выяснить, какая роль в этом выборе принадлежит индивидуальной изменчивости, а какая — реакции на условия среды, попросту невозможно. И все-таки: ведь до беломорской находки были и другие исследователи, искавшие «коралловидные корневища», и им повезло меньше. Значит, этот, второй способ развития встречается не просто редко, а нерегулярно, не каждый год, следовательно, влияние условий среды достаточно велико.



Пальчатокоренник пятнистый. Справа — стадии его развития (рисунок автора)

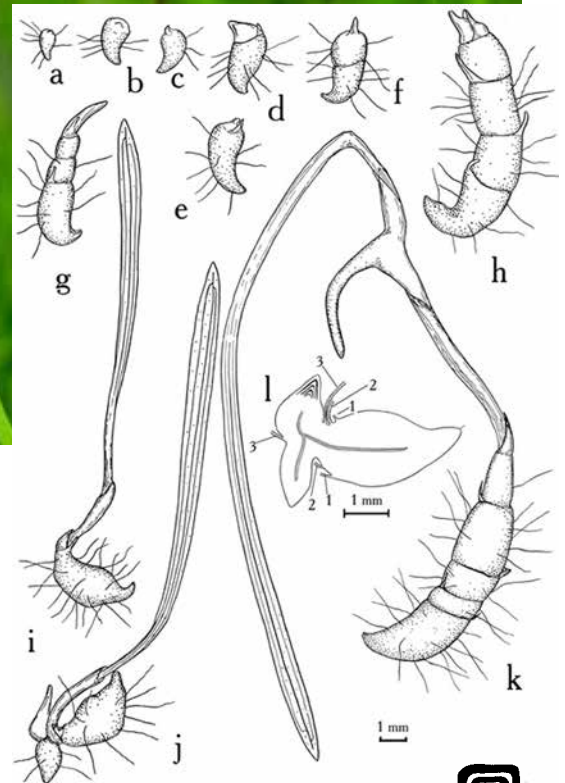
Тогда же и там же, на Беломорской биостанции, я искала и подземные растения другого вида, пальчатокоренника пятнистого *Dactylorhiza maculata*. Это было намного проще: пальчатокоренник встречается почти повсеместно, и популяции его многочисленны.

Вначале казалось, что в его развитии отсутствует логика. У одних растений на верхушке протокорма закладывалась почка, из которой появлялся крохотный надземный побег с узеньким, в один-два миллиметра, листом; у других подземлей развивался побег из нескольких междоузлий с чешуевидными листьями и волосками на поверхности, игравшими ту же роль, что и корневые волоски, — то есть поглощение воды и установление контакта с грибами. Число этих междоузлий было различным: чаще — несколько, но иногда одно, а после — сразу надземный побег. Хаос!

И лишь после того, как несколько сот растений, прорисованных и измеренных, были разнесены на группы, оказалось, что и в этом хаосе есть порядок.

Если отбросить подробности, которые так любят морфологи вроде меня, оказалось, что ювенильные пальчатокоренники тоже могут реализовывать одну из двух возможностей. Из верхушечной почки протокорма развивался или неутолщенный побег без грибов, но с зеленым листом, — или утолщенный подземный побег из нескольких междоузлий, кора которого была заселена грибами; в этом случае зеленый лист появлялся позже и был крупнее. В течение всех четырех лет исследования тех и других растений было примерно поровну.

Впечатление хаоса создавали промежуточные варианты. Например, первое междоузлие могло быть заселено грибами, но дальше вырастал надземный побег. Оказалось, что таких



В МОРЕ И НА СУШЕ

промежуточных экземпляров очень мало. У растений словно срабатывал переключатель: развиваться так либо иначе, а перестройка «на ходу» оказывалась возможной, но редкой. Кроме того, было замечено, что те экземпляры, которые шли по второму пути, изначально залегали глубже. Может, это и послужило причиной «переключения»? Но что важно, и здесь оказались возможными две стратегии и выбор между ними!

Сбор материала в природе очень сильно отличается от строгих условий эксперимента. И тем приятнее, когда наблюдения в естественной среде дополняют и подтверждают выводы экспериментаторов. Во всяком случае, пластичность онтогенеза — замечательный механизм, позволяющий приспособляться к изменчивым условиям среды как отдельным особям, так и популяции в целом.



Кошколап черно-белый

Ольга Нестеренко

Именно так переводится на русский научное название этого животного — *Ailuropoda melanoleuca*. Большие панды, или бамбуковые медведи, покорили весь мир своим обаянием и необычной внешностью: у них причудливая окраска — белое туловище, черные лапы, уши и «очки» вокруг глаз; а большая круглая голова делает их похожими на живые игрушки. Но интересны они еще и тем, что задали много загадок ученым, и не все эти загадки разгаданы даже сегодня.

Таинственный китайский медведь

Удивительна сама история открытия большой панды западной наукой. Дело в том, что до второй половины XIX века европейцы не знали о существовании этих животных. Лишь в 1869 году французский миссионер и любитель зоологии Арман Давид во время своего путешествия по уезду Баосин китайской провинции Сычуань увидел в одном доме то ли изображение, то ли шкуру непонятного черно-белого животного. Арман Давид нанял 20 охотников, чтобы они добыли ему этого зверя. Охотники поймали панду, но убили ее для удобства перевозки. Потом ему все-таки добыли медвежонка, однако и его Давид не смог довести живым.

После этого долгое время поймать большую панду европейцам не удавалось. Уже в XX веке, в 1916 году, немец Гуго Вайгольд купил медвежонка панды. А в Америку первая живая большая панда попала только в 1936 году. Зоолог Рут Харкнесс доставила трехмесячного медвежонка в зоопарк Чикаго, при этом везла его не в клетке, а на руках. К сожалению, через два года он умер от пневмонии. Но после этого большие панды стали широко известны во всем мире.

Удивительно, что китайцам так долго удавалось скрывать панду от западных стран, хотя после Марко Поло в Китае побывало множество иностранцев, а сам Китай вел активную торговлю со многими странами, например с Англией и Россией. И еще одна странность: китайские художники и мастера с древних времен изобра-



Скелет лапы панды с дополнительным «пальцем»

жали и медведей других видов, и бамбук, а вот изображения бамбукового медведя ранее XX века не известны. Хотя в письменных источниках встречаются упоминания о животных, которые могут быть большими пандами. Например, во времена империи Западная Цзинь (265–316) большую панду, видимо, называли «цзоулюй» (麴虞). Они считались очень миролюбивыми животными, если во время боя одна из сторон поднимала флаг с иероглифами 麴虞, это означало, что она сдаётся и просит перемирия. В японских исторических документах есть упоминание, что императрица У Цзэтянь (624–705) подарила японскому императору двух живых панд и шкуры 70 особей. Это говорит о том, что на панд активно охотились, а их мех был дорогим подарком, достойным императоров.

Медведь, енот и снова медведь

Сразу же после своего открытия большая панда поставила в тупик ученых: они никак не могли определить, к какому семейству следует отнести это животное — к медвежьим или енотовым. Французский зоолог Альфонс Мильн-Эдвардс изучил привезенные Давидом челюсти и скелет и предположил, что это странное существо должно занимать промежуточное положение между медведями и малой (красной) пандой *Ailurus fulgens*. Был период, когда сходство с медведями считали конвергентным (то есть возникшим в ходе эволюции независимо у разных ветвей животных) и помещали большую панду в семейство енотов. Именно такой вывод сделал известный американский зоолог и палеонтолог Уильям Грегори в своей



Фото автора

Панда Жуи из Московского зоопарка

обширной работе 1936 года, сравнив и изучив череп, зубы и другие анатомические признаки енотов, панд и медведей.

В течение нескольких десятилетий после этого одним из любимых вопросов ловушек для юных натуралистов был: «К какому семейству относится бамбуковый медведь?», и хороший юннат отвечал: «К енотовым». Но в дальнейшем появились работы, где доказывалось, что сходство с медведями все же больше, а сходство с маленькими пандами скорее конвергентное. Такое мнение высказывал австрийский палеонтолог Эрих Тенниус еще в конце 1970-х годов; он также отметил, что ветвь,

приведшая к появлению больших панд, отделилась от основной ветви, ведущей к современным медвежьи, не позднее 12 млн лет назад. Тенниус считал, что, хотя большие панды близки к медвежьи, их нужно выделить в собственное семейство.

Молекулярно-генетические исследования в конце XX века решили вопрос в пользу медведей: сейчас большая панда является частью семейства медвежьи. Предки панды отделились от предков других современных медведей около 19 млн лет назад (это установлено в работе немецких и американских ученых 2008 года, опубликованной в журнале «*VMC Evolutionary Biology*») и равно удалены от всех других сохранившихся видов семейства. Как родственники давно вымерших медведей — агриотериев, большие панды могут считаться живыми ископаемыми.

Панда и бамбук

Другое название большой панды — бамбуковый медведь. Действительно, бамбук составляет около 95% рациона этого вида, хотя они могут поедать в незначительном количестве плоды, ягоды, птичьи яйца, даже мелких грызунов и рыб, если сумеют их добыть. И это еще одна загадка — почему панды перешли от всеядности, характерной для большей части видов медвежьи, к питанию бамбуками.

Анатомические особенности вымерших предков большой панды позволили предположить, что они долгое время оставались всеядными. Так, плотоядной или всеядной считается древняя панда *Ailurarctos lufengensis*, жившая в конце миоцена (около 8 млн лет назад). В новейшем исследовании, опубликованном в журнале «*Current Biology*» в январе 2019 года, ученые провели изотопный анализ костей и зубов современных и древних панд, чтобы сравнить соотношение легких и тяжелых изотопов азота,



Новорожденная панда

Alexey | Flickr.com



ЗЕМЛЯ И ЕЕ ОБИТАТЕЛИ

углерода и кислорода. По соотношению этих изотопов можно понять, чем питалось животное, было ли оно плотоядным или травоядным и даже какие растения предпочитало. Выяснилось, что около 2,6 миллиона лет назад древние панды уже были вегетарианцами, но поедали разные растения; очевидно, их экологическая ниша была существенно шире. А их потомки стали питаться в основном бамбуком не в плейстоцене, как считалось до этого исследования, а в середине голоцена или позднее, то есть лишь около 5000 лет назад.

А вот почему панды переключились на питание низкокалорийными деревянными трубками с листочками — пока неизвестно, хотя на этот счет существуют разные гипотезы (например, нехватка другой пищи в ареале вида). У больших панд есть замечательные приспособления к питанию бамбуком: коренные зубы и премоляры, более плоские, чем у других медведей, с обширными выступами, чтобы размалывать жесткую пищу; так называемый шестой палец, который образовался из кости запястья, и голые подушечки на подошвах и в основании пальцев — для удержания стеблей; мощные челюстные мышцы (они-то и делают морду панды круглой и милой); наконец, пищевод и желудок, выстланные толстым слоем упругой слизистой ткани, который защищает от повреждений щепками. (О мутациях, которые обеспечили эти приспособления, рассказывается в статье Натальи Резник, см. «Химию и жизнь», 2017, 6.)

При этом пищеварительная система панд в целом осталось такой же, как у их хищных предков, и она плохо приспособлена к перевариванию растительной пищи. Желудок панды простой, а не сложный, кишечник короткий. Поэтому они получают мало энергии и белка при переваривании бамбука. Кстати, способность переваривать целлюлозу приписывается микробам, живущим в кишечнике панд. Новорожденные детеныши получают бактерии из фекалий своей матери. Есть идея использовать фекальную микрофлору панды для производства биотоплива из травы, древесной щепы и отходов растениеводства. Одна из работ в этой области получила Игнобелевскую премию 2009 года (см. «Химию и жизнь»,

2009, 11), но идея не стала от этого хуже: смешные научные исследования — обязательно глупые.

Панды питаются любыми из доступных им 25 видов бамбуков. Но они усваивают только примерно 17% съеденной растительной массы, поэтому едят его очень много — среднестатистическая большая панда съедает 9–14 кг (и даже иногда до 30 кг) побегов бамбука в день. Необходимость экономить скудную энергию повлияла и на поведение панд. Им приходится быть «ленивыми», они стараются ограничивать свои социальные взаимодействия, избегают перемещений по крутым склонам. Еда у них отнимает много времени, примерно по 14–15 часов каждый день.

Жизнь в горах

Большая панда — самое узнаваемое животное Китая и призёр Книги рекордов Гиннесса в номинации «самое симпатичное животное планеты». В их черно-белой окраске некоторые видят олицетворение концепции Инь-Ян. Большая панда была выбрана символом Всемирного фонда дикой природы (WWF). И не какая-то абстрактная панда, а конкретная самочка по имени Чи-Чи, привезенная в Лондонский зоопарк в 1961 году. Ее увидел один из основателей WWF, ученый и художник-анималист сэр Питер Скотт, и решил, что изображение именно этого редкого, красивого и нуждающегося в охране животного станет удачным символом фонда, который был основан в том же 1961-м. К тому же черно-белое изображение дешевле тиражировать.

Но мало кто знает, что панды необязательно белые с черным. В настоящее время выделяют два подвида больших панд. Один из них хорошо известен — черно-белая панда *Ailuropoda melanoleuca melanoleuca*, а второй называют бурой пандой, или коричневой, или цинлинской (*Ailuropoda melanoleuca qinlingensis*). Бурые панды (точнее, бурые с белым) были обнаружены еще в 1960 году, но долгое время считались просто цветовой формой, встречающейся в цинлинской популяции. Однако через 45 лет после ее обнаружения коричневую панду выделили в отдельный подвид на основе различий в черепных измерениях, окраске и данных популяционной генетики. Бурая панда распространена в ограниченной области — в горах Циньлин провинции Шэньси. А недавно, в апреле 2019 года, в заповеднике Вэньчуань-Улун провинции Сычуань впервые на камеры видеонаблюдения попала панда альбинос.

Большие панды — горный вид, они живут поодиночке в бамбуковых лесах в горах Центрального и Юго-Западного Китая на высоте 1200–3100 метров. У панд очень хорошо развито обоняние, оно помогает им в определении пола

других панд и их готовности к спариванию, но они могут узнавать потенциальных партнеров или противников и по звуковым сигналам. Голоса у самцов и самок значительно различаются, есть у них и индивидуальные отличия в звуках. Ученые даже думают о биоакустическом мониторинге, который позволил бы наблюдать за популяцией панд с минимальным для них беспокойством.

В 2010 году в питомнике больших панд провинции Сычуань на юго-западе Китая был начат проект по составлению «словаря панд»: ученые записали и проанализировали характерные звуки, которые издают эти животные, когда едят, спариваются, общаются с потомством, дерутся и так далее. Например, самцы во время ухаживания блеют по-овечьи, а самки отвечают им чириканьем; недозрелые детеныши тявкают, а когда голодные, издают звук, похожий на «гиии». В 2015 году писали даже о том, что предполагается создать электронный «переводчик» с языка панд.

Хотя большие панды миролюбивые животные, это не значит, что они безопасны. В длину панда может достигать 1,2–1,8 м вместе с хвостом, самцы весят до 160 кг, а самки до 70 кг, хотя изредка достигают 120 кг. Интересно, что у больших панд наблюдаются большие индивидуальные различия в размерах и весе тела. И еще они вооружены крупными зубами и когтями. Новость о поиске

человека на должность обнимателя панд, которая не так давно гуляла по Интернету, конечно же была фейком. Близкий контакт со взрослыми пандами может быть небезопасен, это крупные животные с мощной мускулатурой. В природе встречали панд с разорванными ушами и ранами от укусов. В 2007 году выросший в неволе самец большой панды погиб в драке с другими самцами.

Не вымирающие, но уязвимые

Большие панды — редкий вид. Причины уменьшения их численности — это и постоянное сокращение подходящей среды обитания, и ее фрагментация, и очень низкая рождаемость, как в дикой природе, так и в неволе. Ареал большой панды в настоящее время ограничен небольшой частью на западном крае их прежнего ареала, который когда-то простирался через Южный и Восточный Китай, Северную Мьянму и Северный Вьетнам. К тому же менее ста лет назад на панд еще охотились. Резкий рост численности населения Китая после 1949 года вызвал нехватку пищи, люди стали чаще убивать диких животных ради еды. Узкая специализация в питании — тоже фактор риска: если в какой-либо местности после цветения погибает весь бамбук

Панда Диндин



Фото автора

(а для бамбука это нормальное явление: все растения на довольно обширной территории зацветают и затем умирают), пандам грозит голодная смерть; такие случаи зарегистрированы. Поэтому в местности, где обитают панды, должны быть разные виды бамбуков.

В начале 1960-х был создан первый Национальный природный заповедник Вэнчуань-Улун, который сначала занимал всего 20 000 гектаров, а в 1975 году его расширили до 200 000 гектаров. Среди обитающих на заповедной территории редких животных на первом месте были панды. А 27 августа 1983 года Государственный совет КНР принял постановление об охране больших панд. В 1998 году, когда в Китае была законодательно ограничена вырубка лесов существовало уже 13 заповедников. В Вэнчуань-Улуны и других местах появились специальные научные центры, которые занимаются охраной, исследованием и разведением панд. Часть потомства выращивают таким образом, чтобы повзрослевших животных можно было выпустить в природу. Сейчас большая панда признана национальным достоянием Китая, и относятся к ней с огромным пиететом.

Всемирный Фонд дикой природы работает над сохранением больших панд с 1980-х годов, это первая иностранная природоохранная организация, которая начала деятельность на территории Китая. В 2014 году WWF для привлечения внимания к проблеме сохранения большой панды выставлял в разных городах мира 1600 маленьких панд из папье-маше. Каждая фигурка представляла одну из 1600 панд, которые, по оценкам, остались в дикой природе на тот момент.

Активные действия по охране плюс накопленный опыт и знания о биологии панд принесли плоды: численность вида начала расти. К тому же современные генетические методы оценки численности показали, что, возможно, панд в дикой природе больше, чем считалось до этого, — то есть 2000 или даже 3000. На конференции Международного союза охраны природы в 2016 году было решено, что большие панды больше не являются вымирающим видом, их переклассифицировали в категорию «уязвимые виды». Отсюда не следует, что охране панд будет уделять меньше внимания: даже 3000 животных — это все-таки мало. Убийство панд в Китае строго карается — от десяти лет тюрьмы, а в исключительных случаях пожизненное заключение или даже смертная казнь.

В зоопарках мира в настоящее время содержат более 300 больших панд. Добиться размножения этого вида в неволе очень непросто. Самки могут забеременеть раз в год на протяжении 2–3 дней, при этом предлагаемого партнера они часто встречают агрессией, так что приходится использовать искусственное

осеменение. Как правило, панды рожают одного либо двух детенышей. Роды происходят примерно раз в два года. Двойни рождаются почти в половине всех родов; в природе выживает только один детеныш, в неволе обычно выхаживают обоих. Новорожденный детеныш панды практически голый, розовый, с легким белым пухом, слепой и беззубый, весом всего 90–130 граммов, то есть около 1/800 веса матери — в относительных единицах у большой панды самый маленький детеныш из всех плацентарных млекопитающих!

Иногда рождаются детеныши, мелкие даже по меркам панды. Так, в 2019 году в Китае на территории питомника по разведению и исследованию больших панд в городе Чэнду провинции Сычуань появился новорожденный весом 42,8 грамма вместе с сестрой весом 171,9 г. Но иногда рождаются и крупные двойняшки: в сентябре 2019 года большая панда по имени Мэн-Мэн в Берлинском зоопарке родила двух богатырей весом 186 и 136 граммов.

В зоопарках панд изучают, совершенствуют методы их содержания и разведения, занимаются распространением знаний об этих удивительных животных, о необходимости их охраны и о ведущейся природоохранной работе. По состоянию на 2019 год 27 зоопарков в 21 стране — это Австралия, Австрия, Бельгия, Канада, Дания, Финляндия, Франция, Германия, Индонезия, Япония, Малайзия, Мексика, Нидерланды, Сингапур, Южная Корея, Испания, Россия, Тайвань, Таиланд, Великобритания (Шотландия) и Соединенные Штаты, а также Гонконг — содержат больших панд.

Панды в Москве

До 1983 года Китай часто дарил больших панд другим странам. Но затем правила «панда-дипломатии» изменились: их больше не дарят, а только передают на время ответственным и надежным партнерам по договору, который включает совместные исследования, помогающие улучшить методы содержания и разведения. Если у таких панд родятся детеныши, они также будут собственностью Китая. Получить этих удивительных животных — большая честь для любого зоопарка.

В 2019 году в Москву приехали две панды: самец Жуи 2016 года рождения и самочка Диндин на год моложе. Их передали Московскому зоопарку на 15 лет (продолжительность жизни этого вида — до 40 лет). Для панд перестроили большое помещение, с внутренними и наружными вольерами. Это не первый раз, когда Московский зоопарк получает для содержания больших панд. В 1957 году привезли самца по кличке Пинь-Пинь, который, к сожалению, прожил в зоопарке только четыре года. В 1959 году

был привезен другой самец, Ань-Ань, он дожил до 1972 года. Так как кормить его одним бамбуком было сложно, его постепенно перевели на питание фруктами, овощами, кашами. Директор зоопарка тех лет И.П. Сосновский писал в своей книге «Питомцы Московского зоопарка» (М.: Московский рабочий, 1974): «Вначале были большие трудности с кормлением. Мишка ничего не хотел есть, кроме привычной для него пищи — бамбука. А где его достать, да еще в свежем виде? Приходилось летать в Сухуми, Батуми, там заготавливать бамбук и отправлять самолетами в Москву. Обращались мы и в ботанические сады, но все это было трудоемко и дорого. Решили новосела постепенно приучить к русским блюдам, к русской кухне. В меню включали каши, фрукты, овощи, сладкий чай, а вместо бамбука березовые, ивовые и липовые веники. И ничего, привык. Нормально рос, хорошо развивался и забыл любимый бамбук. Вес его достиг более 150 килограммов, а длина туловища около 1,5 метра».

В 2001 году в рамках «Дней культуры Пекина в Москве» в Московский зоопарк на два месяца были переданы четырехлетний самец Бэнь-Бэнь и девятнадцатилетняя самка Вэнь-Вэнь.

Приехавшие в этом году панды еще очень молоды. Диндин, как младшая, до сих пор получает дополнительно молочную смесь с глюконатом кальция. Характеры у наших панд разные. Диндин более осторожная, хотя и любознательная, она любит отдыхать на деревьях. Жуи более активный, контактный, очень любит играть. Содержат их поодиночке, ведь панды и в природе живут поодиночке. Кормят привычной для них едой, предлагают разные виды бамбуков. Но не только. Специально для панд создали особые печенье, которые используют как лакомство для тренировок и подкрепления доверия. В их составе — размолотые кукуруза, соевые бобы, рис в равной пропорции, яйцо, сахар, соль, ложечка рапсового масла, добавки кальция. Выпекаются они на пару. Кроме этого, звери получают яблоки, морковь, батат. Интересно наблюдать за тем, как панды едят бамбук: сидя на полу, а иногда полулежа, удерживая стебель двумя лапами перед собой.

Больше о Жуи и Диндин можно прочитать на сайте Московского зоопарка (<https://moscowzoo.ru/animals/khishchnye/bolshaya-panda>). И не только прочитать, но и посмотреть онлайн-трансляцию. Московский зоопарк — пока единственный в России, где содержат больших панд.



Мате: не трава, не чай, не зелье

Люди по-разному относятся к мате. Для многих это просто безалкогольный бодрящий напиток. Продвинутые пользователи, такие как Хулио Кортасар, сравнивают мате с абзацем, после которого можно начинать с красной строчки, и с отпущением всех грехов. И все больше становится желающих им полечиться. А почему бы и нет, если индейцы гуарани, которые пили мате испокон веков, верили, что он обеспечивает здоровую старость? Испанские и португальские колонизаторы переняли у местных жителей привычку к мате, и теперь жители Аргентины, Бразилии, Парагвая и Уругвая жизни без него не мыслят. Каждый уругваец заваривает по 8–10 кг мате в год. И даже минимальное потребление на юге Бразилии, 3–5 кг, превышает расход чая в самой чаелюбивой стране мира, Турции, где тратят немногим более 3 кг.

С приходом европейцев началась путаница с названиями. Утвердившееся во всем мире «йерба мате» происходит от испанского *hierba mate* — трава мате, хотя «мате» на языке кечуа обозначает не напиток, а сосуд для его приготовления. Индейцы гуарани сам напиток называли зельем, а сырье для него — большой травой. Однако же мате безвреден, поэтому никакое он не зелье, и тем более не трава. Его приготавливают из листьев и молодых веточек вечнозеленого дерева падуба парагвайского *Ilex paraguariensis*, растущего в араукариевых влажных лесах. В Бразилии листья прямо в лесу и собирают. В Аргентине предпочитают выращивать падуб на плантациях, что позволяет механизировать уборку. Начали выращивать падуб в Испании и Португалии.

Свежие листья и молодые ветки 10–180 секунд прогревают над огнем примерно при 500°C. На этом этапе все клеточные ферменты прекращают работать, а сами листья становятся хрупкими. Но они еще влажные, и их сушат при 100°C, нередко с дымком. Сушка занимает до 8 до 24 часов, после чего мате не меньше года выдерживают в специальных камерах, где он приобретает аромат. Выдержанные листья и веточки перемалывают до нужного размера и расфасовывают. Это зеленый мате. Если залить его холодной водой, получается напиток под названием терере (его пьют в Парагвае и на среднем западе Бразилии), если горячей — чимаррао.

Есть еще обжаренный мате (чай мате) — его делают из стеблей и листьев, которым от 6 до 12 месяцев, 8 минут выдерживают при 400°C, полчаса сушат в ротационном барабане при 350°C и 15 минут поджаривают при 120°C. Еще один напиток, мате кокидо, готовят из зеленого мате как травяной чай и продают в пакетиках.

На вкус мате влияют освещенность, время сбора и возраст листьев, особенности технологического процесса, обжаривание.

Интерес к мате растет с середины 1990-х годов, когда исследователи выяснили, какие биологически активные компоненты он содержит. Прежде всего это полифенолы (хлорогеновая кислота и производные кофейной кислоты), а полифенолы — это антиоксиданты. Судя по их количеству, мате более сильный антиоксидант, чем зеленый чай.

Другая группа соединений — пуриновые алкалоиды ксантины, в первую очередь кофеин (1–2% сухой массы) и теобромин. После сушки содержание кофеина в листьях снижается примерно на треть, зато он существенно лучше экстрагируется из сухих листьев, чем из свежих. Обычная порция мате — 50 г листьев, залитых полулитром горячей воды; в ней не менее 260 мг кофеина, примерно в три раза больше, чем в чашечке крепкого кофе.



Сапонины, как и кофеин, горчат. Хорошо, что в мате добавляются веточки — напиток получается не таким горьким. Многие сапонины обладают антипаразитическим действием, в том числе могут погубить возбудителя сонной болезни *Trypanosoma brucei*. Есть в листьях парагвайского падуба витамины и неорганические соединения, особенно много марганца.

Действие мате, его экстрактов и отдельных соединений исследовали на животных и клеточных культурах, но нас, как обычно, интересуют только результаты, полученные на человеке.

Несколько клинических исследований посвящено влиянию мате на перекисное окисление липидов, которое играет ключевую роль в развитии атеросклероза. Добровольцы, здоровые или с повышенным содержанием липидов, пили чай неделю или три месяца. Пол-литра мате в день действительно защитили их липиды от окисления и активировали экспрессию некоторых генов антиоксидантной защиты. Это значит, что мате может снизить риск сердечно-сосудистых заболеваний у людей из группы риска, но эпидемиологических исследований, подтверждающих или опровергающих это предположение, нет. Поэтому полученные результаты следует рассматривать как предварительные.

Шесть исследований свидетельствуют, что мате снижает содержание жиров в крови, столько же работ этот эффект не подтверждают. Механизм действия мате в данном случае неясен.

Концентрацию глюкозы мате снижает только у грызунов, а у людей — нет. Исключение составляют два бразильских исследования. В одном 29 больных сахарным диабетом 2-го типа и 29 человек в предиабетическом состоянии 60 дней пили мате в сочетании с диетой или без нее. Напиток снизил уровень глюкозы в крови только у диабетиков, не соблюдавших диету. Мате в сочетании с диетой на концентрацию глюкозы не повлиял. Этот результат необъясним и потому недостоверен. В другой работе двухмесячный курс мате также помог больным диабетом, но не предиабетом. Исследователи предположили, что концентрация глюкозы в крови должна быть достаточно высокой, чтобы эффект проявился.

Мате богат кофеином, а кофеин — термогенное соединение, поэтому от него ждут помощи в борьбе с лишним весом. Клинических исследований на эту тему немного. Чай мате и экстракты из него увеличивают расход энергии и ускоряют расщепление жиров по сравнению с группой плацебо. При этом экстракт не влияет на давление и работу сердца. Исследователи полагают, что жиры расщепляет не только кофеин, но и другие компоненты мате, возможно хлорогеновая кислота.

Нам, однако, интересны не биохимические маркеры, а количество потерянных килограммов и сантиметров. Оказывается, ничего и не потеряно! Испытуемые, сидя на низкокалорийной диете, подкрепленной физическими упражнениями и 1200 мг



экстракта зеленого мате ежедневно, за шесть недель похудели на полкило (группа плацебо умудрилась набрать 200 г). В другом испытании не помогли и 3000 мг экстракта. За 12 недель испытуемые не похудели, но зато ели, что хотели.

Немного эффективнее капсулы, в которых экстракт йерба мате смешан с экстрактами других растений и пищевыми волокнами. Так, в двойном слепом исследовании 22 здоровых датчанина с избыточным весом за 45 дней похудели на 5 кило, принимая капсулы с экстрактами мате, гуараны *Paullinia cupana* и дамианы *Turnera diffusa*, и сохранили этот вес в течение года. Группа плацебо потеряла только 300 г. Капсулы замедляют опорожнение желудка, создавая у пациента чувство сытости. Однако вклад мате в этот эффект определить невозможно.

Совсем недавно мате обвиняли в канцерогенности. По данным эпидемиологических исследований, жители некоторых районов Бразилии и Уругвая, где традиционно пьют много мате, чаще заболевают разными типами рака, включая опухоль ротовой полости, гортани, пищевода и мочевого пузыря. Надо сказать, что любители мате зачастую много курят, а курение — известный фактор риска. Однако мате увеличивает риск заболевания раком независимо от курения.

Возможно, канцерогены попадают в мате в процессе обработки. В 2006 году бразильские ученые исследовали 200 взрослых здоровых мужчин и женщин, курящих и не курящих. В моче людей, которые не курили, а только пили мате, обнаружили полициклические ароматические углеводы. И чем больше они пьют, тем больше у них канцерогена. Следовательно, эти участники получили полициклические ароматические углеводы из мате, а в листьях они, скорее всего, попали из дыма во время сушки.

А еще рак пищевода и ротовой полости вызывают напитки горячее 65°C, будь то кофе, чай, мате или что-нибудь еще. В 2016 году Международное агентство по изучению рака классифицировало пристрастие к очень горячим напиткам как канцерогенное. Влияние холодного мате на частоту возникновения рака у людей не проверяли, животным он не вредит. Так что мате не виноват, а виноваты температура и способ обработки листьев.

В то же время уругвайские ученые сообщили, что регулярное употребление мате снижает риск рака груди. Они опросили 572 заболевших раком груди и 889 женщин, обратившихся в клинику по другим причинам. Защитный эффект мате зависит от суточной порции, стажа и интенсивности потребления и более выражен у женщин в менопаузе.

Что сказать о мате в заключение? Для здоровья он скорее полезен, однако клинических исследований, посвященных ему, мало, их данные противоречивы, а долговременных наблюдений нет вообще. Еще меньше работ, посвященных безопасности пищевых добавок с мате.

А еще в мате иногда подмешивают листья других видов падуба, которые практически лишены кофеина. Но подделку можно обнаружить в лаборатории, поскольку разные виды содержат разный набор сапонинов. Увы, простым пользователям сложно проследить за качеством мате.



Художник П. Перевезенцев



Снежное море

Жаклин де Гё



ФАНТАСТИКА

Собрыва открывался вид на снежное море. Бесконечные цепочки волнистых сугробов, ритмично колыхаясь, двигались к берегу. Лиловое солнце висело по-закатному низко. Далеко, почти у самого горизонта, виднелась темная кромка острова Ледяной Радуги.

За спиной, в «Крепости на утесах», гулко забил колокол. «К ужину нельзя опаздывать», — вспомнил Росси. Он последний раз взглянул на стайку качавшихся среди снежных волн пушистых белых шаров, повернулся и быстро зашагал к воротам.

Вкают-компания вкусно пахло, с потолка лился уютный желтый свет. Все курсанты уже заняли свои места за столом. Росси быстро присоединился к ним, придвинул к себе тарелку, начал с аппетитом хлебать густой и горячей овощной суп. Сосед справа, щекастый мальчишка с младшего курса, так увлекся едой, что даже головы не повернул, а девушка слева — курносая, скуластая, с насмешливым круглым личиком — взглянула исподлобья и слегка отодвинулась в сторону.

Во главе стола восседала прапорщик Эльге. Высокая, очень тощая. Кожа бледная, как у всех пришлых, а короткие волосы медно-рыжие, почти такие же яркие, как красные нашивки на рукаве черного форменного мундира. Желтоватые глаза Эльге внимательно следили за курсантами. Когда со второй переменной блюд было покончено, прапорщик пристукнула жезлом по прозрачной поверхности стола. Пустые плошки исчезли, на их месте появились блюда с десертом. Росси с опаской посмотрел на золотистое желе. Соседка слева вдруг хмыкнула, посоветовала вполголоса:

— Бери побольше, пока он, — она кивнула в сторону пухлого мальчишки, — не забрал все себе. Это очень вкусно.

Первый раз за два дня с Росси наконец заговорил кто-то из курсантов. От неожиданности он чуть не плюхнул десерт мимо блюдца. Девушка снова хмыкнула и отвела взгляд. Пухлый покосился, но ничего не сказал.

Росси попробовал желе — оно оказалось очень приятным на вкус.

— Ну что, нравится? — прошептала неугомонная соседка.

Росси кивнул.

— Вот и хорошо. В следующий раз не сомневайся, хватай, сколько успеешь. У нас не дают добавки, зато еда отличная. Таких поваров, как в Крепости, ни в одном училище больше нет. Мы же будущая элита, нам прививают хороший вкус.

Росси не знал, что такое «элита», но решил не расспрашивать, чтобы не разозлить болтовней прапорщика. Пока достаточно просто познакомиться.

— Как тебя зовут? — спросил он тихо.

— Лика. Кстати, ее, — Лика указала глазами на Эльге, —

все называют Зануда. У остальных тоже есть клички, я тебе потом скажу. И вообще объясню, что и как. Но ты мне за это поможешь с расчетами, хорошо? Я слышала, ты почти гений...

Росси не удержался от вопроса:

— От кого слышала?

— Ну, так, — неопределенно пожала плечами Лика. — Говорят. Про новеньких всегда говорят, разве ты не знаешь?

Росси не знал. На острове Ледяной Радуги никогда не было новеньких. Если, конечно, не считать новорожденных младенцев.

Сегодня Росси прошел вдоль обрыва до спуска к морю. Над проходом воздух дрожал и переливался — сотни мелких ботов поддерживали защитный заслон, следили, чтобы никто из курсантов не удрал вниз, на покрытый разводами мерзлой соли песчаный берег.

Большой камень рядом со спуском серебристо блестел — мохнатый паук оплел его сетью до самой земли. Видно, почуял под камнем норку синих червей, потому и сделал ловушку.

— Ага, я тебя все-таки нашел!

Росси резко повернулся. В шаге от него стоял пухлый сосед по столу, шмыгая покрасневшим от холода носом. Вид у него был довольный.

— А зачем ты искал меня, Мякиш?

Вообще-то пухлого звали Марри. Но теперь Росси знал не только имена, но и прозвища почти всех в училище — Лика сдержала слово.

— Просто так. — Мякиш пожал плечами. — Интересно же, почему тебя тянет к морю. Ходишь сюда почти каждый день.

— Правилами это не запрещается. На уроки и трапезы я не опаздываю, значит, ничего не нарушаю.

— Никто и не говорит, что нарушаешь, — миролюбиво возразил Мякиш. — И я не для того сюда пришел, чтоб потом пожаловаться. Просто хочу посмотреть своими глазами, вот и все. Я же раньше никогда не видел настоящего моря. И неба такого не видел тоже. И вообще, раз тебе можно, почему мне нельзя?

Росси попытался представить себя на месте человека, который всю жизнь, с самого рождения, жил в космическом корабле — без вида на залив, без свежего ветра, без закатов и восходов, — и неловко пожал плечами.

— Разве я говорил, что нельзя? Смотри, конечно.

Некоторое время они молча наблюдали, как ряд за рядом движутся к берегу зеленовато-белые, искрящиеся на солнце валы. Слушали доносящийся из-под обрыва шелест пластов морского снега о прибрежный песок.

Шары сегодня подошли совсем близко к берегу и резвились в полосе медлительного, тяжеловесного прибоя — подскакивали, взлетали на его гребни, скатывались со склонов. Толкались, перепрыгивали друг через друга, сцеплялись по двое, по трое. Иногда сугробы-волны вдруг останавливались на секунду, соединялись, слипались вместе, и из них выскакивал на поверхность очередной белый комок, который тут же присоединялся к собратьям. Росси мог смотреть на их игры часами. Он не сумел бы объяснить, откуда он знает, что шарам очень весело, — просто чувствовал это.

— Прикольно, когда у воздуха есть вкус и запах, — неожиданно сказал Мякиш. — И свет здесь совсем не такой, как на корабле, а живой и горячий. И волны эти живые. И шары...

— Да, — кивнул Росси. — А почему нам запрещают спускаться вниз?

Мякиш озадаченно уставился на него:

— Что значит «почему»? Ты же местный, сам должен знать, что прямой контакт со снежным морем смертельно опасен. А, я понял! Ты меня проверяешь!

Росси хотел возразить, но вовремя вспомнил слова деда: «Что бы тебе ни говорили пришлые — не спорь. Сначала узнай их получше». Он отвернулся от обрыва, сказал:

— Хочешь, покажу тебе, как выманить паука из укрытия?

Строевую подготовку Росси невзлюбил с первого же дня. Не потому, что это было трудно, а потому, что казалось бессмысленным и неприятным. Дома, на острове Ледяной Радуги, все занятия спортом были игрой — веселой, как пляски шаров на гребнях прибоя. И наставники никогда не командовали играми, а просто объясняли правила и тактику и дружелюбно подсказывали, как сыграть по успешнее. А тут все оказалось совсем по-другому. Росси никак не мог понять, зачем нужно поворачиваться по команде направо или налево, почему ходить строем нужно в ногу, какой смысл в стоянии навтыжку по стойке «смирно». Еще он не понимал, почему наставники на этих занятиях вдруг начинают разговаривать так жестко и грубо — разве нельзя попросить о том же самом спокойно и вежливо? Правда, остальные курсанты не видели в этом ничего обидного — и Росси, подумав, решил тоже не обижаться, а относиться к строевой как к игре с непривычными правилами. Но все же при случае осторожно поинтересовался у преподавательницы, лейтенанта Миреллы, зачем нужно тратить столько времени на эти занятия. Мирелла, немолодая, подтянутая, за пределами плаца держалась довольно дружелюбно. Однако в ответ на вопрос Росси она недоуменно взглянула на него и пожала плечами:

— Да у вас и так всего два часа строевой в день. Разве это много? В кавалерийском училище на этот предмет отводится по три. И еще столько же времени на выездку.

Росси недоверчиво спросил:

— Шесть часов в день на эту... — он чуть не сказал «ерунду», но вовремя спохватился, — подготовку? Когда же они учатся?

— Это и есть их учеба. Не всем же сидеть над расчетами. — Мирелла смотрела на островитянина-аборигена слегка устало, словно он заставлял ее объяснять что-то, что и так понятно. — Росси, у всех землян одна общая цель — колонизация новых планет. Ради этого уходят в

космос эскадры кораблей. Ради этого все, кто находится в экспедиции, с рождения учатся тому, что потом пригодится при высадке. Но у каждого в экипаже своя задача, поэтому и учебные программы составлены по-разному. Для кавалеристов важнее хорошая физическая подготовка. А наша «Крепость на утесах» — инженерное училище. Здесь учатся строить безопасные, хорошо укрепленные объекты. Понял?

— Нет, — честно ответил Росси. — Если наше дело — строить, зачем вообще нам надо маршировать в ногу?

— Потому что строевая подготовка развивает дисциплину и умение не раздумывая выполнять приказы. Теперь понял? Или есть еще вопросы?

У Росси был вопрос. Дома его учили, что, прежде чем совершить какое-то действие, надо хорошо подумать, представить возможные последствия и взвесить все «за» и «против». И теперь ему очень хотелось спросить, почему инженер должен выполнять приказы не раздумывая. Но Мирелла смотрела так, словно требовала как можно скорее прекратить этот разговор. И Росси решил, что лучше спросит потом кого-нибудь другого.

— Никак нет, — четко произнес он. — У меня больше нет вопросов. Все понятно, госпожа лейтенант.

Взгляд Миреллы смягчился.

— Ну и отлично. Я рада, что смогла помочь тебе разобраться. С непривычки всегда тяжело понять и принять... но, поверь, у предков твоих сородичей были такие же правила, как у нас. Иначе они не смогли бы долететь до этой планеты и основать здесь колонию. Просто вы здесь так давно, что все забыли. Удивительно, что вообще не вымерли... даже не превратились в дикарей. — Она вдруг улыбнулась, похлопала Росси по плечу: — Вам повезло, что мы на вас наткнулись. Теперь вы сможете вернуться к цивилизации.

Росси отсалютовал ей, как положено, и ушел.

По дороге в свою каюту он думал о многом. Когда пришлые только прилетели, бабушка сказала: «Какое несчастливое совпадение. В космосе столько планет, надо же было, чтобы они набрали именно на эту. Кончилась наша спокойная жизнь». Дед нахмурился в ответ: «Не говори так. Они такие же скитальцы, как и мы, и имеют такое же право просить планету о гостеприимстве». Росси вспомнил рассказы курсантов о жизни на корабле. И наконец понял, что же удивляло его в пришлых больше всего: они все родились и выросли в пути. Ничего толком не знали ни о той планете, которую покинули их предки, ни о той, на которую прилетели. Но почему-то были уверены, что именно у них есть правильные ответы на все вопросы.

Вкаюте Росси первым делом проверил свой браслет. Дед опасался, что его отберут сразу при поступлении, но прапорщик Эльге даже не поняла, что это такое. У пришлых устройства для дальней связи выглядели по-другому — плоские гаджеты с ладонь величиной. Зануда покрутила браслет в руках, сказала отрывисто: «На занятия не надевать! У нас не положено носить украшения в учебное время!» — и вернула его Росси.

Росси забрался с ногами на койку и начал просматривать сегодняшние голограммы. Бабушка подробно перечислила все мелкие домашние новости и всех друзей и родственников, передававших привет. Мама, как обычно, почти ничего не говорила о себе, только спрашивала о

Росси — как ему живется, чем он занимается, завел ли друзей, справляется ли с учебой, не скучает ли? И видно было, что она сама очень волнуется и скучает, хоть и не подает виду. Сообщение от отца было самым длинным и самым интересным — он выходил на связь из теплиц, показывал Росси сектор за сектором, заснял для него испытания нового насоса, радовался хорошему урожаю, переживал из-за нашествия пятнистых губок на восточные отдели. Короче всех высказался дед:

«Привет, внук, как ты там, среди пришлых? Жаль, что они согласились принять только одного ученика — в группе было бы легче. Надеюсь, ты сможешь подружиться со сверстниками. Слушай, смотри, запоминай. Старайся их понять. Старайся, чтобы поняли тебя. Не осуждай незнакомых обычаев и не навязывай своих. Старайся не выделяться, не противопоставляй себя им без необходимости. Нет ничего плохого в том, чтобы подражать чужим традициям, если они разумны и не причиняют никому вреда. Наблюдай. Анализируй. Сравнивай. Надеюсь, твой опыт поможет всем».

Росси снова убрал браслет в отсек для личных вещей. Дед, как всегда, заставил его задуматься.

— Э то совсем не так сложно, как тебе кажется. Надо просто хорошо представлять значение любого символа. Тогда ты легко сможешь и читать формулы и сам описывать формулами любые действия.

Мякиш смотрел на Росси, наморщив лоб. Видимо, пытался изобразить работу мысли. Вот только в глазах у пухлого этой самой мысли не было вообще — одна блаженная безмятежность. Росси вздохнул:

— Слушай, а почему ты решил стать инженером? Шел бы в кавалерию...

Морщинки на лбу Мякиша немедленно разгладились, выражение лица стало живым и радостным — поболтать о простых и понятных вещах он любил.

— У меня координация плохая, — с готовностью объяснил он. — И реакция. Поэтому меня не взяли в кавалерию. И в пилоты я тоже не гожусь. А в биологи сам не пошел. Не люблю убивать живое.

Росси опешил.

— Разве биологи убивают? — спросил он.

Мякиш взглянул удивленно:

— Ну конечно. Это же их работа. На планетах, пригодных для людей, обычно обязательно уже живут какие-нибудь местные твари. Чтобы освоить территорию, всю эту живность надо уничтожить, но не выжигать же все подряд — кому нужна бесплодная пустыня... Вот биологи и придумывают всякие хитрые способы для борьбы с ненужными видами. А у вас что, нет биологов?!

— Есть, — растерянно ответил Росси. — Но наши никого не убивают. Они выводят новые сорта растений, придумывают, как увеличить урожай, клонируют из клеток съедобное мясо, синтезируют лекарства, лечат людей...

Мякиш помолчал, обдумывая сказанное, потом заявил уверенно:

— Это потому, что вы здесь уже очень давно. Видимо, всех, кто мешал жить спокойно, поубивали еще первые колонисты. Хотя, по-моему, они оставили много всяких лишних тварей. Губки, пауки, черви... И эти шары.

— Они не могут быть лишними, — резко возразил Росси. — Это их планета. Скорее уж мы здесь лишние, а не они.



ФАНТАСТИКА

Мякиш испуганно моргнул. Росси тут же пожалел о своей несдержанности. Дед прав — нельзя осуждать, надо спокойно объяснять, стараться, чтобы тебя поняли.

— Я тебе про шары потом расскажу поподробнее, — сказал он примирительно. — Чтобы ты знал, как мы к ним относимся и почему. А пока просто представь — живешь ты на своей планете, и вдруг прилетает кто-то посторонний, большой и сильный, и начинает решать за тебя — лишний ты тут или нет. Тебе бы приятно было?

Мякиш замотал головой:

— Нет, конечно! Но я же человек! Я разумный! А животные и растения — нет!

— Как ты можешь знать, кто разумный, а кто нет, если даже еще и не понаблюдал за ними как следует? Может, они думают в сто раз лучше и быстрее, только по-другому? А даже если незнакомые существа и правда животные — неужели это повод уничтожать целый вид? Ведь люди тоже не сразу стали людьми. Может, ты уничтожаешь будущую расу великих мыслителей?

Вид у Мякиша стал совсем растерянный.

— Но нам нужны новые планеты... — тихо сказал он. — Ты просто не знаешь, этого не говорят на уроках, об этом вообще не положено говорить... — Он понизил голос до еле различимого шепота. — На Земле уже давно нельзя жить нормально... там была война. И теперь почти везде пустыня, и воду пить нельзя...

— Мы догадывались про Землю, — вздохнул Росси. — В наших летописях много написано о том, почему предки решили удрать оттуда навсегда. Если все это правда, то вообще удивительно, что планета еще цела...

Мякиш коротко вздохнул, попросил:

— Ты не говори никому, что я тебе сказал, ладно?

— Ладно, — кивнул Росси, — не скажу. И давай больше не отвлекаться, а то мы так никогда не закончим. Где там твои задачи по баллистике?

После ужина Росси сразу ушел к себе — надо было напечатать макет укрепленного плавучего форта. Ему нравилось рассчитывать и проектировать такие сложные конструкции, хотя каждый раз удивляло изобилие орудийных башенок, бойниц и прочих огневых точек. Впрочем, на этот раз «оборонительный комплект», указанный в задании, оказался не слишком большим. Росси надеялся, что сможет этим же вечером закончить макет. Однако в самый разгар работы в его каюту постучались.

— Войдите! — крикнул Росси, с любопытством поворачиваясь к двери, — до сих пор к нему не приходили гости. Вошла Лика.

Росси, как воспитанный хозяин, попытался предложить ей свой единственный стул, но она замахала рукой:

— Ну что ты, что ты, сиди, тебе же надо заниматься! — и примостилась на краю койки.

Некоторое время оба молчали. Росси выжидательно смотрел на девушку, а она глядела по сторонам так долго и с таким интересом, словно перед ней была не стандартная каюта курсанта, почти такая же, как ее собственная, а теплица с редкими растениями или оружейный склад.

— Что это? — спросила она наконец тихим голосом, совсем не похожим на ее обычный насмешливый тон, и указала на висевший над изголовьем постели прозрачный шарик, на три четверти заполненный белесой мутью.

— Это мой амулет, — охотно объяснил Росси. — Частичка снежного моря.

Лика резко вскочила, шарахнулась в сторону и вжалась в угол, с ужасом глядя на амулет.

— Ты с ума сошел! Жить надоело?! В этой штуке — смерть!!!

Росси расхохотался, поднялся со стула, шагнул к Лике:

— Клянусь, никакой смерти там нет. Не знаю, почему вы все так думаете. Море совсем не так опасно, как вам кажется!

Девушка замотала головой:

— Неправда! Море очень опасно! Мой отец — главный биолог экспедиции, он исследует море, он мне рассказывал! Эта белая масса — вовсе не снег, там воды-то не больше сорока процентов, а все остальное — крохотные живые организмы! Они слипаются в шары, агрессивные и прожорливые, нападают на людей...

Росси, пытаясь успокоить Лику, взял ее за руку, потянул к себе.

— Да глупости все это, — ласково сказал он. — Ну вот честное слово, все совсем не так страшно. Шары вовсе не агрессивные. И никогда не нападают первыми. Если шар напал — значит, его обидели.

Лика руку не отнимала и слушала внимательно, но по-прежнему смотрела на шар с отвращением и ужасом.

— Шары по-своему разумны, — продолжал Росси. — Каждая клетка по отдельности маленькая и глупая, но когда они объединяются вместе, то думают в миллион раз лучше и быстрее. А когда им скучно, принимают удобную форму, играют и пляшут на волнах. Они чувствуют обиду и боль, совсем как люди. Поэтому их и нельзя обижать.

Он выпустил из своей ладони руку девушки, подошел к амулету, бережно провел по нему кончиками пальцев.

— И есть еще одна причина... Знаешь, как мы хороним наших покойников?

Лика помотала головой.

— Мы кладем их тела в отлив у кромки прибоя, чтобы море забрало их себе, растворило и дало вторую жизнь. Это очень древний обычай. Много, много поколений людей Радуги ушли в море и стали морем. И мы тоже когда-нибудь уйдем вслед за ними. Вот поэтому у каждого в нашей общине есть такой амулет — знак связи с теми, кто жил на этой планете до нас, и с нашим будущим домом.

Лицо Лики ничего не выражало. Она так и стояла неподвижно, вжимаясь спиной в угол комнаты и уставившись на стену с прозрачным шариком. Росси решил, что пора сменить тему разговора.

— Ты так и не сказала, почему пришла ко мне? — спросил он и снова шагнул к Лике, заслоняя от нее амулет. — Что-то случилось? Нужна помощь?

Девушка наконец взглянула на Росси:

— Грета сказала, ты помог ей разобраться со сферическими интегралами. Это правда?

— Да.

— Зачем?

— Как это «зачем»? — не понял Росси. — Зачем вообще помогают?

Лика раздраженно фыркнула. Она уже почти совсем пришла в себя.

— Не прикидывайся наивным дурачком, тебе это не идет! Никто не помогает «вообще»! Тем более в учебе — при такой конкуренции за лучшее место в распределении никто не даст лишний шанс сопернику просто так! У нас в экспедиции надо годами ждать, пока освободится хорошая должность, и на нее всегда не меньше двух десятков кандидатов! Я видела, как мой отец боролся за свой пост! Люди делают что-то для других, только если им что-то нужно от них взамен! Я помогла тебе освоиться в училище, ты за это помог мне с расчетами. Это понятно. А зачем ты помог ей? Что она пообещала взамен? Или она тебе просто... нравится?

— В каком смысле? — настороженно спросил Росси.

— В том самом, — прищурилась Лика. — Я же говорю, не прикидывайся дурачком! Нравится?

— Да нет же! Лика, ну при чем тут это? Человек просто попросил объяснить непонятную тему...

— Значит, не нравится, — удовлетворенно кивнула Лика. — А я? Я тебе нравлюсь?

Росси замаялся. Лика истолковала его смущение по-своему, шагнула вперед и в следующую секунду уже крепко обнимала Росси и прижималась к его губам. Неожиданно для себя он ответил на поцелуй с таким энтузиазмом, что ненадолго выпал из реальности и опомнился только тогда, когда в голове как будто сработал сигнал тревоги. Росси отстранился. Пожалуй, слишком резко — даже опрокинул стул. И, удерживая девушку на расстоянии вытянутой руки, выдохнул:

— Нет, Лика, нет!

Та дышала так же тяжело, смотрела требовательно.

— Почему нет? Ты же сказал, я тебе нравлюсь!

Росси этого не говорил, но решил, что лучше не спорить:

— Нравишься. Только... у меня уже есть девушка. Там, на Радуге. Я не могу. У нас так не принято.

Лика некоторое время стояла молча, глядя на него в упор. Потом, так и не сказав ни слова, повернулась и вышла в коридор.

Росси поднял стул и уселся собирать напечатанный макет. Лазерная пушка никак не хотела входить в предназначенный для нее паз. В конце концов, Росси надавил на точку крепления слишком сильно, и деталь треснула. Теперь ее придется печатать заново. Настроения работать не было никакого.

На следующий день во время обеда Росси вдруг неожиданно вызвали к коменданту Крепости.

В огромном кабинете коменданта потолок мерцал картой звездного неба, а стены-пейзажи повторяли вид с обрыва. За длинным столом сидел сам комендант. Он

был очень стар, старше всех пришлых, которых доводилось видеть Росси, однако держал осанку так, как не у всех курсантов получалось, а глаза его смотрели жестко и внимательно. Рядом с Комендантом сидела лейтенант Мирелла. За спиной навтыяжку стояла Зануда.

Долгое время никто ничего не говорил. Начальник училища молчал, разглядывая Росси, а остальные не смели нарушить его молчание. Наконец он произнес:

— К нам поступила... информация о тебе. Очень серьезная информация, заслуживающая самой тщательной проверки. И мы провели эту проверку. Прапорщик Эльге!

Зануда выступила вперед, сняла крышку со стоявшего на столе контейнера и снова шагнула за спину коменданта.

— Подойди сюда, курсант, — сказал тот. — Тебе знаком этот предмет?

Росси приблизился к столу, заглянул в контейнер. Там лежал амулет.

— Да, — подтвердил Росси и улыбнулся всем троим. — Это мое.

Комендант и Мирелла переглянулись. Росси решил сразу объяснить, что к чему.

— Я знаю, вы думаете, что это опасно для людей, — сказал он. — Но вы ошибаетесь. Это не так.

И повторил все, что рассказал накануне Лике.

Его выслушали, не перебивая. Но как только он закончил, комендант поднялся и зашагал по кабинету — от одной голографической стены к другой. Казалось, он мечется между двумя обрывками, не в силах выбрать, с какого лучше броситься вниз. Наконец остановился, обратился к Росси:

— Скажи, тебе нравится у нас в училище? Ты хотел бы здесь остаться?

Росси, не ожидавший такого вопроса, слегка растерялся — до сих пор он не думал, нравится ему или нет, просто выполнял просьбу людей Радуги. Чуть помолчав, он решил сказать то, что чувствовал:

— Я не знаю. Там, на острове, у меня дом, семья, настоящие друзья. Здесь друзей пока нет. Но здесь мне рассказывают о том, чего я никогда не узнал бы дома. И многое кажется полезным и нужным. Хотя иногда то, чему вы учите, вызывает желание спорить. А иногда даже слушать неприятно. Но все равно я хотел бы побыть здесь подольше. Ради знаний. Мне у вас интересно.

Комендант смотрел на Росси с таким недоверчивым удивлением, словно перед ним стоял не человек, а говорящий снежный шар.

— Что ж, — проговорил он наконец, — откровенность за откровенность. Мне сразу не понравилась идея в первый же год колонизации набрать в училище местных ребят. Программа у нас сложная. Однако Совет экспедиции пообещал мне, что возьмут только тех, кто пройдет все тесты, и я согласился. Ты прошел тесты с отличными результатами. Учишься очень неплохо. А теперь еще и говоришь, что тебе у нас интересно... И я ловлю себя на мысли, что мне бы тоже хотелось, чтобы ты у нас остался. Да-да, несмотря на то что раньше я был против. Я беседовал с твоими преподавателями. В тебе много хороших качеств. Ты мог бы стать одним из лучших моих курсантов.

Он замолчал, оглянулся на Миреллу, словно ожидая от нее поддержки. Но та слушала напряженно, выжидатель-



ФАНТАСТИКА

но и явно не собиралась вступать в разговор. Комендант вздохнул, снова повернулся к Росси:

— Однако ситуация складывается такая, что я вряд ли смогу ли тебя оставить.

— Почему? — Росси вовсе не огорчало, что придется вернуться домой, но он должен был точно знать причину.

— Видишь ли, — комендант говорил медленно, тщательно подбирая слова, — твой образ мыслей настолько отличается от нашего, что я даже не уверен, смогу ли понятно объяснить. Не уверен даже, несут ли мои слова для тебя тот же смысл, который вкладываю в них я, потому что не могу поставить себя на твое место. До сегодняшнего дня понятия «суеверие» и «предрассудок» были для меня лишь сочетаниями звуков, давно потерявшими всякое значение. И вдруг обнаруживается, что целая община совершенно нормальных с виду людей верит в то, что биомасса научилась их понимать только потому, что много поколений подряд питалась человеческими трупами! Я прожил долгую жизнь, однако ни разу не сталкивался с подобной дикостью. Даже представить себе не мог, что мышление разумного, образованного, талантливого человека может быть настолько иррациональным. Это за пределами здравого смысла, за чертой понимания... — Он покачал головой. — Мы, конечно, предполагали, что изоляция на заброшенной планете как-то повлияла на людей Радуги, но чтобы настолько! Вы же отказались от всех наших идеалов! Один из курсантов младшего курса уверяет, что ты призывал считать хозяевами планеты не людей, а какие-то местные примитивные формы жизни, которые, по сути, не более чем гигантские колонии простейших! Это правда?

Росси недоуменно смотрел на расстроенного старика, не понимая причин его огорчения.

— Но ведь это же и правда их планета, — сказал он тихо, но твердо. — Даже если они и не такие разумные, как мы, все равно мы здесь гости, а они хозяева. У нас нет права...

Он увидел, с каким горьким сожалением смотрит на него комендант, и не стал продолжать. Начальник училища вернулся на свое место, но садиться не стал — так и стоял, чуть подавшись вперед, глядя на контейнер и тяжело опираясь о стол.

— Ну и что с ним теперь делать? — спросил он наконец у женщин.

— Исключить! — бодро протянула Зануда.

— Перевоспитать, — сказала Мирелла. — Переубедить.

— Пока мы будем его переубеждать, он может и других курсантов заморочить своими сказками, — хмуро возразил комендант. — Вы же слышали того мальчика, Марри, — он уже начал сомневаться. Если мы оставим

этого молодого человека в училище, то добавим себе лишних хлопот.

— А если отправим его обратно, то можем потерять наш единственный шанс как-то повлиять на его сородичей, — спокойно ответила Мирелла. — А мы обязательно должны на них повлиять. Иначе потом, когда биологи приступят к выполнению главной задачи, у нас будут большие проблемы. И кстати, Росси действительно очень способный и мог бы стать одним из лучших...

Комендант тяжело опустил в кресло и задумался.

— Вы правы, Мирелла, — сказал он наконец. — Отправить его обратно на Радугу было бы самым простым, но не самым правильным решением. Однако и рисковать душевным здоровьем остальных учащихся мы тоже не имеем права. Если эти дикие взгляды начнут разделять наши собственные дети, то у нас будут не просто большие, а огромные проблемы. Может быть, даже неразрешимые. Есть предложения?

— Есть! — снова твякнула Зануда. — Разрешите изложить?

Комендант повернулся к ней:

— Излагайте.

— Подождите! — вмешалась Мирелла. — Мне кажется, мы можем уже отпустить курсанта.

Комендант помедлил, потом кивнул:

— Ты свободен, курсант. Можешь идти.

Росси не двинулся с места. Комендант вздохнул:

— Ну, что еще?

— Мой амулет, — спокойно произнес Росси, глядя ему прямо в глаза.

Комендант пожал плечами:

— Забирай. Нет смысла его конфисковать — это всего лишь символ. Когда поймешь, как глупо верить в такую чушь, сам его выбросишь.

Вкают-компании было так же уютно, как обычно: отражения светильников мягко сияли в прозрачном пластолите стола, на стенах плавно сменяли друг друга живые пейзажи, в углу тихо журчал декоративный водопад. Но ужин до сих пор не начался — курсанты стояли навытяжку и ждали, когда Зануда закончит свою речь.

— ...за распространение нелепых суеверий наше училище объявляет курсанту Росси бойкот. Всем остальным курсантам запрещается разговаривать с ним до тех пор, пока он не откажется публично от своих заблуждений. Мы, преподаватели и воспитатели, проследим за этим. Кроме того, по распоряжению коменданта Крепости курсант Росси будет теперь заниматься по индивидуальной программе. Ему придется посещать факультативы по истории освоения космоса и практической биологии и уделять больше времени строевой подготовке... — Она сделала паузу, оглядела всех внимательными недобрыми глазками и скомандовала отрывисто: — Вольно! Садитесь! — И стукнула жезлом.

На столе тут же появились плоские контейнеры с ужином.

Росси ничего не понимал. То, что сказала Зануда, не укладывалось у него в голове. Может, он ослышался? Или это какая-то глупая шутка? Не мог же комендант всерьез потребовать такого от курсантов! Как можно запретить одному свободному человеку разговаривать с другим?

Кто послушается такого приказа? Он обвел глазами сидевших за столом сверстников, надеясь поймать их взгляды, заметить хоть одну улыбку. Но никто не улыбался, никто не смотрел на него. Не слышно было и обычных перешептываний — курсанты молча ели, сосредоточенно уставившись в свои тарелки. Сразу после ужина Росси ушел к обрыву.

Лиловое солнце почти скрылось за горизонтом, но небо над далеким островом Радуги было светлым и прозрачным, и снежные валы там, вдали, красиво искрились зеленовато-синими отблесками. Однако чем ближе к берегу, тем гуще становились сумерки. У подножий скал море еле просвечивало сквозь темноту смутно белеющей массой. Здесь, на утесах, еще играли на камнях отсветы ушедшего дня.

Росси нахмурился. Камни блестели слишком чисто и ярко. Он взгляделся и понял, что на них больше нет ни мха, ни паутины, ни засохшей слизи синих червей — ничего. Только голая, гладкая, чуть оплавленная лучами бластеров поверхность.

Иногда Росси ловил краем глаза злорадные усмешки, слышал ехидные реплики за спиной. Но это случалось редко, в основном его просто не замечали. Это не очень расстраивало, он ведь так и не успел подружиться ни с кем по-настоящему. Но изумляло, с какой легкостью курсанты выполнили приказ Зануды, как единодушно послушались. Почему?! Ведь он всегда им всем помогал, выполнял их просьбы, ни разу никого не высмеял, не обидел... Почему же они так быстро согласились вычеркнуть его из своего круга? Почему ни один, даже Марри, не попытался заступиться или хотя бы поговорить с ним тайком?

Постепенно Росси перестал удивляться, а потом и привык — привык к молчанию к тому, что его избегают, отворачиваются, проходят, как мимо пустого места. Время слилось в один бесконечно долгий, скучный, заполненный то зубрежкой, то муштрой день. Во время сеансов связи с семьей ему иногда ужасно хотелось пожаловаться отцу и деду — Росси не сомневался, что, как только они узнали бы про бойкот и его причины, его тут же забрали бы домой. И именно эта мысль останавливала его. Росси долго думал и решил, что сбежать было бы неправильно. Ведь там, в кабинете коменданта, Мирелла сказала то же самое, что и дед: его пребывание в училище может помочь людям Крепости и людям Радуги понять друг друга. Правда, каждый имел в виду какое-то свое понимание. И все-таки раз двое таких, пусть и непохожих, но очень умных, опытных, много видевших в жизни людей думают, что ему лучше оставаться здесь, то он останется. Уйти никогда не поздно.

Лиловое солнце освещало стоявший перед Крепостью флаер, прилетевший с исследовательской базы биологов, чтобы забрать группу старшекурсников на практикум. Росси вынужден был принять участие в этом мероприятии — комендант не собирался отменять своих распоряжений, и «дикаря», не желавшего публично отказаться от своих суеверий, по-прежнему заставляли углубленно изучать биологию. Лица, хоть и не нуждалась в дополнительных занятиях, тоже летела — навестить отца.

Флаер взмыл над скалистой береговой линией и взял

курс на запад. Курсанты оживленно переговаривались между собой. На Росси, как обычно, никто не обращал внимания. Он повернулся к иллюминатору и всю дорогу неотрывно смотрел на расстилавшееся внизу море — темные кляксы островов посреди бесконечной зелено-вато-белой равнины. Небо с высоты казалось изогнутым, как перевернутая чашка, а горизонт — округлым.

База располагалась на небольшом клочке суши, похожем скорее на плоский скальный монолит, чем на остров. Отец Лики и двое его коллег стояли у края посадочной площадки. Рядом переминался с копыта на копыто устаревший, давно списанный из кавалерии наноскакун. На фоне лазерной пушки и криокатапульты последних моделей он смотрелся почти карикатурно.

Главный биолог сразу же заметил в группе незнакомое лицо, поманил к себе:

— Ну, здравствуй, Росси. Наслышан о тебе. Давай договоримся так. Во время экскурсии вопросов не задавать. Если что-то непонятно — делай заметки для себя. Потом подойдешь ко мне, мы все обсудим. Хорошо?

Росси кивнул.

Курсантов повели по базе. Она, как и ожидал Росси, оказалась совсем не такой, как биостанция его родного острова, — ни теплиц, ни чанов с белковой массой. Только лаборатория, в которой синтезировали лекарственные препараты, выглядела знакомо и привычно. В остальных помещениях стояли установки, которых он никогда не видел на Радуге, — оборудование для изучения опасных для человека видов и борьбы с ними.

Когда экскурсия закончилась, все снова вышли наружу. Там Лика каталась верхом на равнодушном наноскакуне. При виде группы она весело помахала отцу рукой. Тот ответил шутливым салютом и повернулся к Росси:

— Так что? Есть у тебя дополнительные вопросы?

— Никак нет, — четко ответил Росси. — Все понятно, господин главный биолог.

— Вот как? — Ликин отец смотрел на него с улыбкой. — Это замечательно, когда все понятно. Значит, ты поменял свою точку зрения?

— Никак нет, — все так же четко и внятно ответил Росси. — Не поменял. Я понимаю, что и как вы делаете, и понимаю зачем. Но я по-прежнему думаю, что у вас нет на это права.

Главный биолог продолжал улыбаться:

— А права у нас нет потому, что ты считаешь местные формы жизни разумными? Хоть это и ненаучно?

Росси не хотелось обострять конфликт с пришлыми.

— Может, не будем это обсуждать?

— Почему же?

Росси пожал плечами:

— Вы ученый и один из главных людей в эскадре. А я курсант, у которого нет ни чина, ни звания, и, по вашим же правилам, я не могу спорить с вами на равных.

— Верно, — весело согласился отец Лики. — Не можешь. Но наши правила тут ни при чем. Спор на равных невозможен не потому, что у тебя нет чина, а потому, что недостаточно знаний.

— Я жил здесь с рождения, — возразил Росси. — И мой отец, и моя мать, и их родители. Об этой планете и о местных видах я знаю гораздо больше вас.

— Правда? — Главный биолог искоса взглянул в сторону остальных курсантов, столпившихся вокруг криокатапульт-



ФАНТАСТИКА

ты и явно прислушивавшихся к разговору. — Что ж, тогда поделись со мной своими знаниями. Хотя бы о шарах. Может, я действительно чего-то не понимаю? Ведь, с моей точки зрения, ни о каком разуме у этих существ не может быть и речи. Ему там просто неоткуда взяться. Это колонии простейших, гигантские скопления одноклеточных организмов, только и всего.

— Человеческий мозг тоже всего лишь скопление клеток. — Росси чувствовал, что, несмотря на шутливый тон биолога, разговор пошел важный и серьезный, и ему очень хотелось найти нужные, убедительные доводы. — Но эти клетки обмениваются сигналами, информацией, импульсами, и получается разум — ваш, мой... Почему вы не хотите хоть на секунду допустить...

Биолог нетерпеливо перебил, не дав Росси закончить фразу:

— Допустить можно все. Но любое допущение надо доказывать. Поэтому, раз ты продолжаешь считать себя правым, предлагаю провести эксперимент. Давай проверим, действительно ли шары умеют чувствовать благородные высшие эмоции, присущие только разумным существам: обиду, гнев, солидарность... все то, о чем ты рассказывал моей дочери.

— Как вы собираетесь это проверять? — недоуменно, с легкой тревогой спросил Росси.

Вместо ответа Ликин отец повернулся, крикнул одному из сотрудников станции:

— Начинайте!

Тот кивнул, сделал курсантам знак отойти в сторону.

Загудел мотор. Катапульты медленно и плавно заскользила по рельсам к самому краю скалы и застыла с поднятым вертикально, повернутым в сторону обрыва ковшом.

С тихим шелестом захваты извлекли из укладки сплюснутый пузатый криоснаряд, втокнули в желоб. Росси оцепенело смотрел, как он уверенно движется вверх, к ковшу, и не мог оторваться от этого зрелища, не мог заставить себя повернуться к морю... Снаряд вполз в ложемент. Снова загудел мотор, оттягивая ковш катапульты назад. В кого они собираются стрелять?! Росси наконец стряхнул с себя оцепенение, повернулся всем телом на сто восемьдесят градусов — и увидел, что самые худшие его опасения подтвердились. Среди волн плясали шары.

— Нет! — закричал он. — Не делайте этого!

Лица засмеялась. Она сидела на дурацкой неживой лошади, больше похожей на огромное насекомое, чем на лошадь, смотрела на Росси в упор и хохотала как ненормальная. Росси в отчаянии повернулся к ее отцу:

— Ну зачем?! Зачем? Что они вам сделали?!

И вдруг заметил, что остальные курсанты тоже напря-

женно ждут ответа главного биолога. А тот, почувствовав общее настроение, заговорил размеренно, подчеркнуто успокаивающим и в то же время слегка насмешливым тоном:

— Мне — ничего. Да и остальным исследователям — тоже. И если бы ты не начал рассказывать в училище сказки о разумности этих комьев примороженной слизи и настаивать на их праве распоряжаться планетой, нам с комендантом не пришлось бы тратить снаряд на практическую демонстрацию. Так что вини только себя.

Впервые в жизни Росси почувствовал настоящую злость.

— Себя? — произнес он, изо всех сил стараясь говорить так же спокойно и насмешливо. — Ну уж нет. Не я стреляю в них, а вы. Это ваш выбор. Ваше решение. Остановитесь. Пока еще не поздно, прошу вас, остановитесь! Ну почему вы не можете просто поверить?!

Гудение мотора внезапно смолкло — ковш катапульты отошел назад до упора и замер. Снаряд лежал в нем, как яйцо в гнезде. Отец Лики отвернулся от Росси, scomандовал негромко, почти устало:

— Пошел!

Ковш стремительно взметнулся вверх. Резкий свист рассек воздух.

Достигнув расчетной точки, снаряд распался в воздухе на множество сверкающих капсул, и они дождем обрушились на стайку скользящих по морским гребням шаров. По белым пушистым бокам зазмеились глубокие трещины — страшный, космический холод разрывал шары на части, раскалывал их на куски... Казалось, даже волны застыли.

— Е-е-есть! — восторженно заорала Лика.

Словно отвечая на ее крик, море вокруг подстреленных шаров вдруг снова задвигалось — и начало меняться, необъяснимо и жутко. Валы полезли друг на друга, они вздымались все выше и выше, громоздились горой, окружая скалу, на которой стояла база. И за считанные минуты из моря выросла огромная белесая стена и сомкнулась куполом над головами испуганных людей.

Лика больше не смеялась. Она, как и все остальные, молча смотрела на плотную массу, закрывшую небо. Купол начал медленно сжиматься к центру.

— Они хотят нас раздавить! — Лика бросилась к отцу, вцепилась в него. — Мы все умрем! Папа, сделай же что-нибудь!

— Пушка, — сказал другой биолог. — Пробьем эту штуку лазером!

Ликин отец смотрел то на пушку, то на купол, не решаясь отдать приказ.

— Никакой лазер вам не поможет. — Росси сделал несколько шагов к живой стене. Он стоял теперь так близко, что чувствовал запах морского снега, ощущал исходящий от него холод. — Море затынет любое отверстие. А вам будет только хуже.

— Папа, пусть он замолчит! — истерически завизжала Лика. — Пусть он замолчит! Стреляйте же! Стреляйте! Здесь уже нечем дышать! Я не хочу умирать! Не хочу, не хочу-у-у-у!

Росси видел по лицам, что еще секунда — и все остальные курсанты будут визжать и выть от ужаса не хуже Лики, и пришлые совсем потеряют рассудок. Чего доброго, и

правда выстрелят. И тогда море обидится по-настоящему. Он представил, как по всей планете вырастут из снежных валов огромные рассерженные волны. Представил, как они вот такими же куполами нависнут над островами и раздавят и исследовательские базы пришлых, и их корабли, и Крепость, и другие училища... И остров Ледяной Радуги?! Нет! Этого нельзя допустить!

— Не смейте стрелять! — закричал он, и все повернулись к нему. — Успокойтесь! Я знаю, что делать.

Он повернулся к стене. Медленно поднял руки. Вздыхнул. И плотно прижал ладони к пульсирующей белой поверхности.

Сначала Росси чувствовал только холод. Но вот кожу начало покалывать, потом жечь... Жжение усиливалось, становилось все болезненней. Росси увидел, как из-под ладоней тонкими струйками потекла кровь. Он сдвинул руку в сторону. На стене остался алый отпечаток — он быстро впитывался в снег, растворялся бесследно...

На секунду Росси стало жутко — а вдруг пришлые правы? Вдруг море просто тупая прожорливая масса, с которой невозможно договориться, которая сейчас поглотит без остатка и его, и этих идиотов? Но он вспомнил танцы шаров, их веселые, совершенно осмысленные игры. Мотнув головой, отогнал все непрошенные страхи. Море должно узнать его, принять и понять: ведь его кровь — это кровь тех, кто сам стал морем. Они связаны крепко — поколениями ушедших, общей памятью, общим чувством.

Росси вдруг почувствовал, что больше не касается поверхности, — стена прогибалась под его ладонями, отодвигалась, словно не хотела причинять ему боль. Жжение стало утихать.

— Не убивай их, — попросил он, ни в чем больше не сомневаясь. — Дай им уйти. Иначе остальные так ничего и не поймут. Так никогда и не поверят. Потому что убивать может и безмозглая, неразумная стихия. Только тот, кто мыслит, умеет прощать. Отпусти их. Пусть расскажут остальным. Пусть заставят их поверить.

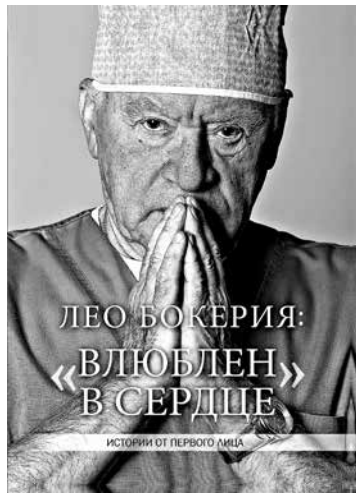
Росси не видел, что делают люди за его спиной, но чувствовал, что они его слушают. А потом сквозь плотную снежную массу пробился луч света — и купол раскрылся, подобно чашечке цветка. Гигантская волна медленно опала, застыла у самого края скалы.

Росси шагнул на нее и пошел на восток, к острову Ледяной Радуги. Снежное море слегка прогибалось под его ногами, как недавно стена под ладонями, но держало надежно, и он знал, что дойдет. Лиловое солнце садилось за горизонт. Росси уходил по колышущейся зеленовато-белой равнине, и десятки сверкающих в закатном свете шаров, радостно подпрыгивая, катились за ним.

Люди на скале молча смотрели им вслед.



Лео Бокерия:
«Влюблен
в сердце»
АСТ, 2019



Эта книга — об истинном враче, который превыше всего ценит человеческую жизнь. Кардиохирург от Бога, ученый, организатор отечественной медицины, Лео Бокерия знаменит на весь мир. На его счету — более 5000 операций на открытом сердце и целых 52 года у операционного стола. Зарубежные коллеги приезжают к нему в Центр Бакулева перенимать опыт, а многие соотечественники называют его своим учителем. «Влюблен в сердце» — искренняя биография Лео Бокерии: воспоминания великого врача, добрые слова его коллег и родных, а также репортаж из операционной!

Марко Магрини
Мозг.
Инструкция пользователя
Перевод с итальянского:
Мильда Соколова
АСТ, 2019



Анатомически мозг человека очень хорошо изучен. Его резали на тончайшие слои, просвечивали рентгеновскими лучами, рассматривали в магнитно-резонансных и позитронно-эмиссионных томографах, измеряли в электрических и магнитных полях изнутри и снаружи... Вместе с тем на вопросы о многих функциях мозга ученые до сих пор чистосердечно отвечают: не знаю. Мозг невероятно сложен: а ведь все мы — «пользователи» мозга! Можно ли не только объяснить обычному человеку, как работает мозг, но и толком научить людей им пользоваться? Марко Магрини принял достойную попытку решить эту задачу.

Сара Готфрид
Приручи свои гормоны: простые способы быть здоровой
Перевод с английского:
Ирина Мизина
Научный редактор
Наталья Зубарева
АСТ, 2019



Сара Готфрид — сертифицированный врач-гинеколог, выпускница Гарвардской медицинской школы, практик с 30-летним стажем, личный врач звезд Голливуда, автор собственной методики. Доктор Готфрид, предлагает читателям уникальную программу балансировки гормонов, уже опробованную тысячами женщин.

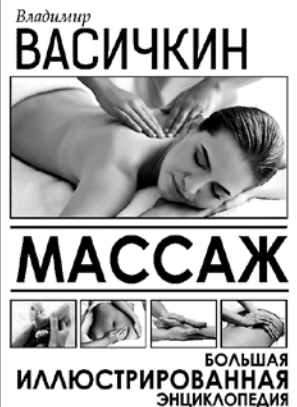
аст

ИЗДАТЕЛЬСКАЯ ГРУППА АСТ



КНИГИ

Владимир Васичкин
Массаж.
Большая иллюстрированная
энциклопедия
АСТ, 2019



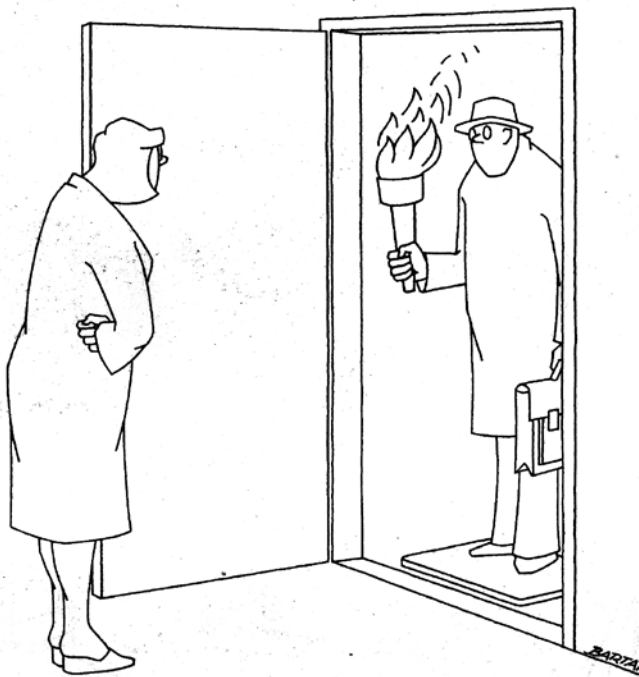
Сила, бодрость, правильная осанка и хорошее настроение каждый день — достичь всего этого помогает искусство массажа. Издавна человек пользовался им, чтобы сохранить крепким и молодым свое тело, снять усталость, облегчить боль, поднять настроение. В этой книге представлены такие практики, как точечный, сегментарный, гигиенический, спортивный и ряд других методов массажа. Специальные техники помогут выздоравливающим быстрее оправиться от ожогов, ушибов и переломов. В книгу включено около 300 иллюстраций, на которых наглядно изображены биологически-активные точки и направление движения рук при выполнении массажа.

Никки Стамп
(Не) умереть
от разбитого сердца
Перевод с английского:
Ольга Цейтлина
АСТ, 2019



Можно ли умереть от разбитого сердца? Действительно ли горе и невзгоды способны фатально повлиять на самый жизненно важный орган нашего организма? Эмоции действительно оказывают на сердце огромное влияние. Но насколько глубока связь между драматичным расставанием с партнером и сердечными заболеваниями? Доктор Никки Стамп исследует в своей книге так называемый синдром разбитого сердца — а также делится уникальным опытом, который она приобрела во время своей работы. Истории о пациентах, советы от профессионального врача-кардиолога ждут вас в этой замечательной научно-популярной книге.

Подробности на сайте издательства:
<https://ast.ru/>



Художник Мирослав Бартак

КОРОТКИЕ ЗАМЕТКИ

Фреоновое потепление

Все знают, что фреоны, соединения галогенов и углерода, — чрезвычайно вредны для планеты, поскольку они разрушают озон в тропосфере, особенно в верхних широтах. Не случайно, за открытие механизма формирования озоновых дыр за счет действия фреонов датчанин Пауль Крутцен, американец Шервуд Роулэнд и мексиканец Марио Молина получили Нобелевскую премию по химии за 1995 год, а международное сообщество приняло один из немногих работоспособных договоров по защите климата планеты — Монреальский протокол 1987 года. Производство особо вредных хлорфторуглеродов было приостановлено, а дыры над полюсами расти хоть и перестали, но сокращаются совсем незаметно.

Однако мало кто знает, что хлорфторуглероды — еще и чрезвычайно мощные парниковые газы, превосходящие CO_2 по этой способности во много тысяч раз. Именно благодаря их распылению в атмосфере Марса терраформаторы планируют быстрее всего разогреть эту планету до создания на ней плотной атмосферы. Так вот, оказывается, Монреальский протокол убергает нас от худшего варианта глобального потепления.

Австралийские исследователи из университета Нового Южного Уэльса во главе с профессором Метью Ингланом построили модель климата («Environmental Research Letters», 9 декабря, 2019 год), где нет Монреальского протокола. То есть производство хлорфторуглеродов продолжает расти со скоростью 3% в год. И эта модель показала, что прирост температуры к середине XXI века был бы огромным: в тропиках на целый градус, а на полюсах — на все три — четыре. А ведь прогрессивное человечество безуспешно бьется за удержание потепления в пределах полутора градусов. Выходит, не будь запрета фреонов, они, при всей ничтожности содержания в атмосфере, съели бы две трети этого лимита! Киотский протокол по своей эффективности и в подметки не годится Монреальскому: он сдерживает потепление лишь на 0,12 градуса.

Исследователи из своей работы делают традиционный вывод о важности международной солидарности в борьбе с CO_2 . Однако у стороннего наблюдателя возникает ощущение, что стоит посмотреть внимательнее на окружающую среду — поискать там другие вещества и процессы, борьба с которыми будет успешнее, чем с промышленным углекислым газом.

С.Анофелес

Пишут, что...
Пишут, что...



...астрономы беспокоятся, что многочисленные спутники связи, которые собирается запустить SpaceX и другие компании, помешают наблюдениям Вселенной; SpaceX обещает сделать спутники Starlink черными со стороны, обращенной к Земле, и предоставлять подробные данные об их положении («Nature», 2019, 575, 268–269; doi: 10.1038/d41586-019-03446-y)...

...генная модификация кормовых сортов кукурузы, которая усиливает и пролонгирует активность гена zmm28, повышает продуктивность растения на 10% («Proceedings of the National Academy of Sciences USA», 2019, 116, 47, 23850–23858; doi: 10.1073/pnas.1902593116)...

...в эмбрион мыши пересадили донорские стволовые клетки, из которых у взрослой мыши сформировались полноценные легкие, работавшие без признаков отторжения («Nature Medicine», 2019, 25, 1691–1698; doi: 10.1038/s41591-019-0635-8)...

...получены высокоэффективные и стабильные светодиоды на квантовых точках InP/ZnSe/ZnS; это открывает путь к практическим применениям, таким как телевизоры и дисплеи, светодиоды и солнечные батареи («Nature», 2019, 575, 634–638; doi: 10.1038/s41586-019-1771-5)...

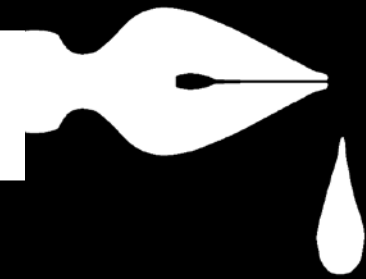
...в опытах на крысах рапамицин, известный как антибиотик, иммуносупрессор и геропротектор, останавливал возрастную когнитивную дисфункцию и ухудшение кровообращения мозга («Cell Aging», 2019; doi: 10.1111/accel.13057)...

...основные биологические процессы, в которые вовлечены мишени отбора в популяциях людей, живущих в экстремальных условиях, — это ответы на внешние стимулы, включая белки, нутриенты и глюкозу, и защитные реакции организма, в том числе воспалительный ответ («Генетика», 2019, 55, 10, 1198–1207)...

...результаты психофизиологического эксперимента с регистрацией движений глаз при мысленном воспроизведении маршрута на карте города демонстрируют превосходство мужчин («Сенсорные системы», 2019, 33, 4, 331–342)...

...единственные дети в семье чаще страдают ожирением, чем имеющие братьев и (или) сестер («Journal of Nutrition Education and Behavior», 2019, 51, 10, 1188–1193; doi: 10.1016/j.jneb.2019.08.004)...

...зарождению современной европейской цивилизации непреднамеренно способствовала христианская церковь, введя запрет на близкородственные браки и тем самым заменив власть



рода индивидуализмом и возможностью сотрудничать с чужаками («Science», 2019, 366, 6466, eaau5141, doi: 10.1126/science.aau5141)...

...у пациентов с депрессивным расстройством концентрация экзосом в сыворотке крови достоверно повышена по сравнению со здоровыми добровольцами, что, в свою очередь, может быть связано с наблюдаемой при депрессии клеточно-опосредованной иммунной активацией («Нейрохимия», 2019, 36, 4, 346–352)...

...существование «скрытых звеньев» мозговых систем — структур, которые включаются в системную работу мозга, не изменяя своего энергопотребления, показано на микро- и макроуровнях функциональной активности мозга при разных видах деятельности («Физиология человека», 2019, 45, 5, 110–115)...

...во Вьетнаме заново обнаружено самое маленькое в мире копытное, *Tragulus versicolor* из семейства Оленьковые, которого никто не видел уже три десятилетия («Nature Ecology and Evolution», 2019, 3, 1650–1654; doi:10.1038/s41559-019-1027-7)...

...в верхнем плейстоцене Якутии найдена мерзлая мумия лемминга, сходного с современными собратьями размерами тела и черепа, окраской меха, длиной нижнего резца, строением коренных зубов и последовательностью нуклеотидов митохондриального гена COI («Доклады Академии наук», 2019, 489, 1, 108–112)...

...двустворчатые моллюски *Dreissena polymorpha* могут служить прекрасным инструментом биомониторинга загрязнения водоемов тяжелыми металлами («Биология внутренних вод», 2019, 4–2, 73)...

...воссоздана история гибели людей, спрятавшихся с подполе дома во время пожара во второй половине XIV — середине XV века на месте современного Тайницкого сада московского Кремля; их останки обнаружены при проведении охранных раскопок в 2007 году («Российская археология», 2019, 3, 171–191)...

...молодые бурые рыбы фугу *Takifugu rubripes*, в организме которых содержится тетродотоксин, вырабатывают меньше «гормона стресса» кортизола, они спокойнее своих неядовитых собратьев, крупнее их и принимают менее рискованные решения («Toxicol», 2019, 171, 54–61; doi: 10.1016/j.toxicol.2019.09.024)...



Художник Владимир Реннин

КОРОТКИЕ ЗАМЕТКИ

Журавль в небе

2020 год будет годом журавля — так решил Союз охраны птиц России. Значит, в этот год надо особенно старательно оберегать этих птиц, ставших весьма редкими: из 15 видов журавлей 11 находятся под угрозой уничтожения.

Причина в том, что эти птицы и размножаются плохо — у пары выживает лишь один птенец. Кроме того, в большинстве своем журавли селятся близ мелких водоемов. А они, как из-за деятельности человека, так и из-за потепления, исчезают, высыхают, либо, наоборот, из-за плотин, становятся слишком глубокими. Например, когда в индийском парке Кеоладео высохли болотца, туда перестал прилетать на зимовку стерх. Индусы поставили стелу с надписью: «В следующей инкарнации вы можете стать представителем исчезающего вида. Помогите сохранить стерха!», но журавли пока не вернулись.

Настоящим подвижником в деле сохранения журавлей стал американский орнитолог Джордж Арчибальд. Сразу после окончания университета в 1973 году он основал Международный фонд охраны журавлей, который разместился в конюшне родителей его соратника — Рональда Соуи. Первоначальные цели фонда — восстановление белого американского журавля и сибирского стерха — казались нереальными, но их все-таки удалось достичь, а фонд стал уважаемой во всем мире организацией с многоплановой деятельностью. Именно после приезда Арчибальда в СССР начался знаменитый проект «Стерх» и был создан питомник редких журавлей в Окском заповеднике. Он же придумал использовать мотодельтаплан, чтобы показывать дорогу выращенным человеком птенцам журавлей к месту сбора в стаи для перелета. Этот прием помог таким белым журавлям найти путь из Висконсина во Флориду, а стерхам — с Ямала в Узбекистан.

Окружающий нас мир меняется стремительно, гораздо быстрее, чем биологическая эволюция позволяет к нему приспосабливаться. Вот и приходится прибегать к необычным мерам, чтобы сохранить доставшееся нам разнообразие жизни на планете. Без помощи цивилизации природа, очевидно, с этим не справится, а призыв Жан-Жака Руссо «Назад к природе!», столь же очевидно, выглядит полной утопией.

А. Мотыляев



Баланс

Екатерина Филиппова

О.Л. ТАРАСОВОЙ, Москва: *Технология производства бумаги из навоза несложна: навоз обрабатывают щелочью, чтобы удалить остатки лигнина с растительных волокон, затем отбеливают их гипохлоритом и далее из этих волокон с добавлением клеящего вещества льют бумагу обычным способом; выигрыш в экономии усилий на измельчение сырья.*

Н.Г. КОЗЛОВУ, Петрозаводск: *Глицин — тормозной нейромедиатор, однако непонятно, каким образом он может попасть в мозг при пероральном приеме: он не преодолевает гематоэнцефалический барьер, поэтому как действует глицин в таблетках и действует ли, не вполне понятно.*

С.В. АФНАСЬЕВОЙ, Саранск: *Псиллиум, или исфагула, — это перемолотая оболочка семян подорожника, но не любого, а подорожника яйцевидного *Plantago ovata*, этот вид в средней полосе не растет; богатый слизистыми веществами псиллиум используют как замену муки в рецептах, например, при безглютеновой диете, а также как лекарство при заболеваниях кишечника.*

А.А. ЩЕРБАКОВУ, Сафоново: *Растительные заменители молока изобрели отнюдь не современные веганы; миндальное молоко из выдержанных в воде и перемолотых орехов знали еще в Средние века.*

М.Н. СЕРЕБРЯКОВОЙ, Санкт-Петербург: *Лимбургский сыр, любимый Онегиным и Петром Первым, действительно пахнет человеческими ногами, точнее, то и другое пахнет метаболитами бактерии *Brevibacterium linens*.*

АВТОРАМ РЕКЛАМНЫХ ПРЕДЛОЖЕНИЙ: *Вы пишете, что «мы отправляем вам письма и не получаем ответа, но все же хотим предложить поставки наших высококачественных нефтепродуктов»; рады ответить, что всего за 15 000 рублей вы можете разместить рекламу ваших нефтепродуктов в нашем журнале.*

А.М., электронная почта: *Спасибо большое, но даже в год юбилея Периодической системы мы не можем опубликовать в «Химии и жизни» новый вариант таблицы; нам это строго запретил академик И.В. Петрянов-Соколов, и мы не можем нарушить волю основателя журнала.*

Г. С-У., электронная почта: *Нам тоже жаль, что для стихов нет места в журнале, остается надеяться на перемены.*

*Утро кра-а-а-сит нежным светом
Морду бо-о-о-дрова меня...*

Во весь голос распевая хит вчерашней ретро-вечеринки, Макс шустро сполз с кровати и отправился в ванную. Увиденное в зеркале не порадовало: морда красноватая и опухшая. Нужно было на часок пораньше остановиться. Но ведь круто было, флаги эти красные, и музыка такая заводная.

Оторву эту он удачно снял. Когда он одним движением эффектно впрыгнул во флаер, тут же рядом уселась, домой, говорит, отвези. И в подъезде подфартило, никто не приперся, пока он ее у подоконника приходовал.

Ладно, сейчас позавтракает, пару баллов здоровья на исправление внешнего вида спишет, и хоть к шефу на ковер.

На завтрак, чтобы здоровье поднять, решил приготовить полезное. Погрустнел: овсянка на воде и вареные яйца никогда не привлекали.

Яйцо выскользнуло и разбилось об угол стола, заляпав не только пол, но и сиденье стула. Полез в шкафчик за тряпкой. Локтем задел кастрюльку с залитой кипятком овсянкой. Ошпарил большой палец ноги, а пол стал похож на сюрреалистическую картину.

Так, а это уже ненормально. Бросил тряпку в мерзкую лужу, аккуратно обошел ее, сел на стул. Встал, стер с ляжки яичные брызги, пересел на табуретку. Щелкнул по браслету, отчетливо произнес: «Баланс».

На фоне стены развернулся виртуальный экран. Худая тетка в форме службы Контроля неприязненно взглянула на Макса и отчеканила:

— Здоровье — семьдесят один процент. Удача — тридцать пять процентов.

Макс чуть не свалился с табуретки:

— Как это — тридцать пять? Вчера же почти шестьдесят было. Да у меня флаер с таким балансом удачи не заведется!

Опомнился, по регламенту запросил:

— Детализация.

Мерзкая тетка, кажется, даже порозовела от удовольствия.

— Здоровье: предыдущий баланс — восемьдесят три процента. За вчерашний день списано двенадцать. Недостаток сна, употребление сверхнормативных доз алкоголя, острая пища.

— Да черт с ним, со здоровьем. Что с удачей-то? Удача, детализация.

— Удача: предыдущий баланс — пятьдесят семь процентов. Режим списания автоматически включается при входе в клуб. За вчерашний вечер списано двадцать два процента. Устранены вероятности: прыжок во флаер — перелом позвоночника, секс в подъезде — встреча с тремя братьями партнерши, вождение в нетрезвом виде — авария с переломом лодыжки и лишение прав. Детализировать по каждой позиции?

— Нет. А со здоровья или социалки хоть пару баллов перекинуть? Меня ведь даже в общественный транспорт с такой удачей не пустят.

— Баллы со здоровья можно переносить при балансе более девяноста. По социальным услугам ближнему — задолженность сорок шесть процентов. Предупреждение: при задолженности свыше пятидесяти процентов начнутся списания с баланса удачи.

Щелчком выключив браслет, Макс потерянно застыл. И что теперь делать? На работу по-любому нужно идти, если еще и общественная польза в минус уйдет...

Выверяя каждое движение, оделся, вышел на улицу. Флаер завести даже не пробовал. Двери общественного райдера, естественно, захлопнулись перед носом. Поплелся пешком, настороженно оглядываясь. На переходе попытался помочь дряхлой бабке перебраться на другую сторону — та его чуть палкой не огрела. Ей, старой ведьме, видите ли, за самостоятельность баллы на здоровье капают.

Какая-то здоровенная тетка мельком взглянула на растерянное помятое лицо, пожалела. Сунула в руки тяжелую сумку, до соседнего дома донести. Ну хоть что-то на социалку капнет. Донес сумку до подъезда, чуть рука не отвалилась. Присел на лавочку. Тяжело задумался: а ведь попал по полной. Отправка в поселение не за горами.



Художник Е. Станикова



НАНОФАНТАСТИКА

От тягостных мыслей отвлек отчаянный крик за спиной:
— Дядя, дядя, помогите!
Оглянулся — под деревом приплясывала совсем мелкая девчонка.
— Что случилось?
— Мой Муркан, он на дереве. Он совсем маленький, плачет и слезть не может. Дядя, помогите. Ну хотите, я вам всю свою удачу отдам...

Макс метнулся к дереву — и остановился. Не могут дети удачей делиться. С другой стороны, не совсем же он скотина. Да и котенка жалко.

Снял куртку, полез. Ветки низко, лезть удобно. Естественно, при своей удаче немедленно порвал брючину о какой-то сучок, ногу разодрал. Загнал занозу под ноготь. Ободрал щеку. Наконец добрался до нужной ветки. Маленький котенок сидел на самой середине и истошно орал. Макс пополз к нему. Уже протянул руку и схватил негодника за шкуру — и тут ветка громко хрустнула. Снизу раздалось дружное «ох».

Вздрогнул, замер. Вот и все, приехали. Ведь ясно было, чем закончится. Идиот. Посмотрел вниз — откуда-то набежала толпа бабок и теток, тарашатся. Страшно-то как. А, черт с ним, не жить же здесь. Зажав покрепче отчаянно

борющегося за свободу котенка, осторожно двинулся задом наперед к стволу.

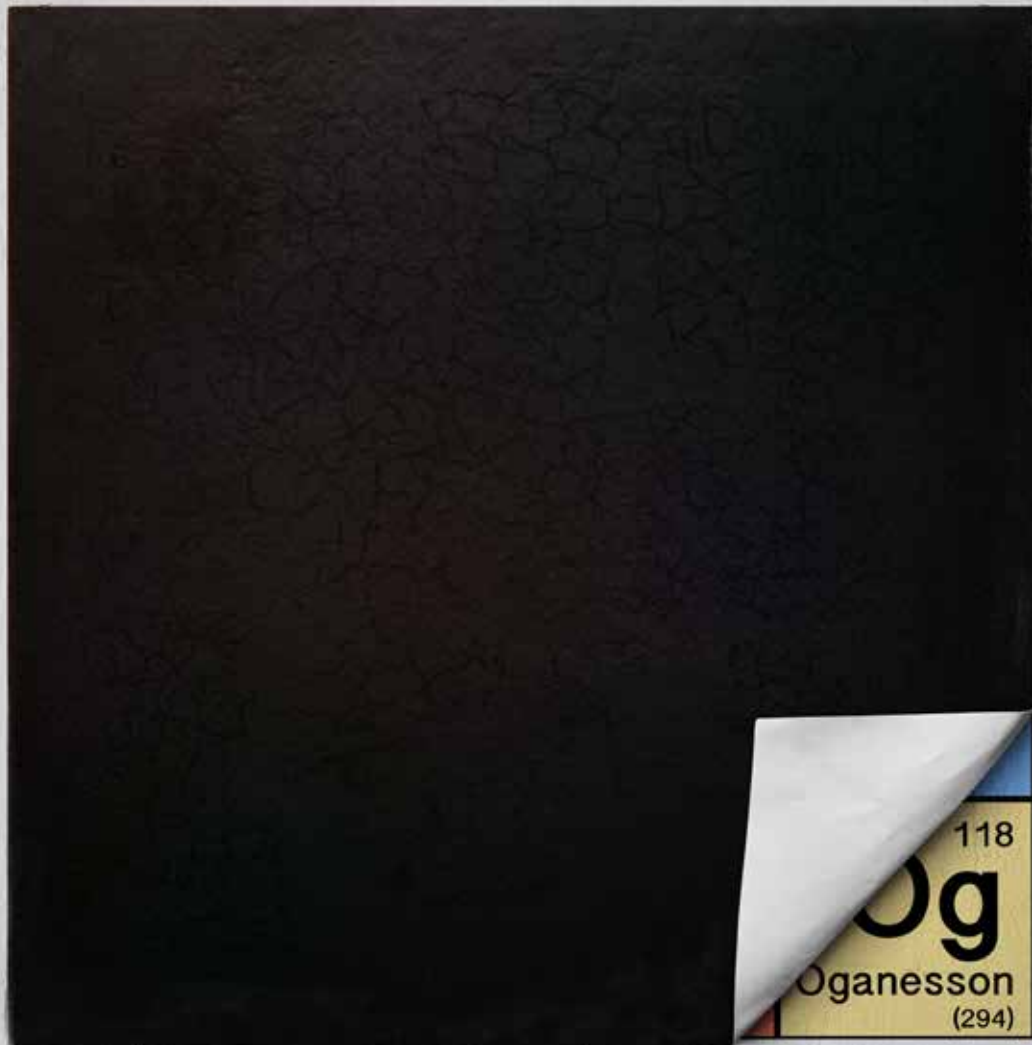
Как слетел вниз, не помнит. Судя по восторженным лицам зрителей — не хуже белки. Отдал котенка девочке. Тетки и бабки охали и благодарили. Макс кланялся и улыбался. Наконец отвязался и похромал на работу.

На ходу запросил баланс — хоть что-то за это пушистое недоразумение подкинули?

Знакомый противный голос сообщил:

— Здоровье — семьдесят процентов. На рану необходимо наложить шов. Удача — девяносто. Один процент — за оправданный риск при спасении животного. Пятьдесят четыре — от свидетелей происшествия. Десять процентов добавлено к балансу социальных услуг.

Макс радостно подпрыгнул, скривился от боли в ноге и бодро зашагал к офису. Это повезло. Это здорово. Спасибо добрым бабкам — этого не меньше чем на пару вечеров в клубе хватит! Да и сестрице младшей можно процентов пять удачи подкинуть, на завтрашний экзамен. Или десять? И еще пятерку — той оторве. Вот прямо сегодня вечером найдет ее в клубе и нормально познакомится.



**ПРИРОДА — НЕ ЧЕРНЫЙ ЯЩИК.
ПОЗНАЛИ ЗАКОНЫ И СВЯЗИ,
СВЕЛИ ЭЛЕМЕНТЫ В ТАБЛИЦУ.
ВОССЛАВИМ НАУКУ И РАЗУМ!**