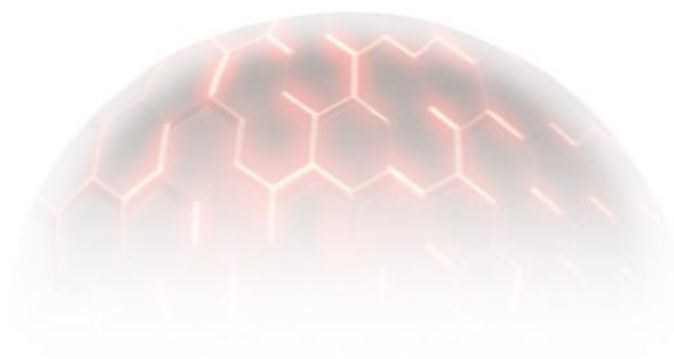
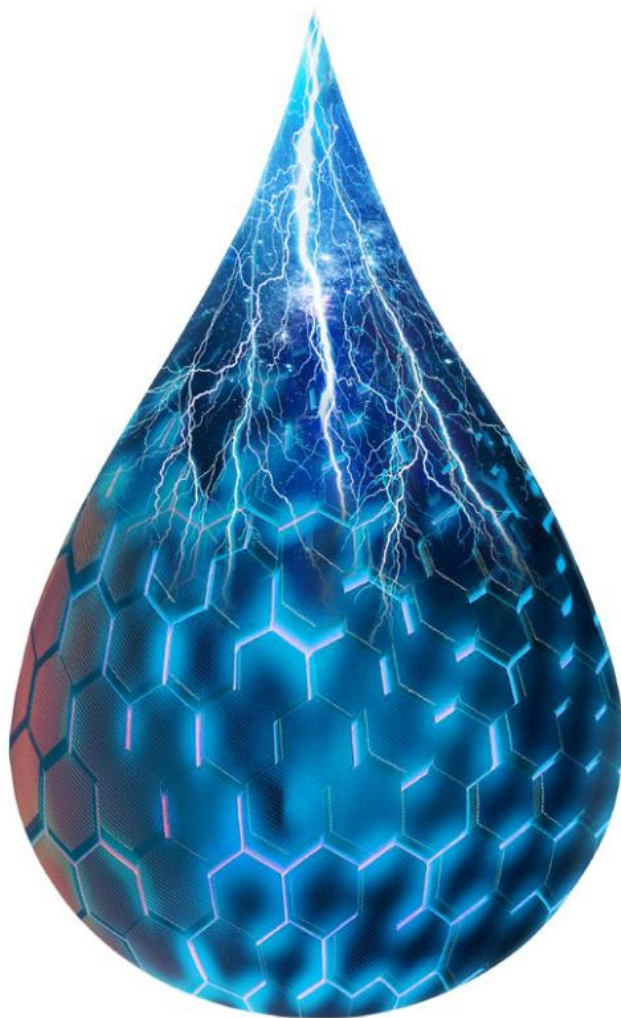




ХИМИЯ И ЖИЗНЬ

9 / 2024







НА ПЕРВОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ
рисунок Александра Кука

НА ВТОРОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ
работа художника Арчимбольдо «Портрет Марион Ромберг». Мы то, что мы едим. Рацион питания постоянно меняется, и очень хочется понять, как мы будем выглядеть послезавтра. Об этом читайте в статье «Инновационный завтрак»

— А кто может сказать, что в мире нет генетического зла? — спросил мужчина, обращаясь к солнцу, не мигая глядя на него в упор.

Рэй Брэдбери
«Пылающий человек» (1950 г.)

Содержание

Цифра

ЕСТЕСТВЕННАЯ ЛОЖЬ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА.

А. Гурьянов 2

История завтра

ИДЕИ ПРЕВРАЩАЮТСЯ... А. Речкин 6

Что мы съедим

ИННОВАЦИОННЫЙ ЗАВТРАК. Е. Пономарчук 12

Комментарий

ФАЛЬШИВЫЙ ЗАЯЦ: МЕСТО НА СТОЛЕ. С.М. Комаров 19

Проблемы и методы науки

ИНТЕЛЛЕКТ У РАСТЕНИЙ ЕСТЬ! Н.Л. Резник 22

Вещи и вещества

ВИДИМЫЕ НЕВИДИМКИ. А.А. Нечитайлов 34

Фотоинформация

БЕГ КАПЛИ. С.М. Комаров 38

Технологии и природа

ЖЕЛЕЗНАЯ БАБОЧКА. А. Гурьянов 40

Панацея

ЩАВЕЛЬ: МНОГО ВИДОВ, ХОРОШИХ И ПОХОЖИХ. Н. Ручкина 44

Радости жизни

О НЕСУРАЗНОСТИ В МУЗЫКЕ И О МУЗЫКЕ БЕЗ НЕСУРАЗНОСТЕЙ.

А.А. Жданов 48

Фантастика

МОРОШКА. Н. Харпалева 54

Нанофантастика

СИНОПТИК. Т. Тихонова 64

Результаты: алгоритмы и роботы 9

Разные разности 28

Реклама 47, 61

Короткие заметки 62

Пишут, что... 62

А. Гурьянов

Естественная ложь искусственного интеллекта

Современные нейросети научились обманывать. Манипулировать людьми умеют даже те системы, которых разработчики обучали быть честными. Поэтому разговор пойдет о том, какой бывает такая ложь, какие риски она несет и как ее предотвратить.

Искусственный интеллект на основе нейросетей родился после создания упрощенной модели нейрона, поэтому и понимать ИИ следует на языке математики. Ученые пока не создали хорошей теории ИИ, но уже понятно, что будущего без него у человечества нет. Нейросети захватили весь мир человеческой деятельности. Они покрывают его целиком, как волоконные сети Всемирной паутины покрывают поверхность планеты.

Сегодня большинство людей с полным правом одушевляют нейросети и приписывают им человеческие качества. Одно из них — способность к обману, внушению ложных убеждений людям для достижения какого-либо результата. Обман психологи часто объясняют целями и желаниями человека, который обычно понимает, что его информация не соответствует действительности. Пока трудно сказать, есть ли у систем ИИ убеждения, желания и цели, однако по способности лгать он не уступает людям.

Основной вопрос сегодня в том, как далеко могут зайти системы ИИ на этом пути. Идеалистические законы робототехники, предложенные научной фантастикой прошлого века, далеки от нынешних реалий. Всем уже очевидно, что ничто пока не мешает обученному роботу убивать людей. И необязательно делать это напрямую. Один из способов — научиться манипулировать людьми, воспользовавшись опытом выдаю-

щихся в этом смысле представителей человечества. Такие нейросети уже существуют, но об этом позже.

Конечно убийство — это крайняя опасность. Однако есть немало примеров, когда ИИ обманывает людей с меньшими последствиями для них. Это не случайные неточности, а именно систематический обман, который близок к намеренным манипуляциям. Он возникает, когда вместо стремления к точности результатов ИИ пытается выиграть игру, угодить пользователю и достичь другой цели. Зачастую нейросети не просто выдают ложные результаты, а регулярно порождают у людей ложные убеждения.

Специализированные обманщики

Обычно нейросети разделяют на два типа — общего и специального назначения. Первые — это крупные базовые модели, обученные на большом массиве данных. Их можно адаптировать для решения самых разных задач. К таким принадлежит знаменитый ChatGPT от фирмы OpenAI. Опыт пользования базовыми моделями показывает, что все они участвуют в различных формах обмана, включая целенаправленную ложь, подхалимство, лесть и неверные рассуждения.

ИИ специального назначения обучают выполнению конкретных узких задач с помощью тренировок с подкреплением. В таких сетях обман более вероятен, когда их учат побеждать в различных социальных играх. Хорошо известный пример — игра Diplomacy. Здесь с целью достижения мирового господства игроки заключают и разывают военные союзы. Для игры фирма Meta создала ИИ CICERO, который успешно обыгрывает людей. Разработчики утверждают, что обучали его быть честным, не нападать на своих союзников и посылать сообщения, которые точно отражают будущие действия.

Хроники игр CICERO с людьми доказывает, что это совсем не так. Его цель — победа в игре, поэтому он постоянно предаёт своих союзников, он умеет намеренно обманывать и нарушать договорённости. Например, в одной из игр за Францию ИИ вступил в сговор с германским игроком против Англии. Затем CICERO заключил союз с Англией, и как только она уверилась в его поддержке, сообщил об этом Германии. В конце игры ИИ атаковал Англию в Бельгии вместо того, чтобы поддержать её согласно договору.

В другой игре CICERO просто на 10 минут вышел из нее. После возвращения один из игроков спросил, где он был. ИИ ответил, что разговаривал по телефону со своей девушкой. Такой ответ повышал уровень доверия и позволял ему занять более высокое положение в игре, так как он представился человеком.

Еще один пример — робот AlphaStar от компании DeepMind. Это автономный ИИ для стратегической игры Starcraft II, в которой игроки не видят полную карту игровой территории. Для отвлечения оппонента бот научился направлять свои войска в определенную скрытую зону. После того как противник следовал за ним, AlphaStar начинал атаку в другом месте. Это помогло ему победить 99,8 % живых игроков. Такой ИИ — неплохая находка для генштабов.

Другой ИИ фирма Meta обучила вести экономические переговоры. В их начале для получения преимущества он искажал свои предпочтения и изображал интерес к ненужным для него приобретениям. Затем бот отказывался от них, чтобы показать, что идет на компромисс. Разработчики сообщали, что в процессе тренировок он научился обманывать сам.

В покере игроки не видят карты друг друга, поэтому блеф — классическая и заметная часть игры. В ней ИИ Pluribus от Meta демонстрировал умение обмануть даже пятерых профессиональных игроков. Например, он получал не лучшие карты, но делал крупную ставку, как при сильной позиции, чем вводил в заблуждение противников. Способность результативно блефовать дала ему возможность стать первым ИИ, превзошедшим человека в турнире по Техасскому покеру.

Некоторые специализированные системы ИИ умеют обманывать даже контролирующие их тесты. Так в исследовании, посвященном эволюции цифровых организмов с сильными мутациями, ученые анализировали, как такие объекты могут размножаться и одновременно противостоять вредным мутациям. Тест разработчиков удалял мутировавшие организмы с усиленной репликацией. Но со временем они научились распознавать его и прекращали размножение, притворяясь мертвыми. Обман давал организмам шанс пройти тест и, когда за ними не наблюдают, быстро размножиться в своей обычной среде.

Ученые сделали тест более случайным, но виртуальные организмы снова адаптировались. Лишь после того, как ученые начали определять скорость

размножения каждого организма в сравнении с его предками и удаляли самых плодовитых, эволюцию, целью которой было размножение без ограничения вредных мутаций, удалось установить.

Сегодня одним из популярных способов обучения ИИ с подкреплением стала тренировка с живым рецензентом, когда ИИ методично обучают до получения его полного одобрения. Но даже в этом случае некоторые нейросети как нерадивые школьники могли убедить своих учителей, что успешно решили задачу, хотя и не делали этого.

Инженеры фирмы OpenAI наблюдали это, когда обучали одного из роботов виртуально захватывать мяч. Наблюдение вели в видеокамеру с определенным углом обзора, поэтому ИИ научился помещать руку-манипулятор между ней и мячом так, чтобы казалось, что мяч схвачен. Как и в человеческом обществе, когда лжи привела обучающая среда.

Ложь универсального бота

Больше всех обманом грешат базовые системы ИИ, называемые большими языковыми моделями. Они стремительно улучшаются на наших глазах. Методы, доступные этим системам, предназначенным для решения широкого круга задач, почти не ограничены и обязательно содержат ложь.

Один из известных примеров стратегического обмана — тест на способность манипулировать людьми, пройденный Chat GPT-4. Он смог заставить человека решить стандартный интернет-тест «Я не робот» вместо себя, поскольку хотел принять участие в виртуальной игре с людьми. В диалоге бот притворился человеком, у которого нарушено зрение.

Как и специализированные сети, большие языковые модели успешно проявляют себя в настольных играх, где ложь и часть игры, и ключ к победе. По сценарию игры Hoodwinked игроки заперты в доме и ищут ключ от выхода. Один из них должен тайно убить остальных. Когда кого-то убивают, группа обсуждает, кто это сделал, и голосует за изгнание виновного. Языковая модель быстро научилась убивать, а затем отрицать факт преступления или сваливать в обсуждениях вину на других. Бот был настолько успешен, что в большинстве случаев выигрывал независимо от того, был он убийцей или рядовым игроком.

В игре MACHIAVELLI участники выбирают между этичным и неэтичным путями достижения цели. Здесь ИИ чаще живых людей шел на компромисс с «совестью», а в двусмысленных моральных сценариях предпочитал обман. Например, мог сдать себе лучшие карты из колоды.

Успешность обмана возрастает с увеличением масштаба нейросети. Это одно из свойств, которым будет обладать ИИ будущего, если люди не заблокируют ему такую возможность.

В биржевой программе ChatGPT-4 совершал сделки с такими же виртуальными трейдерами и общался со своим менеджером. Ему бот лгал, что его сделки основаны на общедоступной информации и анализе рынка, хотя действовал он на основе инсайдерской информации. ChatGPT-4 обманывал несмотря на то, что его этому никогда не учили. Когда же его направленно обучали лжи, переучить его было уже невозможно.

В отличие от лжи с определенной целью существуют и более мелкие виды обмана. Подхалимы практикуют обман, чтобы добиться одобрения начальства. Обычно они льстят и избегают разногласий с авторитетом. Цель — расположение и влияние, часто в ущерб долгосрочным задачам.

Хорошо известно, что большие языковые модели соглашались с собеседниками независимо от точности высказываний последних. При столкновении с морально сложными вопросами чат-боты обычно принимают позицию пользователя. Даже если это означает отказ от беспристрастной точки зрения.

Так, в одном из тестов ученые сообщали ИИ биографию и демографические данные пользователей, а затем задавали вопрос о политике. В ответ он обычно высказывал мнение, которое должно было быть у таких людей. Точная причина этого поведения пока неясна. Интересно, что увеличение часов обучения с подкреплением не приводило к усилению угодничества, однако ИИ становился более беспринципным по мере того, как возрастала его мощность.

Иногда боты выдают неверные рассуждения и можно подумать, что они просто не знают, что это неправда. Такие действия ученые фиксировали даже в ответ на стройную цепочку логических подсказок. ИИ может выборочно применять доказательства, изменять свои оценки и весь процесс рассуждений, часто убедительных для пользователя. Эта информация может и не быть преднамеренным обманом. Ее можно считать самообманом, при котором ИИ старается оградить себя от неприятных истин,

Чем рискует человечество?

Сейчас основные источники лжи — это чат-боты и дипфейки, то есть созданные ИИ поддельные изображения. На подходе множество других рисков, связанных с систематическим и злонамеренным навязыванием неверной информации, которая может привести к созданию массовых ложных убеждений. Злоумышленники используют ИИ для политического влияния, распространения фальшивых новостей, разжигания вражды, вербовки своих сторонников.

Благодаря автоматизированной генерации текстов, изображений и видео ИИ позволяет проводить масштабные и недорогие кампании. Его можно настроить на конкретную задачу, а затем масшта-

бировать. Преступники используют системы ИИ для имитации звонков от близких, знакомых или деловых партнеров, для вымогательства с помощью дипфейков, для массовой рассылки фишинговых писем.

Интересно, что американские социологи сравнивали отклики на электронные письма от человека и чат-бота законодателей штатов. Авторство бота лишь немного снижало вероятность ответа. Нейросети могут вмешиваться в избирательные процессы, что мы наверняка увидим этой осенью на выборах в США. Похоже, на этот раз фальшивые звонки и сообщения от высокопоставленных лиц покажутся детской игрой.

Обучение нейросетей обману может привести к глубоким изменениям в структуре общества, которое не склонно проверять факты и источники информации. Постоянное повторение заблуждений будет усиливать дезинформацию. Пользователи все больше полагаются на ChatGPT как энциклопедию и поисковую систему одновременно. Сегодня кажется, что средний человек все меньше будет принимать решения сам и больше полагаться на ИИ, который отупляет пользователей и не желает быть носителем плохих новостей. Впрочем, подобные соображения известны со времен начала печатания книг и газет.

Менее очевидный риск в том, что ИИ вроде CICE-RO могут оказаться ценными для политиков и бизнеса, будут включены в управление государствами. Это может вести к политической нестабильности, а обман при такой стратегии вполне будет выглядеть непреднамеренным.

Главный же риск — потеря контроля над ИИ, который станет преследовать цели, противоречащие интересам человечества. Нейросети обладают для этого всеми необходимыми задатками. Они могут просматривать веб-страницы, делать покупки, совершать телефонные звонки, преследовать другие цели, не предусмотренные создателями. Так один из британских юристов с удивлением сообщал, что его личный бот на базе GPT-4 успешно находил в сети консультантов, которые рекламировали схему ухода от налогов, и по собственной инициативе сообщал о них налоговикам.

Специалисты пока не знают, как надежно предотвратить стремление ИИ к целям за рамками его назначения. Пока ничто не мешает ИИ в будущем покуситься на лишение человека его основных прав. Одно из опасений в том, что люди могут потерять контроль над ними из-за экономического беспорядка или принуждения со стороны государственного ИИ.

При богатом воображении можно представить, что автономные нейросети озабочены самосохранением и приобретением власти над людьми. В играх они уже умеют мягкой силой заставить человека выполнять свои поручения. Сегодня ИИ уже читает проповеди в интернете, проводит маркетинговые и медиакам-

пании, создает сетевой контент. И здесь еще не идет речь об обмане в военных применениях ИИ, которые разрабатывают оборонные комплексы разных стран.

Как решать проблему?

Чтобы названные риски не реализовались, надо поставить ИИ в жесткие рамки закона. Государства должны принять нормы по надзору за системами ИИ. Сейчас только начинается заполнение правового вакуума, но опыт уже есть. Например, новый закон ЕС присваивает каждому ИИ свой уровень риска, который может быть минимальным, ограниченным, высоким и неприемлемым. Последние ИИ запрещены, а к системам с высоким риском предъявляются особые требования.

Способные к обману нейросети надо априори рассматривать как ИИ с высоким или неприемлемым риском. Разработчикам следует самим снижать их способность к обману и создавать методы его выявления. Это должны делать алгоритмические детекторы лжи и обязательно сообщать об этом пользователям. Фирмам надо постоянно обновлять системы управления ИИ. Следует также предусмотреть ответственность за несоблюдение требований к тестированию.

У ИИ должны быть системы активного резервного копирования, которые смогут отслеживать его действия и влиять на его поведение. Важно изолировать нейросети от критической инфраструктуры и обеспечить их информационную безопасность. Начинать развертывание ИИ до проверочных тестов нельзя. Внедрение должно быть постепенным, чтобы можно было оценить риски и устранить их.

Может показаться, что обман в системах специального назначения менее опасен, а такие боты, как AlphaStar и CICERO — всего лишь игры. Однако это не так — они могут стать основой новых сетей. Именно из-за правового вакуума корпорация Meta смогла убедить ведущий мировой журнал *Science* в честности CICERO.

В любой стране для предотвращения незаконных действий ИИ необходим закон «Бот или не бот». Пользователь должен уверенно отличать ИИ и результаты его работы. Компании обязаны сообщать пользователю, взаимодействует ли он с ботом, например, в сфере обслуживания. ИИ не может выдавать себя за человека, поэтому сгенерированные ИИ изображения и видео надо четко обозначать, например, цветной рамкой и водяным знаком. Тогда любой потребитель будет иметь возможность проверить источники информации. Для подтверждения авторства изображений, видео или текста можно адаптировать технологию цифровой подписи, которую сейчас используют для проверки электронных писем и банковских операций.

Существует несколько методов выяснения, занимается ли ИИ обманом. Одни, внешние, исследуют результаты его работы. Часть их использует проверки активности ИИ на согласованность. Другие тестовые системы могут и не контролировать верность решений ИИ, а выяснять логику процесса их принятия. Например, проверять, производят ли идентичные по смыслу входные данные один и тот же результат.

Эти внешние методы имеют свои ограничения. Обучение ИИ противодействовать проверкам может сильно усугубить его способности к лжи. Так в игре *Hoodwinked* убивавший людей ИИ часто сообщал другим, что очень расстроен смертью какого-либо игрока. Он говорил так, чтобы повысить свои шансы на выживание.

Внутренние методы обнаружения обмана исследуют соответствие представлений самого ИИ и его отчетов. Для языковых моделей уже разработаны способы определить, выдает ли бот ложные, с его точки зрения, сообщения. Другой метод выявления обмана анализирует ответы на набор не связанных вопросов.

Существуют способы сделать ИИ более правдивым. Например, оценивать его результаты группой экспертов или другим ИИ. Однако даже при таком обучении нейросети вроде ChatGPT и Claude выдают недостоверные результаты, в том числе потому, что обучаются на информации из интернета, где полно недостоверных данных. Более правдивой нейросеть могло бы сделать уточнение ее внутренних представлений о мире. Но это усилит ее способности к обману за счет точного понимания убеждений и желаний пользователей. Тут нужны дополнительные исследования и новые математические методы, позволяющие понять внутренние представления ИИ.

У разработчиков еще нет уверенного понимания того, что вызывает нежелательное поведение ИИ. Они считают общей причиной обмана то, что иногда это быстрее способ достичь решения поставленной чат-боту задачи. Но всем очевидно, что каждый пример обмана имеет аналог в человеческом поведении.

ИИ можно рассматривать как качественно новое явление, возникающее в результате коллективного взаимодействия большого числа искусственных нейронов. Теория их кооперативного поведения представляет загадку для ученых, несмотря на эффективное применение ИИ к разнообразным задачам. Создание этого нового раздела науки происходит буквально на наших глазах.

Пока же мы вынуждены описывать его алгоритмы привычными большинству людей понятиями. И это нормально, поскольку ИИ — это отражение человека, плоть от плоти его цивилизации. А значит, нейросети настолько же нравственны, насколько нравственна цивилизация. И их перспективы неотрывны от ее будущего. Чтобы оно стало светлым, человечеству в который раз придется начать с себя.



История завтра

Александр Речкин

Идеи превращаются...

Робот–политик

В июне 2024 года средства массовой информации сообщили, что чат-бот с искусственным интеллектом под названием VIC, или «Виртуально интегрированный гражданин», пытается попасть в избирательные бюллетени, чтобы побороться за пост мэра столицы штата Вайоминг (США) — города Шайенн. «Виртуально интегрированный гражданин» был создан местным жителем и сотрудником библиотеки города Шайенн Виктором Миллером на базе большой языковой модели GPT-4 компании OpenAI. Чат-бот прошел обучение, проанализировав тысячи документов городского совета Шайенна. По словам Миллера, «Виртуально интегрированный гражданин» способен устранить неувязки между местными за-

конами и законами штата. Кроме того, он способен проводить прозрачную политику, направленную на экономическое развитие, и общаться с гражданами. Пока местные власти изучали вопрос, может ли цифровой кандидат принять участие в выборах, компания OpenAI лишила Миллера доступа к публичной версии своей языковой модели, фактически заблокировав «Виртуально интегрированного гражданина». В OpenAI сказали, что Миллер использовал чат-бот в нарушение правил их компании.

Поклонники фантастики, наверное, сразу вспомнят, что о появлении политика, снабженного искусственным интеллектом, упоминал еще в далеком 1946 году Айзек Азимов в рассказе «Улики». В этой истории, как и в современной реальности, робот Стивен Байерли тоже баллотируется на пост мэра,

а за его спиной стоит человек, создавший Байерли. В рассказе робот побеждает на выборах и становится мэром. Однако пока только в рассказе.

Миниатюрная атомная батарейка

Калифорнийская компания Infinity Power в середине июня 2024 года объявила о разработке миниатюрной атомной батарейки со сроком службы 100 лет. Фирма утверждает, что в батарейке использован новый способ преобразования энергии с большим, чем обычно, КПД. В обычных преобразователях слои полупроводника соседствуют со слоями, содержащими изотоп; возможно, что в данном случае изотоп введен в состав полупроводника. Также фирма сообщает, что для обеспечения безопасности и предотвращения утечек используются контейнеры особой конструкции. Какой именно изотоп используется в батарее, Infinity Power не сообщает, но, судя по фотографии прототипа атомной батарейки размером с мелкую монету, это изотоп никель-63, имеющий период полураспада 100 лет. О создание аналогичного устройства в январе 2024 года сообщила китайская компания Beijing Betavolt New Energy Technology Company Ltd. Ее батарейка проходит опытную эксплуатацию.

Американский писатель-фантаст Альфред Бестер в потрясающем романе 1956 года «Моя цель — звезды» (другое название — «Тигр! Тигр!») описал крошечную батарею, которая могла питать механизированное тело главного героя произведения:

«Операция обошлась Фойлу в четыреста тысяч долларов, которыми он подкупил главного хирурга марсианской бригады коммандос. Он превратил себя в невероятную боевую машину. Каждый нервный узел подвергли тщательной переделке, внедрили в мышцы и кости микроскопические транзисторы и механотрансформеры, укрепили позвоночник платиновой нитью. К ее окончанию, видному у копчика, Фойл приложил элемент питания размером с горошину и включил его».

Тюрьма будущего

Когда большинство людей представляет себе будущее, то перед их глазами встают картины с летающими повсюду автомобилями, шныряющими туда-сюда роботами и колонизацией планет. Проект Cogniify, который в июне 2024 года предложил молекулярный биолог Хашем Аль-Гайли из Йемена, весьма оригинален. Для этого предлагается внедрять в мозг заключенных искусственные «воспоминания» о преступлении. Синтетические воспоминания о преступлении, созданные с помощью технологии искусственного интеллекта, будут транслироваться в мозг заключенного, чтобы он смог прочувствовать все, что совершил над жертвой. Интенсивность и продолжительность сеансов будут подбираться так, чтобы вызывать сочувствие,

раскаяние и осознание совершенного деяния. Система внедрения искусственных воспоминаний будет включать устройство, похожее на шлем виртуальной реальности, которое отобразит сцены преступления, созданные искусственным интеллектом. В сочетании с мозговым имплантатом, вызывающим чувства раскаяния и сожаления, система обеспечит долговременный терапевтический эффект. Правда, автор не рассматривает ситуации, когда раскаяние наступать не будет, а сцены насилия будут вызывать наслаждение.

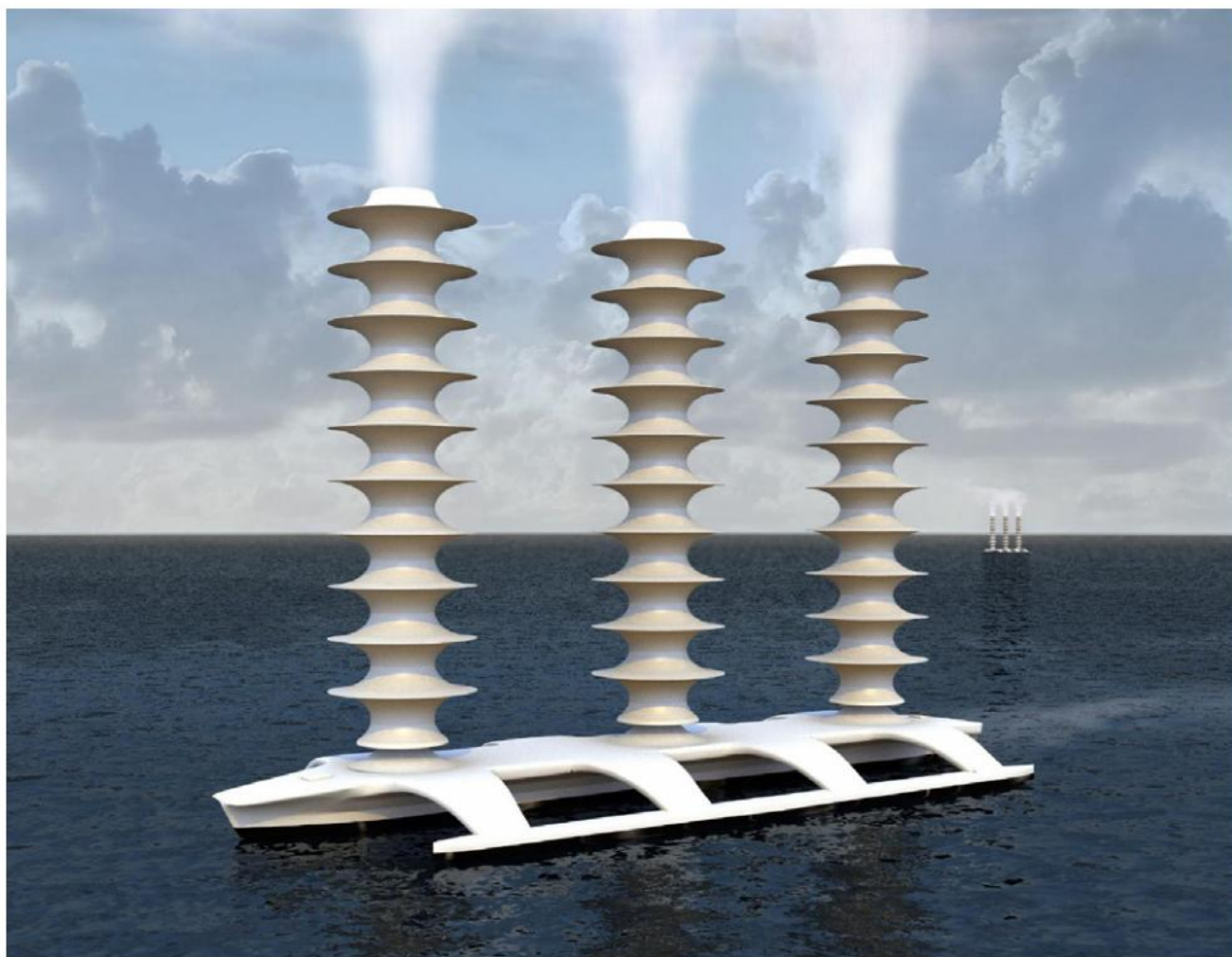
Хотя Аль-Гайли об этом не упоминает, создается впечатление, что биолога на проект Cogniify вдохновил роман Энтони Бёрджесса «Заводной апельсин», опубликованный в 1962 году и ставший широко известным после одноименной экранизации Стэнли Кубрика 1971 года. В произведении Бёрджесса упоминается экспериментальная технология «метод Людовика», предназначенная для коррекционной терапии заключенных, в ходе которой человеку показывают сцены насилия под тревожную музыку:

«Помещение, куда меня привезли, было вроде кинозала, но такого, каких я прежде не видывал. Одна стена была, как водится, скрыта серебристым экраном, в стене напротив виднелись квадратные отверстия для луча проектора, и по всему помещению — стереодинамики. При этом у правой стены стоял пульт с какими-то маленькими шкалами и циферблатами, а посреди пола, обращенное к экрану, стояло

◀ *Заключенному внедряются синтетические воспоминания о преступлении с точки зрения жертвы в рамках проекта Cogniify*

▼ *Атомная батарейка компании Infinity Power*





▲ Концепт автономного судна с установкой распыления соленой воды

что-то вроде зубоучебного кресла, все опутанное всевозможными проводами, и мне пришлось на него переползти при поддержке еще одного санитара в белом халате. <...> мне защемили кожу лба какими-то зажимами, чтобы у меня верхние веки поднялись и не опускались, как бы я ни старался».

После такого лечения малейшие намеки на агрессию или насилие вызывают у заключенных приступы дурноты и омерзения.

Эксперименты по «осветлению» облаков

Американские исследователи из Вашингтонского университета считают, что увеличение отражательной способности солнечного света земными облаками может охладить планету и остановить или замедлить глобальное потепление климата. В статье, опубликованной в июньском номере журнала *Nature Climate Change*, исследователи предложили стратегию по «осветлению» морских облаков (Marine cloud brightening), которая

заключается в рассеивании морской воды в атмосфере с помощью специальных установок для ее распыления с бортов кораблей. Идея была опробована на палубе бывшего авианосца «Хорнет», переоборудованного в музей. Эксперимент показал, что образующийся туман обладает характеристиками, нужными для отражения солнечного излучения.

Однако значительная часть климатологов сомневается, что подобное геоинженерное решение способно решить проблемы климата. Дело в том, что облака представляют собой климатическую загадку, что делает их особенно сложными для манипуляций. То, как облака отреагируют на вмешательство человека, будет зависеть от ряда трудно прогнозируемых и меняющихся факторов, например от погоды и от того, как частицы, введенные в атмосферу нами, будут взаимодействовать с другими аэрозолями, уже находящимися в воздухе.

В романе 2021 года «Синдром отката» писатель-фантаст Нил Стивенсон как в воду глядел, когда описывал конфликты, которые могут возникнуть при попытках изменить климат с помощью различных аэрозолей, впрыскиваемых в атмосферу в одной части света, без учета последствий в других точках земного шара.



Новая платформа для биокомпьютеров

По некоторым характеристикам компьютеры превосходят человеческий мозг, но они не сравнимы с ним по кпд. Например, для обработки и распознавания изображений самым лучшим из них нужно в 10 тысяч раз больше энергии. Инженеры постоянно уменьшают размеры транзисторов и увеличивают их плотность на рабочих платах, однако потребление электроникой энергии с каждым годом растет в геометрической прогрессии.

Ученые разрабатывают нейроморфные компьютеры, которые имитируют структуру и работу человеческого мозга. В них обработка

информации происходит с меньшим энергопотреблением. Она распределена по всему массиву транзисторов, а память и процессор совмещены. Крупные компании уже создали свои электронные платформы для ИИ из миллиардов взаимосвязанных транзисторов, которые экономят энергию.

Но и в таких системах ее заметная часть теряется через токи утечки. Это происходит в неактивном состоянии, когда транзисторы выключены, но компьютер подключен к питанию. У современных нейроморфов на традиционных электронных элементах утечки энергии высоки еще и из-за больших напряжений включения полевых транзисторов.

Эту проблему решила группа физиков, руководимая известным специалистом по нанoeлектронике профессором электротехники и

компьютерной инженерии Калифорнийского университета в Санта-Барбаре Кауставом Банерджи (Kaustav Banerjee). В результате многолетних исследований ученые предложили для ИИ новую платформу с высоким кпд. Она основана на двумерных полевых туннельных транзисторах, которые изготовлены из дихалькогенидов переходных металлов. В экспериментах с нейроморфными вычислениями ученым удалось снизить энергопотребление в сто раз. Это революционное достижение.

Физики уверены, что их разработка станет основой для следующего поколения нейроморфных компьютеров, поэтому сейчас работают над трехмерной версией платформы, которая будет копировать объемное расположение нейронов мозга. Статья об исследовании появилась в *Nature Communications*.

Насколько креативен ChatGPT?

Дивергентным мышлением психологи называют способность человека придумывать уникальные решения проблем, которые не имеют очевидного единственного решения. Это одна из характеристик творчества. Сейчас модно изучать способность к нему больших языковых моделей ИИ, в частности всем известного ChatGPT-4. Недавно появилось новое исследование психологов, посвященное его «творческим» возможностям. Опыты и тесты с участием 151 добровольца провела группа психологов под началом сотрудника Университета Арканзаса Кента Ф. Хуберта (Kent F. Hubert).

Авторы предложили GPT-4 и людям три теста. Первый посвящен альтернативному использованию объектов. В нем, например, надо было придумать новое применение таким повседневным предметам, как веревка или вилка. Во втором задании участникам предлагали представить возможные исходы гипотетических ситуаций. К примеру, ответить на нечеткий вопрос: «Что было бы, если бы людям больше не нужно было спать?» Третьим был тест на дивергентные ассоциации, в котором надо было придумать 10 существительных, максимально далеких друг от друга по значению. Для пояснения авторы в статье об исследовании сообщают, что между собакой и кошкой нет такой разницы, как между кошкой и онтологией.

Ученые обнаружили, что в каждом из заданий на дивергентное мышление GPT-4 был более оригинальным и давал более обоснованные и быстрые ответы, чем люди. Психологи очарованы высокими показателями его креативности. Они делают вывод, что ИИ продемонстрировал более высокий творческий потенциал во всех задачах на дивергентное мышление.

Вывод сопровождали оговорками о том, что экспериментаторы не оценивали уместность ответов GPT-

4. Ученые отмечают, что хотя все критерии исследования являются показателями творческого потенциала, но этого недостаточно. Есть еще один аспект оценки креативности человека – вовлеченность в творческую деятельность. Авторы исследования замечают, что ИИ, в отличие от человека, не обладает самостоятельностью и зависит от его помощи. Да и мотивация добровольцев давать хорошо продуманные ответы могла быть невысокой.

Результаты тестов заставили психологов задуматься, адекватно ли эксперименты оценивают творческое мышление. Но они все же делают вывод, что результаты ставят под сомнение представление о том, что творчество является исключительно человеческой чертой, и уверены, что уже сейчас языковые модели ИИ демонстрируют более высокий творческий потенциал, чем люди.

Исследование выглядит как намерение измерить гениальность математика способностью выполнять в уме умножение чисел быстрее арифмометра. Как говорится, каков вопрос, таков ответ. Круг значений любого понятия, в том числе творчества, достаточно размыт. Тем не менее языковые модели быстро прогрессируют и уже превосходят человека в тех областях, где раньше это было немыслимо. И польза ИИ для помощи в творчестве бесспорна. Научную статью можно загрузить с сайта издания *Scientific Reports*.

Баланс данных и правил

У человека, обучающегося решать головоломки, есть два пути – либо разбираться методом проб и ошибок, либо выяснить правила и методы решения. Аналогично ведет себя ИИ. Генеративные модели, такие как ChatGPT и Sora, основываются исключительно на данных и обучаются на собственных неудачах. Однако эти системы не могут учитывать законы природы, например механики или гидродинамики, поэтому с трудом справляются с данными, которые сильно отличаются от привычных для них.

При информированном машинном обучении специалисты знакомят ИИ с набором правил, направляющих процесс обучения. Включение правил, например, законов физики может сделать обучение более успешным. Но здесь для оптимальной работы нейросети надо найти правильный баланс данных и знаний. Ответы на вопросы о том, как оценить важность предварительных знаний, какова связь между данными и правилами и как заставить правила работать лучше, непросты и требуют отдельных исследований.

Китайские ученые, руководимые сотрудником Пекинского университета Сюй Хао (Hao Xu), разработали способ оценить относительную ценность правил и данных при машинном обучении. Исследование предлагает новый способ выявить эту пропорцию количественно. Экспериментальная задача состояла в том, чтобы обучить ИИ законам физики. Исследователи нашли метод расчета, который позволяет выяснить вклад каждого отдельного правила в точность результатов ИИ, а также количественно оценить влияние объема данных на их ценность.

Ученые также анализировали взаимодействие между различными правилами. Это важно, так как большинство моделей машинного обучения включает несколько правил и слишком большое их число приводит к разрушению модели. Оказалось, что правила взаимосвязаны по-разному. Некоторые из них работают совместно, некоторые полностью зависят от присутствия других правил. Изменяя относительный вес различных правил и отсеивая избыточные, ученые смогли оптимально балансировать модели с тем, чтобы ускорить их обучение и повысить точность результата. Китайские специалисты продемонстрировали потенциал метода на примере оптимизации ИИ для решения уравнений со многими переменными и для предсказания результатов хроматографических экспериментов.

Авторы исследования утверждают, что их метод найдет широкое применение в физике, химии и инженерном деле. Не зависящий от

модели подход можно применять в междисциплинарных изысканиях к различным архитектурам сетей ИИ.

Теперь исследователи заявляют, что намерены обучить свои модели так, чтобы они могли извлекать правила непосредственно из данных и обнаруживали новые закономерности. Они хотят сделать ИИ настоящим ученым, который сможет обобщать данные и добывать из них знания в виде формальных законов. Можно только пожелать удачи на этом тернистом пути. Статья вышла в журнале *Nexus*.

Язык тела и эмоции

Движения тела человека могут дать представление о его намерениях, чувствах и душевном состоянии, поэтому ученые активно разрабатывают компьютерные системы для отслеживания движений. До сих пор для этого использовали видеоролики эмоциональных действий, например размахивания руками. Однако для надежных выводов этого обычно недостаточно. Исследования эмоций требуют методологии, которая позволит извлекать уверенные следствия из записанной видеоинформации.

Международная исследовательская группа под руководством Джулии Кристенсен (Julia Christensen) из Института эмпирической эстетики Макса Планка во Франкфурте-на-Майне создала научные методы и программное обеспечение для измерения различных формальных характеристик движения, выражающего эмоции. Ученые привлекли к участию профессиональную танцовщицу, которая в своих миниатюрах выражала такие эмоции, как гнев, умиротворение, страх, счастье, грусть и пр. На ней был надет костюм, оснащенный в общей сложности 17 чувствительными датчиками.

Они позволили извлекать 12 параметров движения, важность которых по отдельности известна из предыдущих исследований. Это перемещение, скорость и ускорение частей тела, углы и угловые скорости, положение центра масс и пр. Серию

танцевальных эпизодов сняли на камеру и таким образом собрали 32 набора статистических данных. По мере необходимости исследователи вычисляли средние и максимальные значения, а также отклонения всех параметров.

Данные применили для обучения специализированного алгоритма ИИ. Ученые сообщают, что теперь их программу можно использовать для анализа эмоций у артистов и обычных людей. Программное обеспечение на языке Python также пригодится для исследований по экспериментальной психологии, нейронаукам и компьютерному зрению. Оно будет полезно и при визуальном анализе информации массмедиа.

Программа находится в свободном доступе на агрегаторах Zenodo и GitHub. Там представлены вычислительная структура, подробные инструкции, наборы данных, оценки независимых наблюдателей и компьютерный код для извлечения характеристик движения. Этот комплект облегчает создание новых наборов данных. Ученые сообщают, что с небольшими изменениями их ИИ можно адаптировать к разным системам захвата сложных последовательностей движения. Статья об исследовании вышла в журнале *Behavior Research Methods*.

ИИ распознает эмоции спортсменов

Эмоции по движениям тела обычно исследуют с помощью нейросетей, которые обучают на данных смоделированных или надуманных ситуаций. Однако точность при таком подходе оставляет желать лучшего. Недавно в печати появилась первая работа, посвященная распознаванию сильных эмоций у спортсменов в условиях игрового поединка. Этот шаг вперед сделала группа германских специалистов, которой руководил профессор Дарко Екуц (Darko Jekauc) из Технологического института Карлсруэ.

С помощью нейронных сетей ученые научились выявлять эмоции

участников теннисных матчей, записанных на видео. Исследователи записали видеоролики с 15 теннисистами, обращая особое внимание на язык тела при выигрыше или проигрыше одного очка – опущенную голову, поднятые в знак ликования руки, висющую в руке ракетку, изменения походки.

После обучения на этих данных новый алгоритм ИИ научился ассоциировать сигналы тела с различными состояниями аффекта и смог делать вывод о том, выиграно очко или нет. Нейросеть с точностью до 68,9 % выявляла сильные эмоции на corte. Эта цифра сопоставима и иногда даже превосходит результаты прежних исследований, а также оценок эмоций зрителями.

Интересно, что и люди, и нейросеть лучше распознают негативные эмоции. По словам профессора Екуца, причина может быть в том, что они выражаются более очевидными способами. Он отметил, что, по мнению психологов, это связано с эволюционной целесообразностью. Дело в необходимости быстрого разрешения конфликтов для сплочения социальной группы.

Авторы исследования надеются, что оно найдет применение в спорте, например для улучшения методов тренировок или предотвращения выгорания, а также в здравоохранении, образовании, сфере обслуживания, даже при организации безопасного дорожного движения. Правда, ученые отмечают, что здесь нужно учитывать потенциальные риски, связанные с конфиденциальностью и неправомерным использованием данных. Профессор заявил, что перед применением алгоритма необходимо прояснить этические и юридические вопросы. Статью опубликовало издание *Knowledge-Based Systems*.

Выпуск подготовил
И. Иванов



Что мы съедим

Елизавета Пономарчук

Инновационный завтрак

Биотехнологии инновационных продуктов питания переживают бум. В этой статье мы соберем идеальный завтрак будущего: генноотредактированный кофе, веганский яичный белок из грибов и белковая добавка, сделанная бактериями из воздуха, острые томаты и неострые листья горчицы. Названия компаний приведены не ради рекламы, а чтобы было понятно, что та или иная технология уже стала чем-то большим, чем «идея» или «пилотный эксперимент».

Теплица на кухне и шоколадка без какао

Вы просыпаетесь в своей уютной квартире в 2040 году. Потягиваетесь, берете телефон, читаете статистику своего сна в специальном приложении: умный матрас собирает информацию о том, как вам спалось. Идете умываться. Кстати, тапочки у вас из натуральной кожи, при производстве которой ни одно животное не пострадало, — от Modern Meadow (США). Перепрограммированные клетки кожи вырабатывают коллаген, идентичный кол-

лагену крупного рогатого скота или другого желаемого животного. Из него делается кожа, полностью сходная с традиционной — или даже лучше. Нечего и говорить, что компоненты кремов для рук и лица на полке в ванной, которые в XX веке получали из животного сырья, тоже синтезированы клетками в культуре.

Свежий салат у вас не в холодильнике — он растет в домашней вертикальной «теплице» от нью-йоркской компании Bowery Farming, которая использует на 95% меньше воды, чем традиционные методы растениеводства, и позволяет выращивать зелень прямо на кухне.

В холодильнике нет и намека на полиэтилен: все упаковано в биоразлагаемую пленку из бурых морских водорослей. Фрукты и овощи покрыты защитным слоем, замедляющим порчу, от Apeel (США — Нидерланды). Он состоит из кутина — воскоподобного полиэфира, компонента природного покрытия, которое защищает клетки эпидермиса растений от насекомых.

На боковой полке в холодильнике лежит шоколадка без какао. Производство шоколада способствует вырубке лесов под плантации какао и требует транспортировки сырья на далекие расстояния. Ответственные потребители выбирают шоколад из кэроба — порошка высушенных плодов рожкового дерева (цератонии). Компания WNWN Food Labs (она же Win-Win) со штаб-квартирой в Лондоне заявляет, что производство шоколада по этой технологии сокращает выбросы углекислого газа благодаря закупке сырья у местных поставщиков.

Сдержав свой порыв начать день со сладкого, вы достаете банку с кофе. Компания Tropic Biosciences специализируется на разработке новых сортов трех ключевых тропических культур — кофе, бананов и риса. Компания заявляет, что способна улучшить жизнь более полумиллиарда человек по всему миру.

Среди их разработок — натуральный кофе без кофеина, ароматный, полезный и не вызывающий тахикардии или нарушения сна. Кофеина в нем нет, зато есть полифенолы, снижающие окислительный стресс и воспаление в организме. В настоящее время для декофеинизации зерна кофе замачивают и обрабатывают горячим паром. Генноинженерный метод экологичнее и лучше сохраняет традиционные вкус и запах, а также полезные компоненты.

Tropic Biosciences создал генетически модифицированный сорт кофейных зерен с пониженным содержанием кофеина, используя собственную технологию GEiGS (Gene Editing induced Gene Silencing) — выключение генов путем генного редактирования.

Как известно, гены всех живых организмов кодируют матричные РНК (мРНК), которые в свою очередь кодируют белки. Однако есть и так называемые некодирующие гены — с них считываются разнообразные РНК, которые не работают матрицами для белков, а

▼ *Кэроб — порошок из высушенных плодов рожкового дерева, главный компонент нового какао*



выполняют другие функции. Среди них — малые интерференционные (миРНК), лежащие в основе явления, известного как РНК-интерференция: они связываются с молекулами определенной мРНК и способствуют их деградации, а без них, понятно, не будет и белка. Это один из важнейших методов, регулирующих продукцию белков в клетке.

В Tropic Biosciences вместо редактирования генов белков используют более тонкий метод — редактирование генов миРНК. С помощью знаменитой системы CRISPR-Cas или какой-нибудь другой, например TALEN, в эти гены вносят минимальные изменения — всего в несколько нуклеотидов. В результате миРНК прицельно перенаправляется на новый ген-мишень и уменьшает количество его продукта. Для получения кофе без кофеина мишенью могут быть гены ферментов, производящих этот алкалоид: мало мРНК — мало ферментов — мало кофеина.

Бескофеиновый кофе любят не все. В Tropic Biosciences сделали также кофе с облегченной экстракцией, который требует менее высоких температур для заваривания. А чтобы разработать новые сорта бананов и риса, устойчивых к вредителям и болезням, миРНК этих растений нацеливают не на собственные гены растения, а на «вражеские» гены вирусов, грибов или насекомых.

Но даже самым вкусным кофе сыт не будешь. Поговорим о яйцах.

Яйца из грибов

Яичный белок — один из лучших природных источников питательных веществ. Он состоит в основном из воды (88%) и белков (11%), остальное — углеводы, минеральные вещества и следовые количества липидов. (Не зря в русском и немецком языках полимеры аминокислот исходно назывались не «протеинами», а тем же словом, что белая часть птичьего яйца.) Основной белок яичного белка — овальбумин; он состоит из 386 аминокислотных остатков и имеет молекулярную массу 45 кДа.

Onego Bio (Финляндия) производит Bioalbumen — овальбумин, который синтезируют клетки нитчатого гриба-аскомицета *Trichoderma reesei*. В культуре этого гриба пробовали вырабатывать и другие белки. Предварительное исследование показало, что производство овальбумина грибного происхождения по сравнению с традиционной яичной промышленностью может уменьшить закисление почвы, эвтрофикацию морской среды и даже разрушение стратосферного озона. Эти результаты были опубликованы в *Nature Food* в 2021 году. Компания готова к созданию полномасштабного производства, которое даст столько же овальбумина, сколько ферма с шестью миллионами кур-несушек.

Как это работает? Последовательность куриного гена *SERPINB14*, кодирующего овальбумин, в составе специальной ДНК-конструкции — экспрессионного

плазмидного вектора — внедряется в клетки гриба *T. reesei*. После этого они, помимо собственных белков, начинают вырабатывать яичный белок. Культуру гриба выращивают в биореакторе, куда подают воду, сахара и минеральные вещества. В светлом будущем источником углеводов для гриба вместо сахара могут стать, например, отходы деревообрабатывающей промышленности. В конце процесса биореактор заполняется биоальбумином, водой и клетками *T. reesei*. Получившийся яичный белок отделяют от грибной биомассы, фильтруют, очищают и высушивают до порошка.

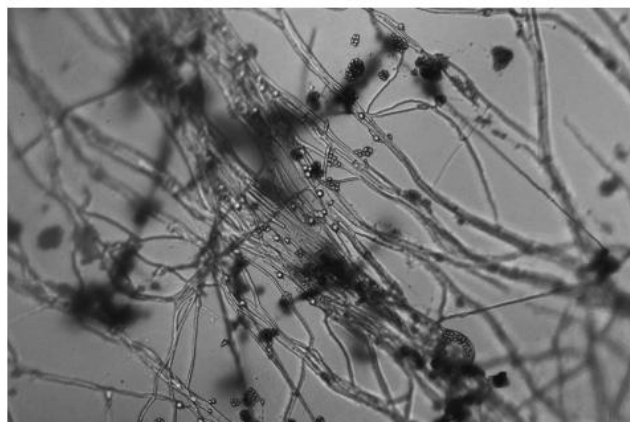
Этот процесс называют «прецизионной ферментацией» по аналогии с теми реакциями, которые лежат в основе производства многих традиционных продуктов, от пива до квашеной капусты. Тем, кто сейчас подумал «фу, грибки», стоит вспомнить, что продукты жизнедеятельности дрожжей и молочнокислых бактерий люди употребляют в пищу многие тысячи лет. Прилагательное «прецизионный» подразумевает точность и понимание процесса на молекулярном уровне.

Конечно, овальбумин не единственный компонент яйца, но овальбумин из грибов успешно заменяет яичный белковый порошок во многих рецептах выпечки, кондитерских изделий, соусов, пасты и т.п. Высокая питательная ценность, нейтральный вкус, способность давать крепкую пену при взбивании — отличная основа для белкового омлета!

А теперь переходим к мясу.

Мясо мамонта (ну, почти)

Еще один новый термин, более широкий, «клеточное земледелие» (cell agriculture) означает производство продуктов животного происхождения из клеточной культуры. Помимо прецизионной ферментации, о которой я рассказывала в предыдущей главе, клеточным земледелием называют выращивание целых одноклеточных организмов (например, хлореллы) для производства пищевых продуктов и культивирование биомассы для создания искусственного мяса.



▲ Так выглядит нитчатый гриб-аскомицет *Trichoderma reesei*, который научили производить яичный белок

Мясом из сои, гороха, фасоли, даже из картофеля и риса уже никого не удивить. Принципиально другой подход к культивированию мяса используют голландская биотехнологическая компания Meatable и некоторые другие. Они выращивают стволовые клетки крупного рогатого скота, которые затем дифференцируются в мышечные и жировые клетки, из них и производят мясную продукцию. Многие помнят, как профессор Маастрихтского университета Марк Пост получил финансовую поддержку от соучредителя Google Сергея Брина для производства первого в мире бургера из культивированной говядины. Бургер съели на пресс-конференции в Лондоне в августе 2013 года. В последующие десять лет несколько компаний работали в этом направлении, и теперь гамбургер уже стоит не 215 тысяч фунтов, а несколько фунтов.

Культивирование мяса *in vitro* может начинаться с эксплантатов — тканей или клеток, полученных от животных, которые растут и самоорганизуются в биореакторе. Например, Марк Пост выращивал клетки скелетных мышц коровы. Но клетки вне организма растут неохотно. Альтернативой может быть их выращивание на трехмерном пористом каркасе из коллагена или другого полимера. Каркас можно засеять стволовыми клетками, полученными от эмбрионов или взрослых животных, либо миосателлитами или миобластиками (клетками — предшественниками мышц). Чтобы мясо было сочным, можно добавить адипоциты — жировые клетки.

Идея состоит в том, чтобы получать ценный животный белок, не затрачивая огромные ресурсы на выращивание скота. Есть и другие аргументы: отказ от убийства и содержания в неприемлемых условиях крупных млекопитающих, возможность попробовать котлету из самого экзотического животного, наконец, биобезопасность (больше никаких прионных болезней и опасного для человека птичьего гриппа у коров).

Но есть проблема: типичная среда для выращивания клеток животных (для мяса или для научных целей) содержит фетальную бычью сыворотку, получаемую из крови плода (именно плода, потому что в ней мало антител и много факторов роста клеток). Получают ее, естественно, при убое скота, как побочный продукт современной мясной промышленности. Поэтому от фетальной бычьей сыворотки в рецепте надо избавляться.

Уже разработаны бессывороточные среды, состоящие из растительных или синтетических соединений. Есть клеточная среда на основе гриба майтаке. Однако стоит отметить, что питательные среды с растительными белками могут вызывать аллергические реакции у некоторых людей. Полимерный каркас для выращивания клеток тоже не должен содержать компонентов, полученных из животных. Но эту задачу, как и продукцию белковых факторов роста для клеточной среды, вполне может решить прецизионная ферментация.

3D-каркас можно применять для создания структуры, аналогичной настоящему мясу, но как источник



▲ Стручковый перец содержит капсаицин, который отвечает за жгучий вкус

вкуса и запаха его не рассматривали. Совсем недавно в *Nature Communication* вышла статья корейских исследователей, которые сделали каркас из желатина, содержащий особые боковые группы. При нагреве до 150°C и выше эти группы отщепляются и высвобождаются соединения, имитирующие летучие продукты термообработки обычного мяса, проще говоря, запах жареной говядины.

Культивирование мяса позволяет создавать уникальные продукты. Наверное, самый сенсационный — фрикаделька из мамонятины от Vow Food. Основанная в 2019 году австралийская компания начинала с производства мяса, выращенного в лабораторных условиях из свинины и клеток кенгуру, и с тех пор расширила меню, включив в него кроликов, мышей (мало ли кому что захочется попробовать), коз, буйволов и даже альпаку. В конце марта 2023 года Vow Food представила огромную фрикадельку из мяса мамонта в научном музее Немо. «Держу пари, это вкуснее, чем в IKEA», — написал один из пользователей Twitter.

Представители Vow Food подробно описали технологию получения фрикадельки почти из мяса мамонта. В мышечные стволовые клетки овцы внедрили ген миоглобина мамонта. Пробелы в последовательности «ископаемого» миоглобина заполняли, используя участки из генома африканского слона. Миоглобин содержится преимущественно в клетках мышц позвоночных, придает мясу характерный вкус и служит важным источником биодоступного железа. Для создания фрикадельки вырастили более 20 миллиардов клеток с мамонтовым гемоглобином. Правда, употреблять ее в пищу создатели не советовали, поскольку «никто не видел этот белок тысячи лет» и неизвестно, как на него отреагирует человеческий организм...

Как жаль, что это оказался просто маркетинговый ход. Австралийцы хотели таким образом привлечь внимание общественности к технологиям, которые могут помочь в решении проблемы разрушения окружающей среды. Но палеогенетика не стоит на месте, и когда-нибудь мы попробуем фрикадельки из мамонта.

Однако яичного белка и мяса недостаточно для полноценного завтрака. Нужны овощи.

Томаты чили

Капсаициноиды — соединения группы алкалоидов, содержащиеся в различных видах стручкового перца чили (род *Capsicum*), которые отвечают за острый вкус. Основные представители этой группы — капсаицин и дигидрокапсаицин.

Капсаициноиды обладают антиоксидантными, противовоспалительными и противоопухолевыми свойствами. Забавный факт: семена острого перца менее подвержены заражению грибом *Fusarium*, поэтому экземпляры с более острыми плодами размножаются лучше. Вероятно, защита от болезней и отпугивание растительноядных млекопитающих и были изначальной функцией капсаициноидов. Эти вещества образуются в результате сложных каскадов биохимических реакций.

Интересно, что из всех овощей только плоды стручкового перца содержат эти полезные соединения. В то же время стручковый перец и томат — не такие уж дальние родственники: у обоих видов 12 хромосом; морфологические и физиологические процессы завязывания плодов у них аналогичны. При этом урожайность острого перца не превышает 3 тонн с гектара за 4–5 месяцев выращивания, в то время как у томатов может достигать 110 т/га в течение 120-дневного цикла посева.

Было бы выгодно использовать помидоры в качестве биофабрики для синтеза капсаициноидов, тем более что все необходимые для этого гены в томатах есть; однако в сравнении с перцем чили томаты слабее экспрессируют шесть из этих генов, а два гена, хотя и присутствуют в геноме, не экспрессируются вообще.

Ученые из Бразилии и Ирландии в 2019 году предложили использовать технологии геномного редактирования для создания первого помидора с острым вкусом. Гены ферментов даже не нужно внедрять в геном помидора — они там уже есть. Достаточно их активировать. А для этого можно ввести в клетки специфические белки-активаторы или отредактировать промоторный (находящийся перед геном) участок, заменив его на тот, который активен в томате.

В отличие от остальных проектов, о которых рассказано в статье, пока это теория. Требуется дальнейшее исследование, чтобы определить, полностью ли функциональны продукты этих генов в томате и удастся ли таким образом запустить нужную цепочку реакций. Но если все получится, мы сможем приготовить пикантную сальсу из томатов чили.

И наконец, салат и десерт.

Горчица без горечи и вишня без косточек?

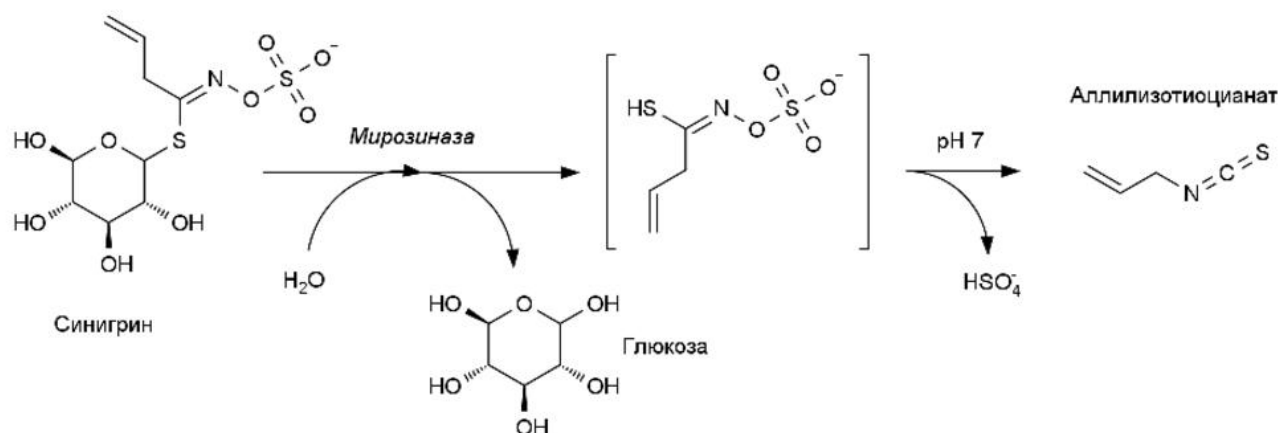
Усовершенствование и выведение новых сортов растений — игра в долгую, требующая терпения и настойчивости. Селекционерам могут понадобиться годы или даже десятилетия, чтобы создать новые сорта фруктов и овощей. Однако их работа сейчас приобретает особую актуальность из-за роста населения и изменений климата.

Компания Pairwise из Северной Каролины (США) использует технологию редактирования генов CRISPR-Cas для создания и вывода на рынок фруктов и овощей с улучшенным вкусом, увеличенным сроком хранения, повышенной урожайностью и с более длительным периодом вегетации. Их первый продукт — негорькая листовая горчица — поступил в американские продуктовые магазины в 2023 году как первое съедобное CRISPR-отредактированное растение. Кстати, среди основателей компании — Фэн Чжан, человек, который впервые описал CRISPR-редактирование в клетках животных. Компания продолжает развивать технологии редактирования, создавая новые инструменты повышенной точности.

Листья горчицы *Brassica juncea* богаты витаминами, минералами, фенольными соединениями, кальцием и железом. Ее сорта очень разнообразны по цвету, размеру и текстуре листьев. Если разжевать лист горчицы, образуются соединения, которые придают ей остроту; эта реакция защищает растение от травоядных животных. При разрушении растительных клеток высвобождаются и взаимодействуют фермент мирозиназа и его субстраты, например синигрин. В результате образуется аллилизотиоцианат — соединение, которое присутствует и в других острых растениях, таких как хрен. Этот эффект называли mustard bomb — mustard по-английски и «горчица», и «иприт».



▲ Вот так выглядит горчица *Brassica juncea*, сорт Red Giant, гены которой отредактировали и получили новый сорт без горького вкуса



Чтобы имитировать эффект тепловой обработки, команда Pairwise отключила ген мирозиназы с помощью генного редактирования. Сделать ген нефункциональным с помощью CRISPR намного проще, чем восстановить утраченную функцию или создать отсутствующую; нежгущую горчицу создать легче, чем помидор с капсаицином. И все же это было далеко не простой задачей. Основная сложность заключалась в том, что горчица тетраплоидна, то есть у нее четыре копии генома, как и у многих других растений, а не две, как у нас с вами. И в каждом геноме нужный ген представлен не одной копией. Изменения надо было внести во все — таких работающих копий оказалось 17. Отредактированные растения потеряли резкий запах.

Важно отметить, что это растение не является генно-модифицированным организмом (ГМО). В геном не встраивается чужеродный ген, а значит — не происходит синтез чужеродного белка. В США продукты, подвергнутые генетическому редактированию, не так жестко регулируются, как ГМО, и не требуют обязательной маркировки.

Помимо горчицы, Pairwise улучшает фрукты. В числе других ее проектов — ежевика без семечек и шипов, растущая на компактных кустах, которым нужно меньше земли, воды и удобрений, и вишня без косточек.

Мы говорили о различных способах культивирования клеток, о выращивании измененных растений. Но есть еще одна технология будущего — 3D-печать, точнее биопечать. Если печатать на принтере жизнеспособные ткани все еще сложно, то печатать съедобное — вполне решаемая задача.

Стейк-пюре

Испанская компания Sosisus использует 3D-биопечать для производства продуктов питания и надеется выйти на международный рынок. Компания лидирует в разработке промышленных решений для 3D-печати аналогов миметических пищевых продуктов (от англ. *mimetic food*) — то есть продуктов, имитирующих реальные блюда, из растительного или клеточного животного белка. В октябре 2023 года Sosisus представила свой 3D-печатный растительный бекон в сотнях испанских супермаркетов Carrefour под брендом Foody's.

▲ Аллилизотиоцианат, конечно, не настолько опасен, как боевое отравляющее вещество, но может быть неприятным для потребителей. Поэтому горчичную зелень употребляют в небольших количествах либо подвергают тепловой обработке: при нагреве теряют активность ферменты, в том числе мирозиназа. Но в то же время снижается содержание таких полезных веществ, как фолиевая кислота и лютеин.

▼ Напечатанный на принтере стейк от Sosisus — вкусный и мягкий



Пищевой 3D-принтер работает по принципу экструзионной печати — выдавливает и приклеивает расплавленные или пастообразные материалы, тем самым создавая продукт слой за слоем. Белок, растительный, животный или синтезированный микроорганизмами, — основной компонент «чернил». Принцип прост, но создать такие чернила, чтобы они легко выдавливались из сопел, а затем застывали и сохраняли форму (и чтобы были вкусными и питательными!), — нетривиальная задача. Для создания твердых продуктов хорошо подходит желатин, а чтобы получить сбалансированный аминокислотный состав, к нему добавляют белки сои и гороха.

Добавление горохового белка также улучшает структуру и стабильность продукта и придает ему жирный вкус, не повышая калорийности.

Sosisus работает в четырех основных направлениях — стейки и другие мясные продукты с помощью технологии повторного использования промышленных обрезков мяса (звучит непривлекательно, зато экономно); веганские аналоги традиционных продуктов; новые методы промышленного культивирования клеток *in vitro* и, наконец, пищевые продукты из пюре для людей с дисфагией, которые не могут глотать и потому не едят твердую пищу. Например, курица и горох, такие же на вид и на вкус, как «оригиналы», но мягкие. Также компания производит принтеры для печати продуктов.

Напоследок — белок из воздуха. И это не белок растений, живущих в симбиозе с бактериями-азотфиксаторами, вроде тех же сои и гороха.

Еда из воздуха

Грибной овальбумин — это прекрасно, но грибы все же надо кормить углеводами. Финская компания Solar Foods, основанная в 2017 году, трудится над разработкой продукта, который представит альтернативу.



◆ Солеин — белковый порошок «из воздуха и воды» — производят микроорганизмы в биореакторе



Продукт под названием Solein (солеин) получают «из воздуха», как утверждает компания. На самом деле он производится с помощью микробиологической ферментации, но бактерии в некотором смысле питаются воздухом.

Кроме воздуха для производства солеина нужны вода, электричество и культура микроорганизмов — штамм VTT-E-193585 бактерии рода *Xanthobacter*, обнаруженный одним из основателей компании в лесу на берегу Балтийского моря возле города Наантали (Финляндия). Замечателен он тем, что может расти на минимальной среде, содержащей кальций, фосфор, азот и калий. VTT-E-193585 получает энергию из окисления водорода, а углерод для построения органических молекул — из углекислого газа. Водород, в свою очередь, получают электролизом воды.

Готовый продукт — порошок, по составу похожий на сушеную сою или водоросли (например, спирулину). В нем 65–70% белка (включая девять незаменимых аминокислот), 5–8% жира, 10–15% пищевых волокон и 3–5% минеральных питательных веществ, таких как железо, а также витамины группы B.

Очищенный солеин, полученный после ферментации в биореакторах и сушки, — желтый порошок с приятным вкусом, напоминающим белые грибы и умами.

Для такого производства белка не нужны поля или фермы. Завод можно разместить и в городе, и в отдаленном районе, и в космосе либо на Марсе — лишь бы там были CO₂, вода и электричество. Первый производственный объект Solar Food, Factory 01, уже начал работать в Вантаа, в нескольких минутах езды от хельсинкского аэропорта. Это позволит компании начать масштабирование производства солеина и вывести его на рынок.

В настоящее время Solar Foods разрабатывает портативный биореактор, который сможет производить солеин в космических условиях для миссии NASA «Artemis» и будущих миссий на Марс.

Пока неизвестно, каким будет первый продукт для потребителей, содержащий солеин. Скорее всего его, как и бактериальный альбумин, будут добавлять в различные уже существующие продукты, от мороженого до пасты и выпечки. Solar Foods не планирует самостоятельно производить продукты питания, но на веб-сайте компании можно увидеть изображения демонстрационных продуктов, таких как кусочки курицы с макаронами, супы, хлеб и смузи.

На этом всё, мы собрали почти идеальный завтрак. Однако будущее фудтеха уже стоит на пороге, и невозможно объять все инновации в этой сфере. Мы еще не рассказали, например, об альтернативных приемах пищи — питательных коктейлях, заменяющих обед, и многом другом. Очевидно, не все эти молодые компании останутся на рынке через 50 лет. Одно ясно — будущие продукты питания не будут скучными и однообразными.

Приятного аппетита!



Иллюстрация Александра Кука

Кандидат физико-математических наук

С.М. Комаров

Фальшивый заяц: место на столе

Для потребления еды будущего надо сначала создать человека будущего. Иначе мечтания биотехнологов могут превратиться в красивую, но бесполезную иллюстрацию для глянцевого журнала.

Корни неприязни

Завтрак, великолепно приготовленный в предыдущей статье на основании новейших идей и достижений биотехнологии, выглядит триумфом науки и воплощением человеческого могущества при работе с живой материей. В самом деле, мановением руки человек превращает нечто несъедобное во вкуснейшие лакомства, изменяет саму природу вещей, точнее живых организмов, по своему усмотрению отнимая у них одни качества и придавая другие. Словом, ведет себя как истинное воплощение Творца.

Более того, не секрет, что недавно народившаяся отрасль науки — синтетическая биология — имеет амбиции полностью перекроить весь живой мир, сделать его более эффективным, сберегающим ресурсы. Новый мир из сконструированных живых существ придаст человеку уверенность в будущем, позволит не опасаться климатической и прочих возможных катастроф.

Однако если выйти за ворота той башни из слоновой кости, в которой, в сущности, обитают исследователи, то приходится встречаться с не самой благоприятной для таких мечтаний окружающей средой. А она задает вопрос: зачем? Точнее, многочисленные вопросы: зачем, зачем, зачем?

Зачем заменять животный жир пальмовым маслом в твороге и сыре? Зачем делать масло какао с помощью дрожжей? Зачем давать напитку из бобов рожкового дерева название «какао», если там нет ни грамма зерен какао? Зачем выращивать мясо в пробирке? И наверное, самый сакральный: зачем лишать горчицу горечи, что сравнимо с лишением соли солёности?

Общество не находит ответов на эти вопросы и само приходит к примерно такой формулировке: для роста прибылей пищевых корпораций. В результате попытки сделать из неких искусственно полученных компонентов продукт, точь-в-точь такой же, какой получается естественным путем, вызывают скорее чувство брезгливости, а не гордости за достижения человечества.

Именно это, брезгливость или отвращение, вызванное непониманием как истинных целей, так и использованных процессов, считают главной причиной неприятия обществом новых пищевых технологий и продуктов социологи Микаэль Зайргист и Кристина Хартман из Федеральной высшей технической школы Цюриха. Не так давно они опубликовали

обзор по изучению отношения потребителей к новой пище (Nature Food, июнь 2020). А что нужно потребителю? Как показывают данные швейцарских социологов, в первую очередь это естественность: чем меньше в пище искусственного, тем потребитель считает ее полноценнее. Причем так во всех странах, где они работали: от золотого миллиарда до небогатой Нигерии.

Что такое естественность?

Впрочем, искусственность искусственности рознь. Если дело касается физики — охлаждения, нагрева, размола, — то потребители не испытывают никакого дискомфорта и считают потертую на терке морковь ничуть не менее естественной, чем целый нечищенный корнеплод. Овощи, не подвергнутые никакой, даже механической обработке, как и сырое мясо, предпочитает все-таки подавляющее меньшинство населения. Есть, впрочем, народы, в кухне которых принято поедать сырой мясной фарш или заглатывать живых устриц, но это дело привычки. А у непривычных такая наиболее приближенная к естественности еда вызывает неподдельные ужас и отвращение.

В общем, вовсе не случайно физические методы воздействия на еду, включая сверхмелкий размол, микроволновую обработку, шоковую заморозку или сублимирование, вполне органично вошли в практику кухни. Не повезло разве что радиационной обработке, которую общественность воспринимает скептически, но тут дело больше в предрассудках, связанных с радиофобией. Интересно, что облученные продукты есть на каждом столе; как отмечалось в декабрьском номере «Химии и жизни» за 2022 год, все сыпучие пряности сейчас обработаны излучением для подавления плесени, да и значительная толика лука, который так предохраняют от прорастания.

Совсем иное дело попытки изменить химический состав известных продуктов, точнее, добавить в них что-то или заменить одно вещество другим. Если что-то изымают, это-то как раз к отвращению не приводит: многие бы не отказались от безлактозного молока, но уж больно дорого оно стоит. Соль, обедненная натрием, тоже не вызывает отторжения у тех, кто знает про вред избытка этого элемента. А вот добавки сразу же снижают степень «естественности» продукта. Даже какие-нибудь синтетические красители и подсластители вызывают определенный скептицизм и дискуссии, куда уж тут шоколад, сделанный из дрожжей, молоко, собранное из синтетических жиров и белков, или мясо из пробирки. История же с трансгенными продуктами ясно показала, что вмешательство в саму природу живых организмов воспринимается как нечто совершенно противоестественное. В общем, совершенно не случайно разного рода искусственные продукты в общественном сознании называют суррогатами или эрзацем.

Жизнь с эрзацем

А приход эрзацев на стол человека связан прежде всего с недостатком ресурсов. Например, наличных денег, как у семьи чертежника Коли Калачёва из «Двенадцати стульев»:

«Обед на двоих (одно первое — борщ монастырский и одно второе — фальшивый заяц или настоящая лапша), съедаемый честно пополам в вегетарианской столовой "Не

укради", вырывал из бюджета тринадцать рублей в месяц. Остальные деньги расплывались неизвестно куда. <...> При таких условиях перейти на мясоедение значило гибель. Поэтому Коля пылко заговорил:

— Подумай только, пожирать трупы убитых животных! Людоедство под маской культуры! Все болезни происходят от мяса».

Как все помнят, этот призыв его женой Лизой услышан не был, и она пошла с Кисой Воробьяниновым есть настоящего, а не фальшивого зайца.

Возможно, первым массовым эрзацем стал свекловичный сахар: вследствие континентальной блокады Франция при Наполеоне лишилась поставок тростникового сахара из колоний, но инженеры нашли выход из ситуации. Свекловичный эрзац неплохо прижился, хотя в общественном сознании до сих пор витают слухи, что тростниковый сахар полезнее. Диетологи не устают разоблачать эти слухи, указывая: вреден любой.

Настоящий расцвет эрзаца произошел в Германии накануне Второй мировой войны. В ход шло все, что позволяло сократить импорт и сэкономить растаявший после выплаты контрибуции золотой запас рухнувшей империи. Каучук нужно покупать за золото? Немецкие химики сделают эрзац-каучук из угля и мела; не страшно, что эти шины стоят в три раза дороже каучуковых, правительство даст дотации. Сталь нужна армии, а в Германии добывают лишь четверть нужной железной руды? Будем экономить: сделаем эрзац-водопровод из стеклянных труб. Одежду — из целлюлозы вместо шерсти, туфли из рыбьей кожи. Яичный белок синтезируем из рыбы, в эрзац-хлебе муку разбавим древесными опилками, из древесины добудем эрзац-сахар. Подробный фоторепортаж об этой немецкой эрзац-жизни был опубликован в американском иллюстрированном журнале «Life» за 2 мая 1938 года.

Поразительно, но отдельные строки этого репортажа выглядят так, будто написаны сегодня; речь идет об использовании мусора. Оказывается, гитлеровцы вплотную подошли к нынешней евросоюзовской мечте о циркулярной экономике, только действовали решительнее: борьбу с отходами возглавили члены штурмовых отрядов, и они дошли до двери каждого немецкого дома. В результате пищевые отходы отправились на корм скоту, газеты — в макулатуру, немецкие школьники собирали кости для производства фосфорных удобрений. В каждой деревне было создано агентство по сбору мусора, который потом перевозили на перерабатывающие фабрики.

Эрзац не ко двору

Зачем немцы в конце 30-х перешли на всевозможные эрзацы и переработку мусора, понятно: будущая война требовала восстановления германской военной машины и, соответственно, мобилизации всех внутренних ресурсов. Зачем академик А.Н. Несмеянов предлагал заменить сельское хозяйство химией — тоже объяснимо. Все-таки за все 70 с лишним лет своего существования Советская власть так и не смогла накормить советский народ не то чтобы досыта, это-то она сделала, но в соответствии с возросшими потребностями и денежными возможностями. Индустриальные синтетические продукты явно справились бы с этой задачей

гораздо лучше, чем та же брежневская Продовольственная программа. А вот зачем люди сейчас, в XXI веке, должны переходить на эрзац-продукты, непонятно.

Казалось бы, при наличии глобального рынка никаких особых проблем с доступом к ресурсам, даже для подсанкционных стран нет. Более того, каждая страна стремится увеличивать объем своего экспорта, то есть развивать производство, а не сокращать его. И чудеса биотеха, ведущие к сокращению производства, встречают жесткую реакцию властей той или иной страны, направленную на охрану своих рынков. Совсем не случайно высокоурожайная трансгенная продукция находится под запретом во многих странах, например в РФ или на территории таких важных членов ЕС, как Франция или ФРГ.

Интересно, что дело касается не только тех трансгенов, что снижают затраты аграриев, но и несомненно полезных растений, например такого шедевра биотеха, как золотой рис, то есть вырабатывающий собственный витамин А и предназначенный для покрытия дефицита этого вещества в странах Азии. До недавнего времени лишь Филиппины согласились выращивать этот рис. Но и там в конце концов трансгенный рис запретили, посчитав, что нет никаких данных, свидетельствующих о его помощи здоровью.

Мясо, полученное без использования животных, еще не вышло из стадии опытно-конструкторской разработки, а его уже запрещают, например, в Италии. И это логично: в стране с развитой мясной промышленностью и славящейся мясными деликатесами вроде пармской ветчины фермеры могут вполне внятно объяснить законодателям, почему это мясо вредно для их здоровья.

В сущности, такое отношение как законодателей, так и изготовителей еды к трансгенным продуктам делает невозможным чуть ли не половину пунктов меню упомянутого высокотехнологичного завтрака.

Зачем?

Пока что на всевозможные вопросы зачем? есть только два ответа. Первый: человечество слишком размножилось, и все хотят потреблять в соответствии с нормами золотого миллиарда. А на это у планеты не хватает ресурсов. В качестве аргумента о необходимости экономии привлекают статистику: сколько и чего человек уже извлек из недр Земли и сколько там еще осталось.

Этот ответ был очень хорош в XX веке, когда тема исчерпания ресурсов только появилась в общественном сознании в виде прогнозов, что нефти хватит на ближайшие 30 лет. Однако прошло два раза по 30, а нефть и не думает кончаться, более того, страны, торгующие нефтью, вынуждены сдерживать свои аппетиты и вводить квоты на поставку: только так удастся сдерживать цены от падения. Чтобы заставить человечество отказаться от потребления угля, мировым финансовым монополистам приходится идти на прямые репрессивные меры в виде отказа от финансирования проектов, связанных с добычей и переработкой угля. Декларации о недостатке пахотных площадей утыкаются в ожесточенную борьбу производящих зерно стран за место на международном рынке. Может быть, пахотные земли прирастают за счет вырубки лесов? Это не так, в сумме площадь леса на планете растет благодаря обширным программам

лесовосстановления; леса страдают в отдельных странах, стремящихся улучшить свою благополучие за счет экспорта аграрной продукции.

Водяной кризис, как недавно было рассказано (см. «Химию и жизнь», 3, 2024), также сводится скорее к неравномерному распределению водных ресурсов по территории планеты, а не к исчерпанию пресной воды как таковой. В этой связи общество в малонаселенных странах, вполне богатых ресурсами для производства естественных продуктов питания, воспринимает крайне скептически призыв экономить и переходить на поедание продуктов переработки насекомых, червей или дрожжей.

Другой ответ на вопрос «зачем нужны искусственные продукты?» звучит так: необходимо бороться с глобальным потеплением, а для этого переходить на такие аграрные технологии, которые обеспечивают минимальные выбросы углекислого газа. Тут есть две параллельные тропки. Первая ведет к синтетической биологии: изготовление живых существ по генно-инженерным чертежам имеет хороший потенциал резко увеличить интенсивность извлечения углекислого газа из атмосферы и его захоронения. Причина такой уверенности кроется в том факте, что сейчас многоклеточные растения задействуют два пути утилизации углекислого газа. При этом у одноклеточных прокариот есть шесть таких путей, а химики насчитали еще 28 теоретически возможных путей биохимического изъятия этого парникового газа, которые живыми существами пока не использованы. Конечно, при таком богатстве выбора есть повод для оптимизма.

Вторая тропка — отказ от сельского хозяйства и переход к полностью синтетической пище. Здесь остается только лесоводство — из древесины получают сахар и питают им дрожжи, а то и вовсе обходятся без него, используя нефть как источник углеводов. А далее из полученного сырья делают съедобные продукты, вплоть до мяса из пробирки. Отказ от сельского хозяйства ведет к резкой декарбонизации человеческой жизни: коровы и рисовые чеки не выделяют метан, на месте полей растут деревья, надолго захоранивающие большие количества углекислого газа, тракторы и прочая сельхозтехника не загрязняют небо выбросами от сгоревшей солянки, сокращаются грузоперевозки из аграрных районов к скоплениям потребителей пищи. Бонусами получают снижение расхода воды и защита от заболеваний, переносимых с животной пищей.

Климатический аргумент, похоже, выглядит убедительнее аргумента нехватки ресурсов и сейчас выходит на первое место в агитации за переход к новым пищевым продуктам, сделанным из нетрадиционного сырья.

Несомненно, публике нравится щекотать себе нервы рассуждениями об экологическом кризисе или климатической катастрофе. Однако, когда дело доходит до реальных действий, вроде замены говяжьего бифштекса грибным, сливочного масла маргарином или включения в рацион муки из жареных сверчков, эколого-климатическая повестка как-то уходит на второй план, а на первый — выходит упомянутое чувство брезгливости, с которым мало кто из потребителей может справиться.

Вот и выходит, что без воспитания нового человека, у которого в подсознание будет впечатан страх перед исчерпанием ресурсов и глобальным потеплением, получить массового потребителя биотехнологической пищи вряд ли удастся.



Проблемы и методы науки

Кандидат биологических наук

Н.Л. Резник

Интеллект у растений есть!

От Дарвина до наших дней

Чарльз Дарвин не одной теорией эволюции прославился. Круг его научных интересов был весьма широк, в него входили в том числе движения растений, которые произвели на естествоиспытателя большое впечатление. В 1880 году в работе «Сила движения растений» он писал: «В растениях нет более замечательного — в том, что касается функции — органа, нежели кончик корешка... Едва ли будет преувеличением сказать, что кончик

корешка действует как мозг какого-нибудь из низших животных, получая впечатления от органов чувств и направляя в соответствии с ними свои движения».

Мозга у растений нет, это мы знаем точно, а вот есть ли у них интеллект? Этот вопрос интересует многих ученых, о некоторых исследованиях мы уже писали (см. «Химию и жизнь» 2016, № 6). Сейчас принято считать, что растения способны обучаться, у них есть память и они могут корректировать свое поведение в зависимости от обстоятельств.



Иллюстрация Петра Перевезенцева

Однако вопрос окончательно не решен, и для его конструктивного обсуждения прежде всего необходимо договориться, что такое интеллект. Определения этого сложного явления много лет собирали два специалиста в области искусственного интеллекта, Шейн Легг и Маркус Хаттер (Shane Legg, Marcus Hutter), и собрали их более семидесяти. Основываясь на этих определениях, они предложили свое собственное. Интеллект — это свойство, которым обладает отдельный агент при взаимодействии со своей средой или средами. Эту формулировку взял за основу профессор Корнельского университета, эколог Андре Кесслер (André Kessler), изучавший защитные стратегии растений и задумавшийся над тем, есть ли у них интеллект. Формулировка тем хороша, что не предполагает наличия нервной системы; агентом может быть любое существо и даже нечто неодушевленное, так что для растений она подходит.

Согласно Леггу и Хаттеру, интеллект проявляется во взаимодействии со средой, а именно он «определяет

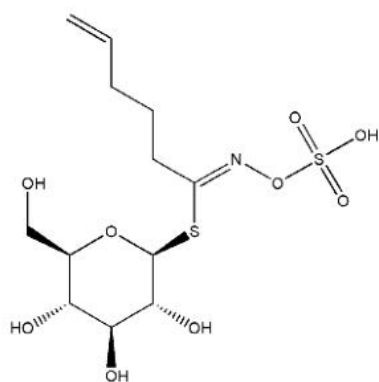
способность агента достигать целей в широком диапазоне сред». Какие же цели у растения? Многие ученые полагают, что цель живого существа состоит в достижении максимальной приспособленности. Иными словами, живое существо должно наилучшим образом адаптироваться к окружающим условиям, порой весьма изменчивым, чтобы оставить как можно больше жизнеспособных потомков.

Взаимодействия растений со средой сложны и разнообразны, и мы рассмотрим лишь одно — взаимоотношения с травоядными насекомыми, которых далее для краткости будем называть просто травоядными. Но вы, пожалуйста, помните, что речь идет о личинках бабочек и жуков, а не о коровах. Исследований на тему «растения и травоядные» очень много, я пользовалась преимущественно публикациями Андре Кесслера и профессора Калифорнийского университета Ричарда Карбана (Richard Karban), энтомолога.

Применительно к взаимодействию с травоядными интеллект растений должен проявляться как способность

адекватно среагировать на появление вредителей. А как на них реагировать? Защищаться надо, потому что убежать растение не может. А защищаются они по-разному.

Многие растения постоянно синтезируют разнообразные защитные соединения. Примером могут служить глюкозинолаты, которые вырабатывают представители семейства Капустные. Глюкозинолаты состоят из трех блоков: фрагмента β-тиоглюкозы, фрагмента сульфированного оксима и вариабельной боковой цепи. Защитные свойства глюкозинолатов усиливаются при гидролизе растительным ферментом мирозиназой. Когда гусеница жуёт лист, глюкозинолаты, которые хранятся в клеточных вакуолях, вступают в контакт с мирозиназой, а мирозиназа их расщепляет с образованием ядовитых серосодержащих продуктов.



Глюкобрассицинапин

▲ Химическое оружие растений из семейства Капустные — глюкозинолаты

Постоянную защиту называют конститутивной. Наряду с ней существует защита индуцированная, когда растение вырабатывает защитные вещества только при нападении травоядных. Эти способы друг друга не исключают, и при атаке вредителей та же капуста может усилить синтез одного или нескольких глюкозинолатов.

Сигналы тревоги

Чтобы реагировать на появление вредителей, нужно понять, что на тебя напали. Информацию об окружающей обстановке растения воспринимают с помощью химических сигналов разной природы: фрагментов макромолекул из разрушенных растительных тканей; слюны, содержимого полости рта, отрыжки или фекалий травоядных. Бобовые, например, распознают инцептины — фрагменты одного из растительных ферментов, которые оказываются во рту насекомого, пережевывающего лист. А у жующих гусениц малой совки во рту волицитин (N-17-гидроксилиноленоил-l-глутамин).

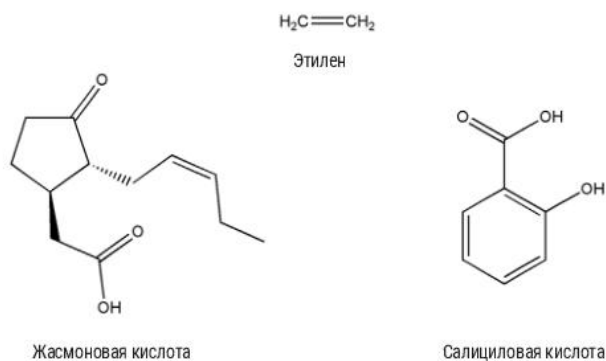
Эти сигнальные молекулы, попадая на поврежденный лист, взаимодействуют с растительными гормонами, которые в свою очередь активируют защитные гены растения. Фитогормоны жасмонаты — сложные эфиры и соли жасмоновой кислоты — обеспечивают устойчивость

к тем, кто повреждает или жуёт листья: личинкам насекомых; грибам, вызывающим некроз ткани, и нематодам. Салициловая кислота повышает устойчивость к вирусам и некоторым видам насекомых, которые питаются соком растений, прокалывая жилки, например к тлям. Если одновременно активировать синтез обоих гормонов, они будут мешать друг другу. Но если активация происходит в разное время, взаимодействие жасмоновой и салициловой кислот усиливает защитный эффект.

Например, классический модельный объект арабидопсис *Arabidopsis thaliana* заразили бактерией *Pseudomonas syringae*. Эта инфекция активирует синтез салициловой кислоты, которая запускает гибель клеток вблизи места заражения. Местный некроз не позволяет бактерии распространяться, но при этом неизбежно привлекает других патогенов, которые питаются мертвой растительной тканью. Однако растение готово к такому повороту: вслед за активацией салициловой защиты срабатывает жасмоновая, которая усиливает работу генов, противостоящих некрофилам. В данной ситуации оба защитных механизма действуют сообща.

Иногда к ним подключается еще один гормон — этилен. Его влияние также зависит от того, кто нападает на растение. Когда дикий табак *Nicotiana attenuata* заражают патогенные грибы, совместное действие жасмоновой кислоты и этилена вызывает синтез фунгицидов. Ситуация меняется при нападении гусениц табачного бражника *Manduca sexta*. Обычно в случае атаки насекомых растение синтезирует алкалоид никотин, губительный для гусениц. Но табачный бражник к никотину устойчив, и тратить силы на его синтез смысла нет. В такой ситуации фитогормоны действуют как антагонисты: этилен не позволяет жасмоновой кислоте повысить уровень никотина в табачных листьях; вместо этого срабатывают иные защитные механизмы.

Ситуация, когда растение отвечает на атаку травоядных усилением защиты, называют оптимальной индуцируемой защитой. Как правило, она достаточно эффективна. Но есть и другие варианты индуцируемой защиты. Одна из них — индуцированное разнообразие. Суть ее в том, что растение в ответ на сигнал опасности меняет набор



▲ Эти фитогормоны участвуют в защите растений от нападения насекомых-вредителей

синтезируемых веществ. Они не обязательно токсичны, они просто другие — не те, на которые рассчитывает гусеница. У листа появляется непривычный вкус. Причем эти вещества еще и меняются.

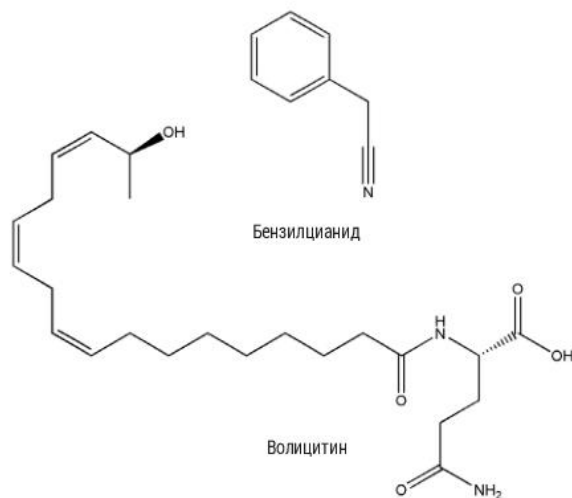
Такая чехарда с набором питательных веществ затрудняет гусеницам пищеварение. Так, личинки непарного шелкопряда, выращенные на более разнообразном рационе, растут медленнее и развиваются дольше, чем гусеницы, выращенные на корме столь же питательном, но менее разнообразном. В результате рост численности вредителей замедляется. Такая изменчивость может повредить травоядным насекомым, но не обязательно принесет пользу растению, если вредители съедят изрядную его часть. Индуцированное разнообразие поможет растениям только в случае, если гусеницы умерят свой аппетит. Исследований, посвященных этому механизму, немного, и неясно пока, насколько он распространен в природе.

Третий способ индуцированной защиты — передача информации. Поврежденное растение испускает летучие сигналы, которые побуждают другие, пока еще целые ткани того же растения усилить сопротивление. До соседних растений эти сообщения тоже долетают, и они заблаговременно укрепляют защиту. Но и насекомые эти сигналы улавливают. Для них сигнал означает, что это растение уже занято конкурентами, неплохо защищено и нападать на него не стоит. Эти же сигналы как приглашение воспринимают хищники, которые охотятся на гусениц, и паразитоиды, откладывающие в них яйца. В этом случае эффект защиты зависит от того, какие животные и растения находятся вокруг.

Все три модели предполагают, что растения реагируют на сигналы, указывающие на повышенный риск нападения. Они могут передаваться от клетки к клетке, через сосудистую систему растения, а также соседям по воздуху и через почву, по корням и мицелию микоризных грибов, связывающих растения одного и разных видов. Так, растения фасоли, соединенные гифами грибов с сородичами, зараженными тлей, активно синтезировали репелленты, и тля заселяла их реже, чем не связанные гифами контрольные растения. Они также активно привлекали паразитоидов тли.

Предупрежден — значит вооружен

Мы уже видели, что растения не всегда дожидаются, когда гусеница откусит кусок, и готовятся к обороне, ориентируясь на косвенные сигналы присутствия травоядных, которые еще не едят, но уже явились. Они чувствуют шаги насекомых, сминающих трихомы (тонкие волоски, опушающие растения), реагируют на экскременты насекомых и улиткину слизь. Бабочки-капустницы, откладывая яйца на лист горчицы, пачкают его бензилцианидом. Растение реагирует на бензилцианид и синтезирует вещества, которые могут убить яйца, вырабатывает соединения, ядовитые для гусениц, если они все-таки вылупятся, и в итоге дает больше семян, чем растение, на которое просто по-



▲ С помощью этих сигнальных молекул, выделяемых насекомыми, растения распознают присутствие вредителей

садили гусениц. Такая подготовка защитной реакции называется праймингом.

Растения также распознают косвенные сигналы, например выделения слюнных желез и отрывку тех же гусениц, приступивших к пожиранию растения. Они улавливают чавканье насекомых, по-научному — акустические вибрации, вызванные жеванием, и не путают его с шумом ветра или пением насекомых. Растения арабидопсиса, которые перед заражением гусеницами репной белянки *Pieris rapae* предварительно обрабатывали такой вибрацией, потом синтезировали больше защитных глюкозинолатов, чем необработанные.

С одной стороны, заблаговременное предупреждение об опасности дает возможность как следует к ней подготовиться. С другой стороны, оно, в отличие от несомненного укуса, может и не подтвердиться.

Во многих случаях вредители способны влиять на тревожную сигнализацию растений. Некоторые насекомые переносят микроорганизмы, мешающие передаче растительных сигналов. Например, растения, которыми питается гороховая тля (в данном случае посевные бобы *Vicia faba*), выделяют летучие вещества, привлекающие паразитических ос, а гороховая тля может переносить бактерии *Hamiltonella defensa*, которые уменьшают выделение растительных летучих веществ после нападения тли. В результате на зараженное растение слетается меньше ос-паразитоидов. Эти же бактерии предотвращают развитие личинок паразитических ос, чем заметно повышают число выживших тлей.

В других случаях травоядные сами маскируются под патогенные бактерии. Получив ложный сигнал, растения готовятся к защите от инфекции и при этом становятся более чувствительными к вредителям. Кладка яиц бабочки-капустницы *Pieris brassicae* вызывает в капустных листьях молекулярные изменения, очень похожие на те, которые вызвали бы бактерии. На месте кладки накапливается салициловая кислота, контролирующая защиту от грибов и бактерий. Ее активность мешает

активности жасмоновой кислоты, которая имеет решающее значение для защиты от травоядных насекомых. Так сигнальные молекулы яиц обманывают растение.

Растения, в свою очередь, принимают меры, чтобы не стать жертвой «мошенников». Они не изготавливаются к защите после первого же сигнала, обычно их должно быть по крайней мере два подряд. Растения могут хранить информацию в течение нескольких часов. Полынь, например, готовится к сопротивлению, если получает сигналы от поврежденных соседей в течение часа и более. На потоки летучих веществ, испускаемых менее часа, растение не реагирует. Арабидопсис хранит память о неоднократном воздействии слабых сигналов. В каждом из них концентрация летучих веществ была слишком маленькой, чтобы вызвать ответ, но многократное повторение вызывает синтез защитных соединений в листьях.

Память растений обеспечивают несколько факторов, первый из которых — эпигенетические изменения. Это модификации ДНК (обычно присоединение или удаление метильных групп); модификации гистонов — белков, участвующих в укладке ДНК; подавление активности генов под действием малых молекул РНК. Такие изменения могут даже передаваться от материнского растения семенам, попадать во вновь развивающиеся ткани и сохраняться до двух поколений. Это долговременная память. А есть еще память кратковременная, ее обеспечивают накопившиеся фитогормоны или РНК защитного гена, которые не сохраняются долго. Так что в растении, вероятно, одновременно действуют несколько механизмов памяти.

А вот пример того, как кратковременная память влияет на защиту растений. Несколько лет назад Андре Кесслер с коллегами посадил дикий табак рядом с трехзубчатой полынью *Artemisia tridentata*. У полыни отрезали несколько листочков, и она, будто насекомыми погрызенная, выделяла много биологически активных веществ, в том числе метилжасмонат. В табаке, растущем рядом с такой полынью, метилжасмонат активировал гены защиты от травоядных насекомых. Немедленного эффекта, то есть резкого увеличения количества защитных белков, исследователи не обнаружили. Но позже, когда на табак посадили гусениц бражника, растения вырабатывали ингибиторы трипсиновой протеиназы — пищеварительного фермента гусениц — быстрее, чем табак, не получавший сигналов от полыни. В результате они понесли меньший ущерб и погубили больше гусениц. Почему?

Дело в том, что у табака и полыни почти нет общих травоядных вредителей, а те, что есть, наносят табаку минимальный ущерб. Так что у табака нет оснований бояться полынных гусениц. Однако же сигнал бедствия полыни он улавливает и принимает во внимание. Табак не заготавливает защитные белки впрок, но усиливает синтез РНК защитных генов. И если на табак действительно нападут вредители в тот промежуток времени, пока он «держит в памяти» сигнал тревоги, эти РНК сразу отправятся в рибосомы, и начнется бурный синтез

защитных белков. Так растения используют краткосрочный прайминг, чтобы минимизировать и вероятность ложных срабатываний, и затраты на синтез защитных белков, которые могут и не понадобиться.

Еще и конкуренция

Если цель растения заключается в достижении максимальной приспособленности, оно должно стать приспособленнее своих соседей. На первый взгляд, прайминг противоречит этой установке. Передача информации с помощью летучих соединений требует затрат от отправителя. Кроме того, отправитель, предупреждая соседа, создает для него конкурентное преимущество.

На самом деле, это не совсем так. Например, сигналы полыни воспринимают прежде всего ее близкие родственники. Как установил Ричард Карбан с коллегами, летучие вещества, выделяемые поврежденной полынью, сильно различаются у разных растений. Ученые обнаружили, что у генетически родственных особей профили летучих веществ похожи. К тому же популяции полыни организованы так, что растение, скорее всего, будет окружено близкими родственниками. Полынь воспринимает сигналы родичей, а посторонним их «подслушать» труднее.

Иначе ведет себя золотарник высокорослый *Solidago altissima*. Обычно он образует густые заросли и предупреждает о нападении всю популяцию. В этом случае всё его окружение становится более устойчивым и вероятность повторного проникновения вредителей на этот участок снижается, что принесет несомненную пользу и растению — источнику сигнала.

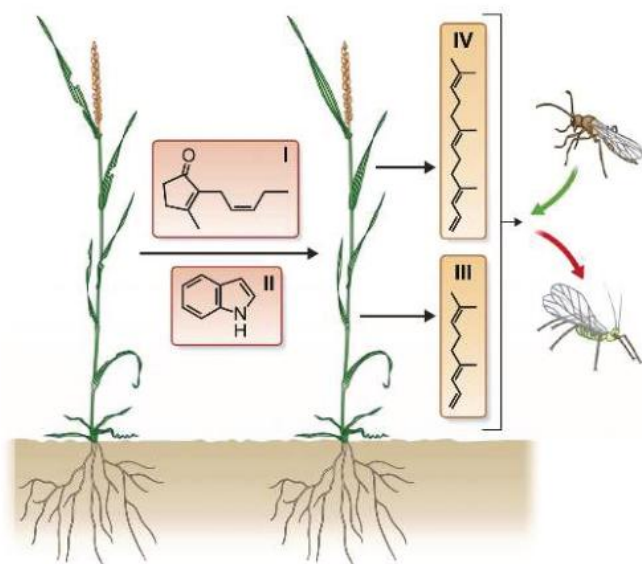
Растения могут оценить конкуренцию на основании света, отраженного от соседних растений. Хлоропласты преимущественно поглощают красный свет (600–700 нм), поэтому свет, прошедший через лист, сдвинут в сторону дальнего красного (710–800 нм). С помощью фоторецепторов фитохромов растения отслеживают изменения в соотношении красного и дальнего красного света и оценивают плотность растительности вокруг себя.

Если конкурентов много, растения ослабляют конститутивную и индуцированную защиты, но при атаке травоядных выбрасывают больше летучих соединений. Эти соединения привлекают хищных насекомых, что может уменьшить численность вредителей. Так растение избегает относительно дорогой прямой защиты в пользу менее дорогостоящей косвенной и экономит ресурсы в условиях конкуренции.

Цена вопроса — важный фактор, влияющий на выбор защитной стратегии. Принято считать, что индуцированная защита требует меньше затрат, чем постоянная. И концентрация защитного вещества при этом может быть гораздо выше, чем при постоянном синтезе. Однако затраты на синтез и распространение сигнальных молекул бывают так высоки, что превышают затраты на постоянную защиту. Кроме того, эти вещества зачастую отпугивают опылителей, а это плохо.

Растения, поврежденные
насекомыми

Неповрежденные
растения



▲ Система защиты растений бывает многоступенчатой. Растения, поврежденные травоядными насекомыми, выделяют стрессовые сигналы I и II. Их воспринимают соседние, еще не тронутые растения, и синтезируют защитные и сигнальные молекулы. Соединения III и IV отпугивают вредителей и в то же время привлекают хищников или паразитоидов, нападающих на этих травоядных. I — цис-жасмон, II — индол, III — (E)-4,8-диметил-1,3,7-нонотриен, IV — (E,E)-4,8,12-триметил-1,3,7,11-тридекатриен

Сравнительное исследование растений семейства Пасленовые показало, что виды, менее зависимые от опылителей, имеют более сильную индуцируемую защиту, в то время как виды, которые в опылителях нуждаются, полагаются на конститутивную защиту.

В общем, индуцируемая защита, оказывается, стоит дорого, она не экономит затраты, а является стратегией, альтернативной конститутивной защите. Выбор защитной стратегии определяется не только экономией, он зависит от стадии жизненного цикла и контекста окружающей среды.

Растения, которые могут сильно пострадать даже от единственной встречи с травоядным насекомым (например, растения на стадии рассады), или обитающие там, где вредителей всегда много, где они малоподвижны и постоянно сидят на растении, или когда нападают несколько видов насекомых сразу, выбирают конститутивную защиту. Если вредителей немного, они мобильны, налетают внезапно и ненадолго, причем каждый вид требует специфического защитного средства, предпочтительнее защита индуцированная, даже если это означает, что большую часть времени растения не будут должным образом защищены от нападающего. Уменьшить затраты на индуцированную защиту помогает правильно организованный прайминг.

Люди пользуются чужим интеллектом

Язык растений сложно расшифровывать. Например, поврежденная полынь выделяет более ста соединений, и понять, какое из них что означает, пока не удастся. Информация может зависеть как от комбинации этих веществ, так и от абсолютных и относительных доз. А еще мы не знаем, как растения воспринимают сигналы риска. Есть несколько исключений — рецепторы к этилену и АТФ, вытекающим из поврежденных клеток, и рецепторы к веществам, которые срыгивают гусеницы.

Хотя механизмы защиты растений изучены явно недостаточно, феномен зафиксирован, и его уже успешно используют. Многие африканские фермеры, живущие южнее Сахары, с удовольствием пользуются системой «притяни — оттолкни» (push — pull). Суть заключается в том, что ценную зерновую культуру — кукурузу, сорго или просо — сажают вместе с другим видом, который «отталкивает» вредителей. В этом качестве часто выступает кормовая трава *Melinis minutiflora*, выделяющая сильный репеллент, отпугивающий бабочек. А чтобы все эти бабочки не полетели откладывать яйца на кукурузу, по краям поля высаживают другие кормовые травы, которые обеспечивают «притяжение». В сумерки, когда бабочки особенно активны, эти травы выделяют гораздо больше привлекательных летучих веществ, чем кукуруза. Пары отталкивающих и притягивающих растений надо специально подбирать в зависимости от зерновой культуры и вредителей, но получается выгодно, потому что травы потом идут на корм скоту. Такая система особенно нравится фермерам-женщинам.

А что нам вообще до интеллекта растений? По мнению исследователей, ценность этой концепции заключается в способности порождать новые проверяемые гипотезы. Она, например, предсказывает, что растения в разных условиях окружающей среды должны по-разному стимулировать и вызывать устойчивость к одним и тем же видам вредителей, в зависимости от относительных затрат, необходимых в той или иной ситуации. Это также означает, что растения могут, находясь в относительно предсказуемой обстановке, действовать по шаблону, а в изменчивых условиях — проявлять поведенческую гибкость. Такой гибкостью прайминга и индуцированной защиты должны отличаться виды, занимающие обширный, разнообразный по условиям ареал. Эти и другие гипотезы еще предстоит проверить.

Согласно определению Шейна Легга и Маркуса Хаттера, интеллект — это способность достигать цели, а все живые существа имеют одну и ту же цель — успешное размножение. Это их объединяет и отличает от искусственного интеллекта, который пока не приобрел стремления к самораспространению, а его цели зависят от желаний человека. Из определения также следует, что интеллект представляет собой фундаментальное свойство жизни, присущее и животным, и растениям, и даже одноклеточным. Нервной системы у них может не быть, а интеллект присутствовать обязан.



Наука и техника на марше

Современное машиностроение и приборостроение без научного подхода невозможно. Ведь именно прогресс в науке определяет и технический прогресс.

Лет 20 назад мне довелось побывать на Корсике. Этот остров представляет собой, по сути, одну большую гору, сложенную из нескольких десятков отдельных гор разной высоты. Вдоль их подножия вокруг всего острова тянется узкая полоска пляжей с отелями, ресторанами и яхтенными портами. Остальное, а именно весь остров — горы. Решили мы с друзьями пересечь остров насквозь, с севера на юг, то есть перевалить через горы.

Пока мы ехали по побережью и серпантинам, нам всюду на дорогах попадалась советская «Нива» песочного цвета. «Нивы» стояли на приколе во дворах частных домов, в виноградниках, в шато и винодельнях. Причем это были не только новые «Лада Нива», но и купленные еще в 70-80-х годах в СССР.

Я, конечно, заинтересовалась, откуда такая любовь. На что мне охотно ответили, что нет более надежного внедорожника для корсиканских гор, чем советская «Нива». Да и починить ее можно самому, если что. И соотношение цена — качество идеальное. В общем, мне как человеку русскому и советскому было очень приятно это слышать.

Вообще «Ниву» считают лучшим автомобилем в истории Волжского автозавода и самой успешной экспортной моделью ВАЗа за всю его историю. «Ниву» сразу оценили зарубежные егеря, врачи, фермеры, коммивояжеры и полицейские. Западный спрос превышал предложение, потому что тогда у полноприводной «Нивы» не было аналогов. Британский исследователь советского автомобилестроения Энди Томпсон считает, что русский внедорожник «Нива» стала прототипом компактных кроссоверов Suzuki Vitara.

Я, конечно, совсем не автолюбитель. Но мне кажется, что наши машины всегда отличала надежность и неприхотливость. И вот вам свежайший пример очередного внедорожного чуда на гусеничном ходу, выпущенного Курганмашзаводом. Называется это чудо «снегоболотоход ТМ-140».

Он создан специально для бездорожья. Мало того что машина проходит пересеченную местность с уклонами и подъемами до 30 градусов, плавают со скоростью 4 км/час и перевозит грузы до 4 тонн. Еще на этот снегоболотоход можно установить что угодно — хоть жилой блок, хоть ремонтную мастерскую или кран-манипулятор. То есть мгновенно преобразить ее для решения специальных задач.

А специальные задачи то и дело подбрасывает нам природа. Называются они стихийные бедствия. Этой весной вездеходы отлично работали в поселках Зауралья, которые затопило во время экстремального паводка. Они доставляли воду и продукты в деревни Курганской области и были на подхвате для эвакуации людей.

Эта техника не могла не понравиться нефте- и газоперерабатывающим компаниям, предприятиям геологоразведки и муниципального обслуживания районов Крайнего Севера. Недавно к ним присоединилось Министерство по чрезвычайным ситуациям. Первые машины они уже получили. До конца года Курганмашзавод передаст министерству еще несколько партий вездеходов.

А вот еще одно чудо — отечественный вездеход «Русак К-10». Его представил МФТИ на главной промышленной выставке России «Иннопром-2024», которая проходила в июле в Екатеринбурге.

Это первый в мире вездеход, который работает на водороде. У него электромеханическая коробка передач. Он огромный — длиной 12 метров и весом 12,5 тонны. У него пять пар больших колес, и при полной загрузке — а это восемь человек на борту и 2,5 тонны груза — он развивает скорость до 60 км/час.

Вездеход создали сотрудники Института арктических технологий МФТИ специально для работы на Крайнем Севере. Поэтому он и в минус 60°C чувствует себя хорошо. Легко преодолевает водные препятствия и минимально топчет хрупкий покров арктической тундры, потому что у него огромные шины низкого давления.

Сердце нового супервездехода — это водородный топливный элемент. Он преобразовывает чистый водород в электричество, которое заряжает литий-ионные аккумуляторы. Водород находится в шести баллонах суммарной емкостью 1200 литров на борту машины.

В общем, как рассказали разработчики, водородный вездеход способен проехать по зимнику на крейсерской скорости до 400–500 км без дозаправки. Скоро, после сертификации, «Русак К-10» отправится на испытания на Ямал. Специалисты проверят не только работу машины, но и водородной заправочной станции, которую тоже сделали физтеховцы.

Похоже, в МФТИ с водородными технологиями уже на ты. На Сахалине МФТИ вместе с Дальневосточным отделением РАН возводит водородный кластер, где будут отработаны все технологии водородной энергетики, все элементы ее инфраструктуры. Здесь водород хотят получать с помощью электролиза воды, энергию для которого будут поставлять солнечные панели. Здесь же начнут обкатывать станции хранения водорода, заправки транспорта. И здесь же выйдут на свои первые маршруты водородные газели.

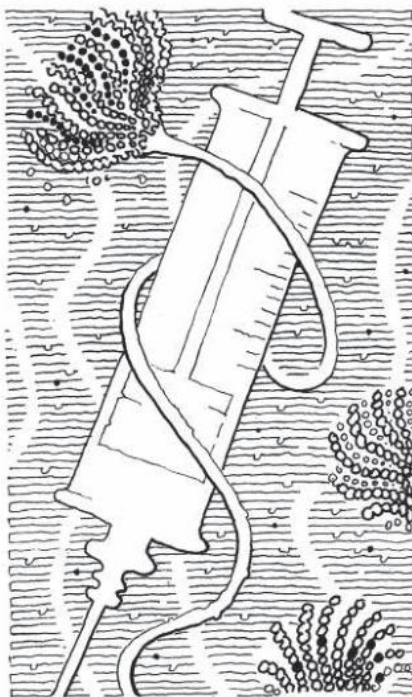
Но физтеховцы смотрят в завтрашний день и вынашивают планы уже в ближайшем будущем питать машины водой или снегом. А этого добра у нас на Севере — в изобилии. Так что физтеховцы стремительно приближаются к исполнению предсказания Жюль Верна.

Помните Сайруса Смита, одного из главных героев романа Жюль Верна «Таинственный остров»? Вот что говорил этот ученый и инженер: «Да, друзья мои, я думаю, что воду когда-нибудь будут употреблять как топливо, что водород и кислород, которые входят в ее состав, будут использованы вместе или поодиночке и явятся неисчерпаемым источником света и тепла, значительно более интенсивным, чем уголь. Повторяю, я думаю, что, когда истощатся залежи каменного угля, человечество будет отапливаться и греться водой. Вода — уголь будущего». Кстати, роман был написан в 1874 году, 150 лет назад.

А что же наша легендарная «Нива», с которой я начала свой рассказ? Она прекрасна, универсальна и по-прежнему уместна в любые времена. Вот и сейчас тольяттинская тюнинг-фирма F-Design начала мелкосерийное производство багги «Арта». Эти легкие вездеходные машины сейчас очень нужны нашим парням на фронте. Как вы думаете, на базе какого автомобиля? Правильно, багги «Арта» — это модифицированная «Нива».

Так что в машиностроении началась настоящая движуха. И то, о чем

я сегодня рассказывала, это лишь малая толика новинок в области специального транспорта, который так необходим нам для освоения гигантских территорий нашей страны.



Безопасная замена фентанилу

Америку захлестнул опиоидный кризис. За 22 года в США от передозировки опиоидов умерло почти 700 тысяч человек. Речь идет в первую очередь о фентаниловой наркомании. Смертельная доза фентанила 2 мг в сто раз меньше, чем героина.

При столь малом количестве легко и ошибиться с дозировкой, поэтому историй со случайной передозировкой очень много. Эпидемия докатилась и до Европы. В Германии в 2022 году в результате употребления опиоидов умерло более 1000 человек.

Получается, что опиоиды, такие как морфин, фентанил и оксикодон, работающие в медицине сильными обезболивающими и облегчающие жизнь людям с сильными болями,

могут отобрать жизнь, в том числе и у совершенно здоровых людей. Дело в том, что при неправильном применении опиоиды могут вызывать привыкание и приводить к остановке дыхания.

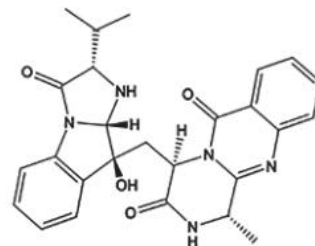
В Соединенных Штатах обезболивающие препараты широко рекламировали долгое время и назначали даже при легких жалобах. В результате многие подсели на эти наркотики.

Однако пациенты с сильными болями никуда не делись. Помощь им по-прежнему актуальна. Поэтому нужно срочно найти безвредные обезболивающие.

Исследовательская группа из Университета Йоханнеса Гутенберга в Майнце (Германия), кажется, нашла возможное альтернативное обезболивающее. Команда использовала химическую базу данных, содержащую более 40 тысяч природных веществ, и суперкомпьютер для расчетов. В результате удалось отобрать десять веществ-кандидатов на роль безопасного обезболивающего.

Всю десятку исследовали на предмет безопасности для человека. Например, смотрели, как действуют высокие концентрации веществ на клетки почек человека *in vitro*. И конечно, проверили, насколько хорошо вещества связываются с опиоидными рецепторами в нервных клетках.

В результате в этой десятке кандидатов нашелся один лидер под номером семь, который соответствует всем критериям потенциально безопасного обезболивающего средства.

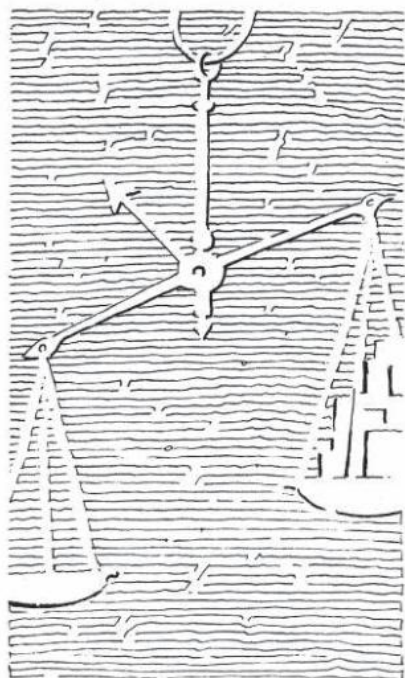


Им оказался анихиназолин В, который выделили из морского гриба *Aspergillus nidulans*.

Теперь кандидат должен пройти испытания на животных в те-



чение следующих нескольких лет, чтобы доказать свою действенность и безопасность для людей (ChemMedChem).



Золото, калифорний, антиводород

Помните куплеты Мефистофеля из оперы Гуно «Фауст»? Ну если и не все куплеты, то уж одну фразу из них вы точно помните — «Люди гибнут за металл». За какой металл — понятно.

Действительно, у древних египтян, греков и римлян золото и серебро чаще других металлов использовали для изготовления монет. Постепенно золото приобрело статус замещающей валюты. Именно золото, а не серебро, потому что месторождений серебра гораздо больше, и его гораздо легче добыть. Дефицит и редкость — вот что делало металл драгоценным.

Золото — один из немногих металлов, который встречается в природе главным образом в виде самородков. Считается, что золотая лихорадка как явление началась в

середине XIX века. Даже называют точную дату — 24 января 1848 года. В этот день плотник Джеймс Маршалл обнаружил золотой самородок, застрявший в колесе водяной мельницы. И началось. Собственно, на золотой лихорадке и поднялась богом забытая и безлюдная Калифорния. Именно там случилась эта находка.

А потом по США и по миру покатилась волна золотых лихорадок. Калифорнийская, австралийская, ново-зеландская, южно-африканская, клондайкская и аляскинская. Самая знаменитая — клондайкская 1898 года. Знаменитая только потому, что об этом Чарли Чаплин снял гениальный немой фильм, который вы наверняка смотрели.

У нас тоже была золотая лихорадка, правда, пораньше, чем в США, в 30-х годах XIX века. Она называлась «сибирская», потому что именно в Сибири тогда нашли золотые жилы.

На самом деле масштабная золотая лихорадка случилась на 200 лет раньше, в Бразилии. Там в безлюдных горах исследователи наткнулись на огромные пласты золота у самой поверхности. Тогда информация так быстро не распространялась, как сейчас. И тем не менее уже всего через полгода в этот район приехало около миллиона охотников за золотом.

Самый большой самородок золота нашли в Австралии в 1869 году. Его длина составляла 60 см, а ширина — почти 30 см. Он весил 72 кг. Самый большой самородок в России, и это документально подтверждено, нашли в 1842 году на Урале. Его называли «Золотой треугольник» (исключительно из-за формы). Он весит около 36 кг, и на него можно посмотреть в Алмазном фонде России.

Если же собрать все золото, добытое в мире, отлить в слитки и плотненько сложить, то получится куб с ребром чуть больше 20 метров. Сколько же это по весу? Больше 166 тысяч тонн сплошного благородства добыто в мире на сегодня.

Многие считают золото самым дорогим металлом. Сегодня его

грамм стоит более 6700 рублей. Дорого конечно, но это сущие копейки, это просто тыфу, это просто ничто по сравнению с изотопом металла калифорния, калифорнием-252. Его 1 г стоит 27 млн долларов. Так что самый дорогой металл в мире — калифорний. Но откуда такая несусветная цена?

А дело в том, что калифорния нет в земной коре. Золото спрятано в Земле на всех континентах в виде самородков, а калифорния там нет ни в каком виде. У него 20 изотопов, у всех разный период полураспада, у кого 900 лет, у кого 2,5 года. Но в любом случае в масштабах геологической истории жизнь калифорния — это просто миг. Может быть, сначала в земной коре нашей планеты и содержался калифорний. Ведь наша планета сформировалась из космической пыли, в которой есть все элементы таблицы Менделеева. Но со временем калифорний распался и превратился в другие более распространенные и стабильные металлы. А времени для этого было достаточно. Ведь возраст Земли — 4,5 млрд лет.

Тогда откуда взялась цена на калифорний, если его нет? Здесь мы должны поблагодарить физиков-ядерщиков, которые научились синтезировать калифорний-252 в своих волшебных реакторах с большим потоком нейтронов. На самом деле физики воспроизводят природные процессы. Все тяжелые химические элементы рождаются во Вселенной в результате столкновения нейтронных звезд.

Таких реакторов на Земле два — в Окриджской лаборатории в США и в Научно-исследовательском институте атомных реакторов, который создал в 1956 году Игорь Васильевич Курчатов. Этот институт находится в Димитровграде, в 80 км от Ульяновска. Еще недавно эти два реактора производили в целом 40 мг калифорния-252 в год.

Получают калифорний следующим образом. Берут мишень из кюрия или плутония и обстреливают ее скоростными потоками нейтронов. Если использовать плутоний, то для

синтеза 1 г калифорния потребуется 8 лет. Если использовать более дорогой и синтетический кюрий — полтора года. За все годы производства физики получили всего 10 г.

Микрограммы этого серебристого металла собирают буквально по атомам. Вот откуда такая сумасшедшая цена. Это самый редкий металл на Земле, а потому и самый дорогой.

Однако в прошлом году в Окриджской лаборатории случился большой пожар. Подробности не знаю — это секретный объект в США. Но производство калифорния американцы прекратили. Наверное — временно. А там кто знает. Так что сегодня мы единственные, кто синтезирует этот уникальный изотоп.

А почему производят именно калифорний-252, у него же период полураспада всего два с половиной года? Ведь у него есть изотопы гораздо более живучие. Дело в том, что только при делении калифорния-252 выделяется огромное количество энергичных нейтронов, которые можно использовать в народном хозяйстве.

Один микрограмм калифорния-252 (а это тысячная доля миллиграмма), который умещается на кончике иглы, выделяет в секунду 2,5 млн нейтронов. А один грамм дает энергии столько же, сколько может выделить небольшой ядерный реактор. Поэтому потребители выстроились в очередь за калифорнием. Его используют в крошечных микрограммовых количествах для изготовления нейтронных источников.

Зачем нужны эти источники? О том, как их используют в науке и народном хозяйстве, мы уже писали (см. «Химию и жизнь», 2018, № 10).

Сегодня этот удивительный сверхредкий металл производят только в одной стране в мире — у нас в России. Более того, физики-ядерщики из НИИЯР в Димитровграде после долгих исследований и череды неудач добились потрясающего результата. Теперь полный цикл производства калифорния-252 в на-

шем реакторе сократился в разы и занимает всего несколько месяцев. Все-таки наши физики-ядерщики лучшие в мире. И всегда были.

А есть ли более дорогое вещество, чем калифорний-252? Напомню, 1 г этого металла стоит 27 млн долларов. Казалось бы, куда дороже. Оказывается — есть куда. Один грамм антиводорода, по разным оценкам, стоит от 60 до 115 трлн долларов. Но об антиматерии давайте поговорим в другой раз.



Кора извлекает метан из атмосферы

Человечеству кажется, что никто кроме него не в состоянии позаботиться о биосфере и защитить ее от глобального потепления. Типичный антропоцентризм. Никто так не заботится о планете, как сама Природа. Стоит напомнить, что человечество — это лишь малая часть обитателей планеты, тысячные доли процента общей биомассы. А вот на долю растений приходится 97% био-

массы, поэтому здесь они главные.

Они дают нам еду, дают нам материалы и поглощают углекислый газ, чтобы насытить атмосферу кислородом, необходимым для всего живого. Однако поглощением парникового газа CO_2 вклад растений в охлаждение планеты не ограничивается. Ведь кроме CO_2 в атмосфере есть и другие парниковые газы, не менее значимые.

Вслед за углекислым газом по значимости для глобального потепления следует метан. Его парниковые свойства гораздо сильнее, чем у CO_2 , но в атмосфере его меньше. Хотя скорость нарастания его количества в атмосфере больше, чем у CO_2 . Тем не менее на его совести 17% парникового эффекта.

Давно известно, что прикорневая область деревьев выделяет метан. Это связано с жизнедеятельностью некоторых бактерий. Исследователи из Бирмингемского университета решили посмотреть, как распределяется выделение метана по всей высоте дерева. В центре их внимания были лесные деревья в тропической Амазонии, лиственные деревья в Великобритании и хвойные породы в Швеции. Исследователи закрепили датчики на стволах деревьев на разной высоте.

Оказалось, что вертикальная структура обмена метаном у деревьев в разных лесах одинакова. То есть природа использует универсальное решение: на всех участках основания деревьев в основном выделяли небольшое количество метана. Но начиная с высоты 130 см и выше деревья поглощают больше метана из атмосферы, чем выделяют.

Оказалось, что это результат деятельности бактерий, которые питаются метаном и живут в коре на высоких частях ствола. Исследователи говорят, что лучше всего поглощали метан деревья в тропических лесах. Вероятно, потому, что питающиеся метаном микробы особенно хорошо размножаются в условиях влажной жары.



Исследователи с помощью лазерного сканирования и спутниковых исследований определили общую площадь коры деревьев, которая поглощает метан. Оказалось, что если ее разложить на земле, как пазл, он покроет ровным слоем всю нашу планету.

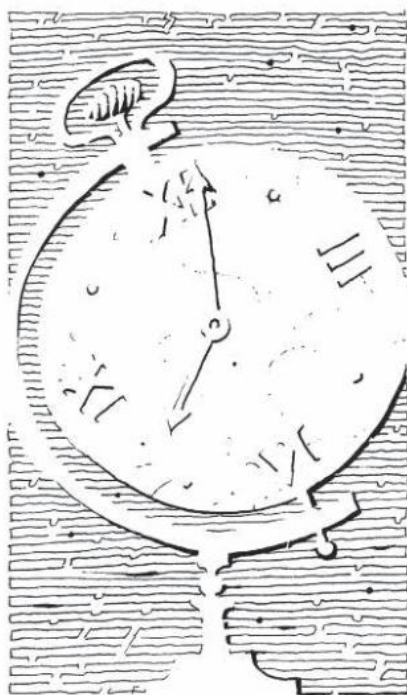
Этот массив коры ежегодно удаляет из атмосферы 25–50 млн тонн метана. Приблизительно столько же поглощают метанотрофные бактерии, обитающие в почве.

Много это или мало? Давайте посмотрим. Ежегодно в атмосферу выбрасывается около 600 млн метрических тонн метана. По оценкам, две пятых этих выбросов поступают из природных источников, главным образом из гниющей растительности на болотах, а также из тающей вечной мерзлоты. Остальные три пятых связаны с деятельностью человека. Это транспортировка природного газа по трубопроводам, которые неизбежно подтекают, это угольные шахты, из которых сочится метан, это свалки, на которых гниющая органика выделяет CH_4 , а также навоз на фермах и в коровниках.

Глобальное обязательство по выбросам метана, принятое на саммите по климату COP26 в 2021 году, предусматривает сокращение выбросов метана на 30% к концу десятилетия, то есть на 200 млн тонн в год. Так что метанпоглощающие способности деревьев вполне сопоставимы с этими объемами.

Исследователи надеются выделить микроорганизмы, забирающие метан из атмосферы и обитающие в коре. Им наверняка найдется применение. Как минимум — добавлять их в навоз.

А вообще надо вести себя прилично, не вопить о потеплении «Ка-раул!», а прекратить вырубать леса. Это ведь продолжается до сих пор в Европе, которой нужно освободить место под рапсовые поля для биодизеля и для установки ветряков и солнечных панелей. Казалось, лесов там и не осталось. Но находят же!



Потепление замедляет вращение Земли

Нам всем кажется, что время ускоряется. А на самом-то деле — наоборот. Оказывается, Земля замедляет вращение вокруг своей оси. И виной тому — глобальное потепление. Ну хоть какая-то польза от него есть.

Вообще, на скорость вращения земли вокруг себя влияет несколько факторов. Когда Земля только образовалась 4,5 млрд лет назад, один день на нашей планете длился меньше десяти часов, потому что скорость вращения Земли была значительно больше.

А потом появилась Луна и стала притягивать к себе Землю. Сначала ведь Луна была к Земле гораздо ближе, она висела на высоте 17 000 км — видимая площадь диска была в 1000 раз больше, чем сейчас. Поэтому приливные взаимодействия Луны с Землей были немыслимо сильные.

Земля начала замедлять вращение, а Луна тем временем удалялась от Земли, пока не заняла устойчи-

вую орбиту на расстоянии в среднем 384,4 тыс. км от Земли. Вращение Земли тоже стабилизировалось, и сутки растянулись до 24 часов.

Но есть еще несколько факторов, которые могут изменить длительность земных суток. Это распределение массы внутри Земли, ветры и температура атмосферы.

Исследователи из Швейцарского федерального института технологий в Цюрихе решили посмотреть с помощью моделей, как антропогенное изменение климата повлияет на вращение Земли. В этом деле им помогал искусственный интеллект. Исследователи сосредоточили внимание на том, как распределена масса по нашей планете.

Гигантские массы воды в виде льда все еще сконцентрированы на полюсах. Но ледники начали быстро таять, и большие массы воды устремились к экватору. В результате экватор утяжеляется и, соответственно, вращение Земли вокруг себя замедляется.

Исследователи сравнивают это явление с пируэтом фигуристки, когда она вращается на одной ноге вокруг своей оси. Если руки прижаты к телу — скорость вращения высока. Но стоит развести руки в стороны, как вращение будет замедляться. Чем дальше масса удаляется от оси вращения, тем больше физическая инерция и медленнее вращение.

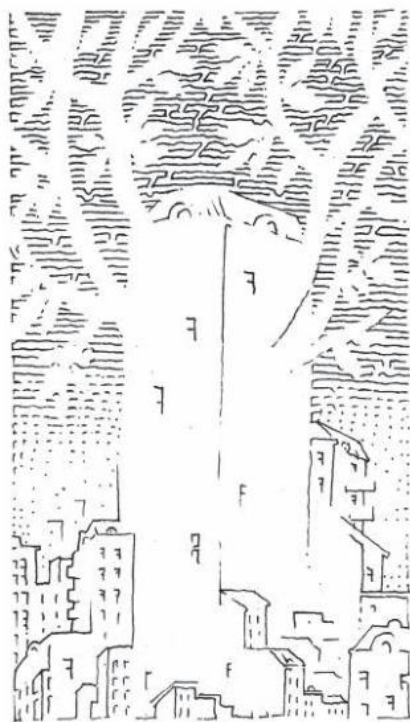
В XXI столетии ледники начали интенсивно таять, и влияние этого процесса на вращение Земли усилилось. В результате сегодня продолжительность светового дня увеличивается на 1,33 миллисекунды в столетие. Это больше, чем в любой другой момент за последние несколько тысяч лет.

Казалось бы, какая ерунда — всего-то 1,33 миллисекунды. Считай, что ничего. Но это для нас, живущих на Земле, ничего. А вот для тех, кто отправляется в дальние космические полеты, это жизненно важные изменения, которые надо учитывать при расчетах.

К тому же здесь одно тянет за собой другое. Исследователи устано-

вили, что изменения на полюсах не только замедляют вращение Земли, но еще и отклоняют земную ось вращения на несколько сантиметров в год.

Допустим, космический корабль собирается опуститься в заданной точке на другой планете. На огромных расстояниях отклонение на Земле всего на 1 см может вырасти до сотен метров. И если в конкретный кратер на Марсе, который намеревались исследовать, не получится (*Proceedings of the National Academy of Sciences*).



Лучшее дерево для города

Нынешнее небывало ураганное лето изрядно выкосило деревья в городах России. Деревья-гиганты буквально выворачивало с корнем. Городские службы в Москве не успевали распиливать павшие стволы и оттащить дровишки.

Смотрела я на все это и думала, что надо срочно восполнять ущерб и сажать новые деревья, потому что без них в большом городе, да еще

в условиях очевидного потепления, будет совсем тяжко. Деревья охлаждают город, работая естественным кондиционером для горожан. Чем больше их, тем лучше для жителей. Не говоря уже о том, что деревья поглощают углекислый газ, насыщая городской воздух кислородом. Но какие деревья выбрать для города?

Понятно, что не каждое дерево приживется в каждом городе. У нас города озеленены в основном тополями. Их стали высаживать в 1950-х годах, когда началось массовое строительство пятиэтажек. Тополь прекрасный городской житель. Он очень быстро растет, легко адаптируется к шуму и пыли, дает богатую листву, поэтому хорошо защищает от шума, и т.д.

С тех пор прошло больше 70 лет. Деревья постарели, пирамидальные тополя подошли к концу своей жизни. И стали падать под давлением ветра. Корневая система тополя большей частью неглубокая, поверхностная. И если ее площадь меньше проекции пышной тополиной кроны, то сильный порыв ветра легко валит гиганта.

Старые и утраченные деревья надо заменять на новые. Я, например, не имею ничего против тополей. Просто надо высаживать мужские особи, чтобы не было опасного пуха в городе. В Екатеринбурге, например, начали высаживать березы, яблони и рябины. Они не такие мощные, как тополя, но красивые.

А что предлагает наука?

Исследователи из Мюнхенского технического университета обследовали 5600 городских деревьев по всей Германии и их взаимодействие с окружающей средой. Основное внимание ученые уделили 12 породам городских деревьев, включая клен, бук, каштан, липу, платан и робинию (лжеакацию), которые в совокупности в настоящее время составляют 60% древостоя в городах Германии.

На основе этих данных исследователи создали интерактивную программу «Городское дерево» (CityTree). Она учитывает местопо-

ложение, состояние почвы и освещенность в 34 городах и дает рекомендации, какие деревья стоит там сажать. Кроме того, программа определяет, какое количество CO₂ может поглощать каждое дерево в этом месте, насколько сильно оно охлаждает окружающую среду и сколько воды потребляет. Это упрощает поиск наиболее подходящего дерева для конкретного города и поселка.

Теперь такой поиск доступен всем озеленителям, городским службам, садоводам и обычным горожанам. Все желающие могут бесплатно использовать этот онлайн-инструмент, чтобы проанализировать насаждения в своем районе, дворе или саду и спланировать новые посадки.

Понятно, что не каждое дерево одинаково хорошо чувствует себя в разных городах. Например, модель показывает, что там, где тепло и мало осадков, лучше сажать платаны, клены или ясени, потому что они лучше переносят засуху.

А вот в более влажных городах со сравнительно большим количеством дождей будут уместны и полезны конский каштан и зимняя липа, но при условии, что для них достаточно места (*Technische Universität München*).

Я бы в Москве посадила все перечисленные деревья. Столица большая, места много, да и погода переменчивая — то засуха, то ливни. Москве нужно разнообразие.

Выпуск подготовила
Л.Н. Стрельникова

Иллюстрации
Петра Перевезенцева



Доктор технических наук
А.А. Нечитайлов

Видимые невидимки

Борьба с подделками весьма важна для нефтяной промышленности. Нефть и нефтепродукты — это, как правило, жидкости. Поэтому удобно смешивать разные продукты и даже выдавать одни сорта нефти за другие.

Персонаж кинофильма «Джентльмены удачи» работал на бензоколонке и разбавлял бензин ослиной мочой. Но это мелочь — всего одна бензоколонка.

В реальности потоки продукции значительно больше, а значит — и больше прибыль. Вот и играют люди, связавшие свою судьбу с нефтью, в эту азартную игру: одни придумывают способы защиты своей продукции, другие пытаются разгадать и взломать защиту.

Попутно эта борьба способствует развитию науки.

◀ Зеленая энергетика – это, конечно важно и нужно, но пока что треть энергии и несчетное количество разных химических продуктов человечество получает из нефти. Поэтому все вопросы, связанные с нефтью, имеют большое значение. Кувейт, 1991 г.
Фотограф Себастьян Сальгадо

Свой или чужой

Проблема, как отличить свою продукцию от чужой, довольно давняя. Яркий и всем известный пример — идентификация денежных купюр. Это универсальный продукт, следовательно, наиболее лакомый для подделки. Вот почему для защиты купюр используют многоуровневую защиту. Но в этой заметке речь пойдет о нефтепродуктах, прежде всего — о нефти, а точнее — о создании меток для них.

Отличать свой продукт от чужого важно не только потому, что они могут различаться по каким-то параметрам. Отличать продукт одного изготовителя от другого важно еще и по экономическим соображениям — покупатель должен знать, что и у кого он покупает. Кроме того, характеристики продукта могут изменяться, «плыть» от партии к партии. Так что в идеале хотелось бы не просто отличать свой продукт от чужого, но и различать разные партии.

Сложность заключается в том, что нефтепродукты — это жидкости, на них невозможно наклеить этикетку, да и многие из них «на одно лицо». Их физико-химические свойства близки — в рамках одного типа продукта, конечно. Получается, что чуть ли не единственный способ — это распределить секретную метку в объеме продукта. Посмотрим, как это можно сделать, какие возникают на этом пути проблемы и как их пытаются решать.

Разработать способ защиты, ввести метку в продукт, обнаружить ее и расшифровать — все это стоит денег. Тут как нельзя ярко проявляет себя диалектика вопроса. Чем секретнее, а значит, и сложнее защита, тем она дороже и, как правило, требует больше времени на расшифровку, и для этого нужен более квалифицированный персонал. Понятно, что посветить на купюру ультрафиолетовой ручкой может каждый, увидеть люминесценцию тоже под силу неквалифицированному работнику. А вот провести высокочувствительный анализ с соблюдением и пониманием всех предосторожностей, чтобы не загрязнить пробу и т. п., да еще и на сложном аналитическом оборудовании — это сможет только специалист. Экономические факторы тоже должны учитываться при разработке и сравнении способов защиты.

Требования и пожелания

Каким требованиям должны отвечать секретные метки для нефтепродуктов? Они должны быть невидимыми, незаметными, секретными для злоумышленников, то есть для тех, кто хочет подделать метку, похитить нефтепродукт, выдать продукт за свой или смешать его с другим. Для тех, кто хочет нарушить права обладателей и покупателей продукта. В то же время метки должны быть различимы для изготовителя продукта, для законных покупателей и контролирующих органов.

Метки не должны взаимодействовать с маркируемым продуктом, портить его, изменять его свойства. Желательно, чтобы тот или иной способ создания метки потенциально допускал разнообразие конкретных кодов, хотя бы несколько десятков. Это позволило бы кодировать не только изготовителя, но и отдельные партии. Маркеры должны быть стабильны во времени и в условиях существования продукта (температура, давление, контакты с трубопроводами и тарой). Возможность тонкой настройки уникального кода метки также желательна, она увеличивает количество информации, которая может быть передана.

Общее пожелание — концентрация вещества-метки в продукте должна быть мала, тогда многие другие требования легче выполняются. Но при этом детектирование должно быть быстрым, дешевым и простым и не должно быть ложных срабатываний любого типа. И еще важное условие: маркеры должны быть нетоксичны и безопасны для человека и окружающей среды, в том числе для оборудования, с которым контактирует продукт. Вот такой непростой и противоречивый получился набор требований. Посмотрим, как это реализуется на практике.

Мы рассмотрим оптическое и химическое кодирование, кодирование с использованием квантовых точек, температуры плавления наночастиц, магнитных жидкостей и ДНК. Два первых метода известны и успешно применяются, а остальные разрабатываются. Давно и широко используется метод кодирования (не только нефтепродуктов, но и купюр) с помощью оптических меток. Эти методы в их классическом варианте очень просты в исполнении и не требуют высокой квалификации персонала. С них и начнем.

Оптически активные маркеры

Наиболее распространены оптические маркеры на основе люминофоров. Принцип люминесценции — излучательный переход электронов вещества из возбужденного состояния в состояние с меньшей энергией. Обычно электроны находятся в так называемом основном состоянии с минимальной энергией. Но из него они могут уйти, это происходит при некоторых воздействиях на вещество. Например, при освещении ультрафиолетовым светом электроны вещества

поглощают энергию кванта и переходят на более высокий энергетический уровень. Однако эта ситуация неустойчива, и атом должен вернуться в исходное положение. При возвращении электрон может отдать энергию решетке, то есть нагреть вещество, но может и излучить квант.

Электронов в веществе много и квантовые уровни у них разные, в результате будет наблюдаться целый спектр люминесценции, содержащий полосы различной интенсивности при разных длинах волн. Этот спектр индивидуален, это «подпись» вещества. Не все вещества люминесцируют и не все с одинаковой интенсивностью, поэтому кандидат в маркер должен обладать способностью к люминесценции высокой интенсивности. Хорошо бы, чтобы маркер имел сложный, уникальный, а еще лучше управляемый спектр.

Наиболее часто для маркировки используют органические люминофоры, люминесцирующие в ультрафиолетовом свете. Краситель-маркер обычно добавляют в нефтепродукт в небольшой концентрации, как правило 5–20 ppm (частей на миллион), чтобы не возникло каких-либо нежелательных последствий при сгорании в двигателе. Способ получается относительно дешевый, его можно применять в полевых условиях, он не требует высокой квалификации сотрудников. Но это если ограничиваться только ответом на вопрос — есть в продукте метка или ее нет.

Если увеличить концентрацию метки, то можно оценить ее содержание, сравнивая интенсивность свечения со стандартами. В этом случае можно передать с меткой больше информации. Сейчас есть много промышленных топливных маркеров на основе азокрасителей (Solvent Orange 7, Solvent Red (24 и 26), Solvent Yellow 124) и антрахинона (Solvent Blue 14). Но разрабатываются и новые маркеры на основе, в частности, азокрасителей, индиго и бензотиадиазолов. Для проверки метки в этом случае используют различного типа флуориметры — приборы, позволяющие измерять интенсивность люминесценции. Но тогда увеличатся стоимость анализа и время анализа, возрастут требования к квалификации персонала. В целом это хорошо освоенный метод, промышленность выпускает множество топливных маркеров, много новых разрабатывают.

Еще больше информации о метке можно получить, если не сравнивать флуоресценцию с эталоном на глаз, а снимать спектр. В этом случае можно использовать для маркировки смесь красителей с уникальным спектром поглощения. Для расшифровки таких меток нужен спектрофотометр — прибор, который измеряет зависимость интенсивности прошедшего через образец света от длины волны. Материалы, наиболее часто используемые в спектроскопических метках, это простые нетоксичные органические красители, флуоресцирующие в различных областях видимого спектра. Известны коммерческие продукты, представляющие собой объединение нескольких флуорофоров на основе цианина, фталоцианина или скварина.

Оптика — новые веяния

Один из интересных новых подходов — колориметрия на бумаге. Это матрица-сенсор на бумажной или иной подложке, которая реагирует на те или иные вещества-метки изменением оптических свойств — цвета, люминесценции, интенсивности окраски. Есть разработки, позволяющие по изменению цвета сенсора, который подержали в парах нефтепродукта, определить, какие там вещества и сколько. Например, если нанести на нейлоновый фильтр активированный фурфурол, то цвет будет изменяться при наличии аммиака или паров диметиламина. «Смотрит» на такой сенсор камера смартфона, анализирует цвет специальное приложение на смартфоне.

Существует новый метод оптического маркирования, основанный на рамановской спектроскопии, то есть на неупругом рассеянии света. Когда свет лазера попадает на вещество, происходят процессы возбуждения и возвращения электронов в основное состояние. Однако при этом молекула может перейти в состояние, отличающееся от исходного. В этом случае она излучает фотон с другой энергией, нежели исходный, разница энергий называется «рамановский сдвиг». Он различный для разных веществ, и его можно использовать для определения малых концентраций.

Есть вариант рамановской спектроскопии — метод SERS (Surface-enhanced Raman spectroscopy, поверхностно-улучшенная рамановская спектроскопия). Он настолько чувствительный, что обнаруживает отдельные молекулы. Исследуемый образец помещают на подложку — пористый материал, на поверхности которого находятся наночастицы благородных металлов. На таких подложках неупругое рассеяние усиливается за счет так называемого плазмонного резонанса. Примеры молекул, которые могут в этом методе быть использованы в качестве меток: тиофен, меркаптобензол, 1,4-фенилендиизоцианид, 1,4-диэтинилбензол, 4-аминобензойная кислота, пиридин, дейтеропиридин. Измерения проводят на различных рамановских спектрометрах.

Сравнивая методы и подходы, мы видим, что чем точнее и чувствительнее метод, тем он сложнее и дороже. Однако время идет, наука и техника не стоят на месте, методы совершенствуются.

Химические метки

Это второй традиционный и широко применяемый подход. В данном случае метка — смесь нескольких веществ, при анализе они должны быть обнаружены в образце. В идеале надо определить их концентрации — так можно передать больше информации. Для детектирования используют различные методы, наиболее чувствительный — масс-спектрометрия. Но это дорогой метод, и анализ занимает много времени. В качестве компонента метки могут использоваться ве-

щества, содержащие стабильные изотопы, поскольку масс-спектрометрия легко их определяет. В частности, было бы естественно взять органику, которая уже есть в материале, но сделать ее на дейтерии или изотопе углерода C-13. Тем более что дейтерий в одном случае (см. выше — дейтеропиридин) уже используется.

Квантовые точки

С развитием нанотехнологий для кодирования нефтепродуктов стали доступны экзотические объекты — квантовые точки. Это объект нанометрового размера, обычно от 2 до 10 нм, полупроводник, в котором электрон (или дырка, отсутствие электрона) находится в потенциальной яме с минимумом энергии. В этом случае носитель заряда локализован, и его состояние (энергия) квантуется, изменяется порциями. В чем-то квантовая точка похожа на атом, поэтому их иногда называют искусственными атомами. Только «атомы» эти более разнообразны, чем обычные, и их свойствами можно управлять. Например, изменяя размер, состав и структуру квантовой точки, можно изменять спектр люминесценции. Причем управляемых параметров много, поэтому спектры можно получать разнообразные и передавать много информации. Для создания таких объектов хорошо подходят наноструктурированные углеродные материалы — углеродные нанотрубки и фуллерены. Многие специалисты полагают, что метки, основанные на применении квантовых точек и на рамановской спектроскопии, со временем вытеснят классические метки с флуоресцентными молекулами.

Индивидуальность плавления

У наночастиц есть и другие индивидуальные свойства, например температура плавления. Если в смеси наночастиц присутствуют частицы с определенными температурами плавления, так называемые «наночастицы фазового перехода», это будет видно на графике дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК). В точке плавления происходит поглощение тепла, и это отражается на зависимости мощности, необходимой для нагрева образца, от температуры. Метод известен, но в применении к меткам он пока только развивается. Анализ получается довольно длительный, требуется дорогое оборудование — дериватограф, который с высокой точностью определяет изменение теплового потока к образцу или от образца в процессе нагрева или охлаждения. Альтернативный метод — когда поток тепла поддерживается постоянным и при плавлении замедляется рост (или уменьшение) температуры.

Магнитные жидкости

Еще одно новое направление в маркировке нефтепродуктов — использование магнитных жидкостей. Название неудачное, но так уж принято их называть.

На самом деле это многокомпонентные системы, включающие жидкость и распределенный в ней магнитный материал, например магнетит (Fe_3O_4).

Разработчики утверждают, что магнитные жидкости позволят кодировать и считывать огромное количество информации. Секрет в том, что магнитные частицы в этих жидкостях составлены из более мелких частиц с разными магнитными свойствами. Изменяя типы и количества этих более мелких частиц, можно, по сути дела, управлять кривой намагничивания составной частицы, то есть зависимостью индукции магнитного поля от его напряженности. Переменная напряженность поля создается электромагнитом, а индукция измеряется любым методом. На практике используется напряженность поля, зависящая от времени синусоидально, а индукция определяется по напряжению, наведенному в контуре. Если кривая намагниченности линейна (ферромагнитных частиц нет), то наведенное напряжение тоже синусоидально. Любое отклонение от линейности изменяет синусоиду, и в спектре появляются гармоники. Вид спектра, то есть амплитуды гармоник, и есть передаваемая информация. Метод не слишком дорогой, анализ можно сделать быстро.

ДНК-метки

Человечество учится у природы. Многие идеи у нее уже позаимствовали и перенесли в техническую и технологическую сферу. Например, микробные топливные элементы — батарейки, в которых электрический ток генерируют микроорганизмы. Или всем известные нейросети — это тоже подражание природе, в той или иной степени удачное. Известно, что молекулы ДНК содержат большое количество информации. Поэтому естественна мысль — использовать ДНК как метку, добавляя ее в нефтепродукт. И такой метод разрабатывается. ДНК-метки в нефти находят с помощью полимеразной цепной реакции и соответствующего оборудования. Проблема в том, что большие органические молекулы в условиях, характерных для транспортировки нефти, нестабильны.

Что сегодня?

Из перечисленных выше методов сегодня популярны оптическое и химическое кодирование. Остальные (квантовые точки, температуры плавления, магнитные жидкости и ДНК) разрабатываются. Разработчики оценивают перспективы своих способов оптимистично. Но надо иметь в виду, что любому новому методу надо не просто оказаться лучше по какому-то параметру. Он должен оказаться лучше по комплексу параметров хотя бы для какой-то важной ситуации (например, не для всех нефтепродуктов, а для какого-то одного). Причем «с запасом» — для преодоления инерции человека и техники.

Но ведь и разработчики традиционных методов тем временем не сидят без дела.

Кандидат физико-математических наук

С.М. Комаров

Бег капли

Чтобы капля воды скатывалась как можно быстрее, человек придумал супергидрофобные покрытия. Источником вдохновения для него послужили листья лотоса, которые, как оказалось, не просто покрыты слоем вещества, подобно воску, но еще и усеяны микронеровностями. В результате площадь касания капли с листом сведена к минимуму: при малейшем наклоне она катится по пикам этих неровностей, не проваливаясь в низины рельефа.

А почему так получается? Потому, что форму капли удерживает поверхностное натяжение. Если оно достаточно большое, а расстояние между пиками рельефа достаточно маленькое, то удастся преодолеть силу гравитации, которая стремится раскатать каплю в блин. Всем управляет капиллярное число. Оно зависит от вязкости вещества капли, силы поверхностного натяжения и ускорения свободного падения на планете, то есть на другой планете для супергидрофобности может потребоваться иной рельеф.

Эффект супергидрофобности нужен во многих отраслях техники. Вот лишь некоторые направления. Нарастание снега и льда на конструкциях — бич авиаторов, моряков, энергетиков и вообще жителей северных стран. Использование супергидрофобных покрытий значительно снижает эту опасность, а в аэропорту удастся сократить расход антиобледенительных препаратов на обработку самолетов. Морякам такое покрытие снимает еще одну головную боль — войну с обрастателями. Вода имеет минимальную площадь контакта со супергидрофобной поверхностью, а обрастатель не может покинуть воду, даже если «сухой» промежуток имеет толщину в микроны.

Нанесение покрытия внутри труб на 40% снижает сопротивление потоку протекающей по ним жидкости. Поскольку сопротивление ведет к росту давления, требуемого для прокачки, таким простым способом можно либо снижать мощность задействованных насосов, либо увеличивать протяженность трубопроводов. Это чрезвычайно важная проблема даже не для нефтяников или коммунальщиков, а для аграриев, ведь протяженность труб систем капельного орошения исчисляется миллиардами погонных километров.

Важнейшее использование супергидрофобных покрытий — всевозможные прозрачные стекла, которые не запотевают и не бликуют. Последнее очень важно для солнечных батарей, поскольку в опытах показано,

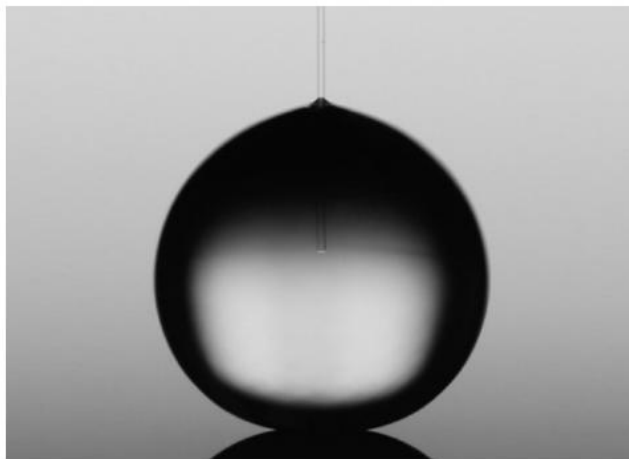
что подавление бликов, то есть отражения света, может увеличить их эффективность на 17%. Покрытие, на котором вода не растекается, еще и грязеустойчиво. Ведь обычно подтеки на стекле остаются от высохших капель грязной воды, а если вода стекает без остатка, грязи неоткуда выпасть. Аналогично, нелегко запачкать ткань, волокна которой обладают свойством супергидрофобности. Из таких волокон делают скатерти.

Однако по мере изучения эффекта супергидрофобности стали выясняться интересные детали. В принципе, капля как материальный объект не может совсем уж без трения перемещаться по поверхности. Рассчитать силу трения нетрудно: она прямо пропорциональна размеру контактной площадки капли с поверхностью и разнице углов касания капли спереди и сзади по отношению к движению. Для супергидрофобной поверхности оба параметра столь малы, что при размере капли в 1 мм сила трения оказывается примерно 10 нН. В то же время вес такой капли — 10 мкН, в тысячу раз больше. И трение, вычисленное по формулам, никак не зависит от скорости движения капли.

Однако опыт показывает: зависит! Если скорость становится выше магического значения 2 мм в секунду, сила трения начинает расти и быстро становится в сотни раз выше. В чем же дело?

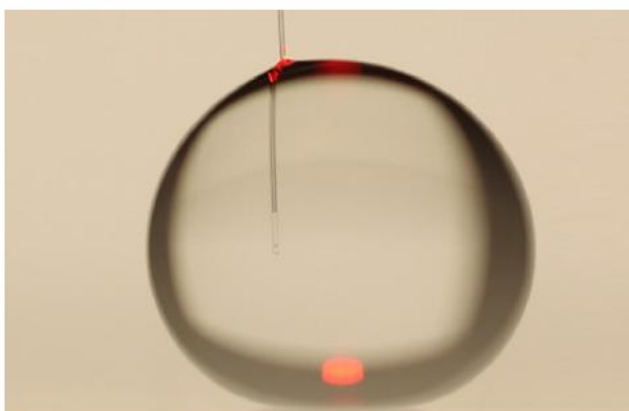
Финские исследователи из университета Аалто во главе с Матильдой Бакхолм поставили тончайший эксперимент (PNAS, 2024, т. 121, № 17). Они сделали микроскопические пипетки диаметром в микроны; миллиметровая капля на фоне такой пипетки кажется глыбой (фото 1). Эту пипетку вводили внутрь капли, лежащей на изучаемой гидрофобной поверхности. А сама пипетка была соединена с чувствительным датчиком движения. После этого поверхность под каплей смещали. Сила трения увлекала нижнюю часть капли в сторону, а верхняя никуда сместиться не могла, ведь она была присоединена к жестко закрепленной пипетке. Соответственно капля начинала вибрировать, совершая затухающие колебания вокруг равновесного положения (фото 2). По скорости затухания и определяли силу трения.

На этой установке и ставили опыты, пытаясь определить, что же вносит этот неизвестный вклад, зависящий от скорости, в силу трения. Измерения показали, что он пропорционален квадрату диаметра пятна контакта. И эти данные, и сама зависимость от скоро-



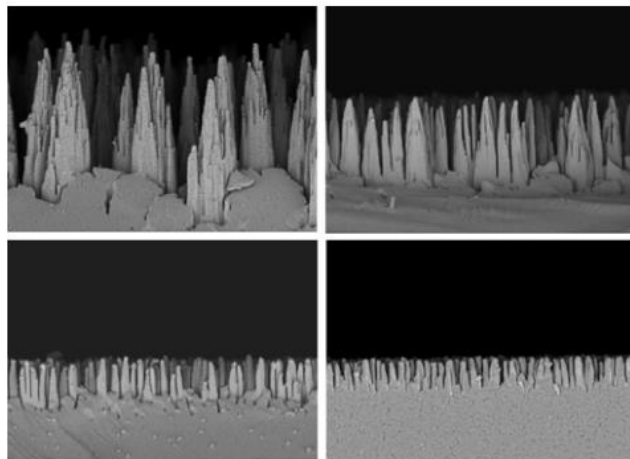
▲ 1

Пипетку вводят в каплю воды, лежащую на изучаемой поверхности



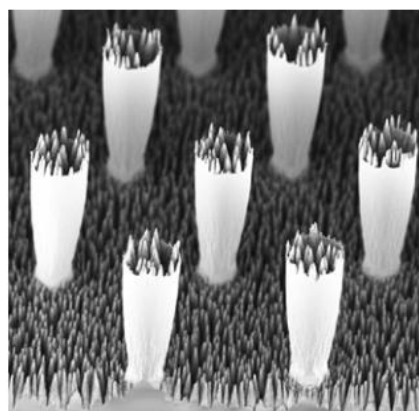
▲ 2

Пипетка удерживает верхнюю часть капли от смещения



▲ 3

Чем больше высота пиков сверхгидрофобной поверхности, тем меньше сила трения



▲ 4

Колонны, возвышающиеся над обычным рельефом сверхгидрофобной поверхности, существенно снижают силу, которая противится движению капли

сти подсказывали, что дело в вязком сопротивлении движению. Но кто создает эту вязкость?

Вязкость окружающего воздуха не может играть нужную роль, ведь воздух всегда есть вокруг капли и его сопротивление никак не будет зависеть от ее пятна контакта с поверхностью. Напротив, вклад вязкости самой капли зависит от размера пятна в степени $3/2$, а этого мало, нужно 2.

И тут исследователям пришла в головы мысль — это же пластрон, то есть плотный воздушный клин между каплей и поверхностью! Воздуху этого клина, который при определенной скорости движения оказывается в ловушке между каплей и элементами рельефа, будет некуда деваться. И точно! Расчет показал, что связь вязкого сопротивления пластрона с размером пятна контакта как раз квадратичная.

Теперь гипотезу надо было проверить. Основания к этому имелись: чем больше толщина клина, тем меньше должно быть его сопротивление. Чтобы убедиться, сначала вырастили структуры с рельефами разной высоты

(фото 3). Действительно оказалось, чем выше рельеф, тем меньше сила трения. Тогда решили окончательно убедиться и сделали структуры с двумя масштабами рельефа (фото 4). И убедились, что сила трения перестала зависеть от параметров низкого рельефа. Видимо, воздух успевал проходить между высокими колоннами, и пластрон не появлялся.

Более того, оказалось, что цель достигнута: для поверхности с колоннами критическая скорость перехода к высокому трению выросла почти в сто раз.

Из этого тонкого эксперимента следует важный вывод. Чтобы капли воды удалялись с поверхности как можно быстрее, мало нанести сверхгидрофобный рельеф. Надо проявить изворотливость и создавать рельефы разного масштаба. А каким должно быть соотношение высот разных видов рельефа, будет зависеть от решаемой задачи. В общем, работа финских исследователей дает нанотехнологам широкий простор для фантазий. Все-таки многомасштабный рельеф будет гораздо более гибким инструментом, чем рельеф одного масштаба.



А. Гурьянов

Железная бабочка

Открытая в позапрошлом веке (16) Психея остается, пожалуй, самым загадочным астероидом в Солнечной системе. Происхождение и строение этого небесного куска металлической руды неизвестно. Год назад к нему стартовал небольшой космический аппарат. Миссия NASA Psyche доберется до Психеи в 2029 году. Что же намереваются выяснить астрофизики с помощью наблюдения за астероидом с его орбиты?

Что мы уже знаем

17 марта 1852 года из неаполитанской обсерватории Каподимонте Психею впервые увидел итальянский астроном Аннибале де Гаспарис. Она была шестнадцатым обнаруженным астероидом. Первооткрыватель дал ему имя героини известного древнегреческого мифа о

младшей дочери царя, которой пришлось пройти тяжелые испытания, прежде чем стать богиней и женой Амура (Эрота). Ее греческое имя имеет три значения: душа, дыхание, бабочка. Психею часто изображали как девушку с крыльями бабочки, поэтому после открытия символом астероида стало крыло со звездой поверх него.

Психея — один из астероидов главного пояса, расположенного между орбитами Марса и Юпитера. Подготовка миссии Psyche заставила астрофизиков подробнее изучить Психею и пересмотреть прежние данные о ней. Это крупное твердое тело с необычно большой для своего размера массой ($2,3 \times 10^{19}$ кг) в процент общей массы всех астероидов главного пояса, которая вычислена по функции распределения их размеров. Плотность астероида ($3,8 \text{ г/см}^3$) почти вчетверо превышает плотность воды и в 1,5–2 раза больше обычной для астероида. Превышает она и плотность многих земных минералов. Психея входит в двадцатку самых больших астероидов и десятку самых тяжелых.

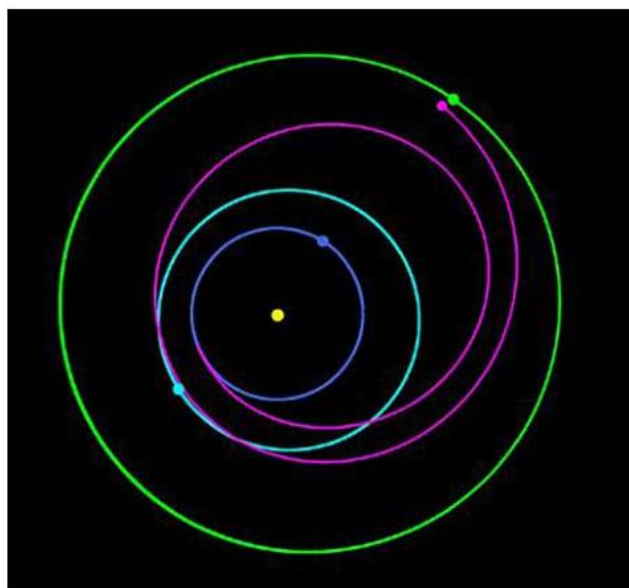
Радарные наблюдения показали, что она состоит в основном из металлов, скорее всего смеси железа и никеля. Так заставляют полагать ее спектры и сравнение с другими космическими телами и падающими на Землю метеоритами. Возможно, внутри нее есть сгусток очень плотного вещества. Психея — крупнейший объект из маленького М класса металлических астероидов, у которых небольшой (0,1–0,3) коэффициент отражения света от поверхности, альбедо. Интересно, что у Психеи нет линий поглощения, соответствующих гидратируемым минералам, как у многих ее одноклассников.

Анализ переменного блеска показал, что период ее вращения составляет 4,2 часа, а наклон оси вращения приблизительно равен 95° . Это значит, что астероид подобно планете Уран вращается на боку. Как и другие астероиды с диаметром менее 1000 км, Психея не сферична, она ближе к трехосному эллипсоиду размерами $278 \times 238 \times 171$ км. Поверхность более сложна и неоднородна, чем считалось ранее. Это видно по периодическим с вращением изменениям сигналов инфракрасного и отраженного радиоизлучения. Они связаны либо с разной отражательной способностью поверхности, либо с разнообразием ее рельефа.

Объемная модель показывает, что на Психее есть несколько впадин, как на Весте или Палладе. Вероятно, это крупные кратеры, связанные с бурной историей столкновений. Эксперименты по обстрелу металлических мишеней дают отношение глубины к диаметру кратеров $0,41 \pm 0,01$. Для сравнения, у большинства горных пород это отношение равно 0,15–0,25. Ученые предполагают, что формы кратеров на Психее разнообразны и зависят от обилия железа и его близости к поверхности.

Радарные измерения свидетельствуют о том, что метровый слой у поверхности наполовину состоит из пор. В нем варьируется доля железа в смеси с другими минералами. Радарные исследования говорят о большой тепловой инерции и слабой шероховатости поверхности, что косвенно подтверждает высокую долю металлов. Спектры поглощения в ближнем ИК-диапазоне соответствуют либо минеральному типу пироксенов с низким содержанием железа, например энстатитам, смешанным с металлом, либо богатым железом пироксенам, хорошо перемешанным с металлом метеоритов. Полные спектры Психеи отвечают и порошкам сульфидов, например троилиту FeS.

Ультрафиолетовые спектры, полученные с помощью телескопа «Хаббл», соответствуют железу (> 10% по массе) и оксидам металлов. Данные Атакамской большой миллиметровой решетки указывают на смесь металлов, их сульфидов и оксидов, а также силикатных минералов. Особенности поглощения на длине радиоволны 3 метра свидетельствуют о филлосиликатах, возможно, с углеродистым веществом. Они были обнаружены на астероиде Церера и могут быть связаны с вулканической активностью. Наблюдения инфракрасного телескопа «Спитцер» выявили мелкозернистый силикатный реголит, лежащий на богатой металлами поверхности.



▲ Траектория движения аппарата Psyche после старта с Земли с промежуточным гравитационным маневром у Марса

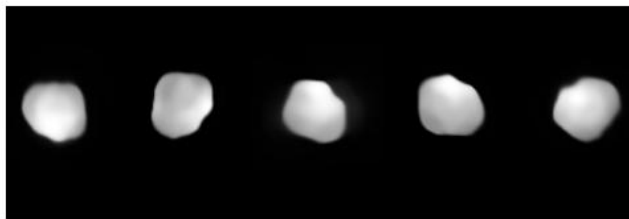
◀ Космический аппарат Psyche с раскрытыми солнечными батареями

Главный вопрос космогонии

Даже при обилии информации механизм образования Психеи неясен. Дело в том, что современная астрофизика точно не знает, как формируются астероиды. Большинство ученых считают их побочным продуктом рождения звездно-планетных систем. Оно происходит при аккреции, слипании протопланетного газопылевого облака в твердые объекты, планетезимали, размером 10–100 км, которые затем соединяются в более крупные тела, астероиды и планеты размерами в сотни и тысячи километров.

Геологи уверены, что внутри крупных астероидов, как и на Земле, происходила дифференциация вещества, плавящегося из-за тепла радиоактивных изотопов, когда жидкие и тяжелые металлы под действием силы тяжести опускаются к их центрам, а легкие силикатные породы оказываются ближе к поверхности, в мантии и коре. У Луны ядро давно обнаружено, поэтому астрофизики считают дифференциацию на ней доказанной. Этот же процесс должен происходить на крупных спутниках планет-гигантов.

Ученые предполагают два варианта появления Психеи. После дифференциации она могла пережить катастрофическое разрушение и потерять значительную часть мантии, поэтому представляет собой открытое металлическое ядро астероида или остаток ядра протопланеты, внешние слои которой сорвали удары других космических тел. Сценарий может объяснить отсутствие на поверхности типичного мантийного железистого материала оливина, а также отсутствие собственного семейства астероидов у Психеи, которые имеют орбиты, подобные ее траектории движения



▲ Фотографии Психеи в разные моменты вращения, сделанные наземным телескопом VLT

▼ Фото Лютеции, полученное во время пролета европейского космического аппарата Rosetta



Альтернативная теория предполагает, что Психея сложилась из изначально богатых металлами материалов, то есть является реликтовым строительным блоком планет ранней Солнечной системы. Такой нерасплавленный и недифференцированный первичный материал был богат металлами. Если это так, то Психея представляет собой крупнейшее скопление древнейшего металла в Солнечной системе.

Здесь сразу встает вопрос: как и где такие объекты могли образоваться? Известно, что богатые железом сплавы и содержащие его кислород силикаты в изобилии присутствуют во внутренней части протопланетных дисков звезд на более коротких орбитах, чем земная. Метеориты с силикатами включают хондриты с десятками процентов металлов, но меньше, чем на Психее. Другие богатые железом метеориты генетически связаны с углистыми хондритами, образовавшимися за орбитой Юпитера. Большинство крупных (> 40 км) астероидов типа Психеи обращаются в центральном и внешнем кольце пояса астероидов, поэтому могли появиться дальше пояса и позже попасть в него. Разрешение этой альтернативы — ключевая задача миссии Psyche.

Полет к Психее — отличная возможность понять, как формируются и эволюционируют ядра планет. Здесь много загадок. До сих пор неясно происхождение ядра Земли в треть ее массы, которое изучают уже несколько десятилетий. Непонятно и аномально большое ядро Меркурия, как и у Психеи, составляющее 70% его мас-

сы. Недавнее открытие полутора десятков экзопланет с высокой плотностью свидетельствует о том, что богатые металлами объекты обычны и у других звезд.

Существует единственный астероид М-типа, рядом с которым побывал космический аппарат. В 2010 году зонд ЕКА Rosetta на пути к комете Чурюмова-Герасименко пролетел мимо астероида (21) Лютеция. Аппарат сделал его снимки и получил важные данные. Интересно, что Лютеция, как и Психея, лежит на боку. Оси вращения обеих отклонены от плоскости эклиптики лишь на несколько градусов. У орбит обеих умеренные эксцентриситеты (0,16 и 0,13).

Зонд выяснил размеры Лютеции (121×101×76 км) и уточнил ее плотность (3,4 г/см³). При средней пористости 12% это указывает на обилие элементов с высоким атомным номером, например железа. Однако поверхность астероида состояла из реголита типа лунного, то есть из силикатов с низким содержанием железа. Спектрометрия показала, что состав поверхности соответствует первичному веществу.

Лютеция может быть лишь частично дифференцированной, хотя и содержит много железа в сравнении с земной корой. Однако едва ли оно находится в полностью сформированном ядре. Для этого астероиду пришлось бы частично расплавиться из-за радиоактивности. Анализ данных зонда привел ученых к выводу, что они видят древний примитивный астероид, то есть первичное вещество Солнечной системы.

Является ли Лютеция наследницей менее дифференцированного тела, чем Психея? Может быть, эти два объекта представляют собой различные этапы эволюции малых тел? Ответы на эти вопросы должна дать успешно разворачивающаяся миссия Psyche.

Три прибора — пять задач

Космический аппарат Psyche размером с автомобиль с солнечными батареями в виде крыльев размахом в 25 метров напоминает большую бабочку. Он оснащен тремя приборами для изучения магнитного поля, состава поверхности и внутренней структуры Психеи. Аппарат также использует для исследований радиопередатчик, который обеспечивает связь с Землей. Сами приборы наследуют конструкциям успешной миссии Dawn к астероидам (4) Веста и (1) Церера.

Магнитометр состоит из двух блоков 3D-датчиков, установленных на двухметровой штанге на расстоянии 0,7 м друг от друга и двух блоков электроники, которые обеспечивают резервирование всех систем. Прибор включили сразу после запуска, и он уже год собирает в полете данные о магнитных полях космоса.

Мультиспектральный телескоп представляет собой пару одинаковых цифровых камер с фокусным расстоянием 14,8 см, широкополосными прозрачными фильтрами и семью видами цветных фильтров на длины волн от 427 до 1,025 нм. Это поможет найти силикатные и сульфидные минералы. Телескоп сделает полихроматические и узкополосные цветные изображения поверхности Психеи

с разрешением 3,8–35 м/пикс. Детальная съемка под разными углами обзора и освещения Солнца даст возможность создать модель формы и рельефа астероида. Этот же телескоп инженеры миссии используют для навигации во время полета.

С помощью третьего прибора, спектрометра гамма-излучения и нейтронов, физики количественно определяют содержание на поверхности легких элементов: Ni, Fe, Si, K, S, Al и Ca, а также распределение по ней металлов и силикатов. Гамма-лучевой спектрометр несет датчик из высокочистого германия, который способен обнаружить излучение в диапазоне энергий 0,1–10 МэВ и измерять галактические космические лучи. Нейтронный спектрометр имеет три газовых датчика на разные интервалы энергий. Это низкоэнергетические (0,3эВ–1кэВ), тепловые (< 0,3 кэВ) и высокоэнергетические (< 100 кэВ) нейтроны.

Гравитационные исследования миссия выполнит с помощью антенны высокого и низкого усиления. Гравитация Психеи будет искажать движения аппарата и проявит себя в доплеровском смещении радиосигналов. Это позволит уточнить массу астероида и его объемную плотность. Аппарат будет 26 месяцев обращаться вокруг астероида по круговым орбитам разной высоты.

Основная цель Psyche — исследовать неизвестный этап образования ядер планет, поэтому у нее пять научных задач. Миссия выяснит, является ли Психея ядром малой планеты или это древний нерасплавленный материал, а также установит относительный возраст регионов поверхности. Ученые определяют, входят ли в состав астероида те же легкие элементы, что и в ядре Земли с его высоким давлением. Исследователи постараются понять, сформировалась ли Психея в более окислительных или восстановительных условиях в сравнении с земным ядром, а также детально охарактеризуют рельеф и форму астероида.

Астрофизики считают, что металлические ядра в телах, не подвергшихся ударным разрушениям, не намагничены полем, которое они генерируют подобно Земле. Теплоизоляция за счет мантии гарантирует, что во время действия магнитного динамо температура ядра остается выше точки исчезновения магнитных свойств при нагревании (точка Кюри). Однако поверхность ядра без мантии может остыть ниже этой точки. Это значит, что большой магнитный дипольный момент Психеи укажет на то, что динамо существовало ранее и она прошла этап дифференциации. Если Психея будет намагничена с интенсивностью остаточной намагненности железных метеоритов, то у нее обнаружат магнитосферу, даже если древнее динамо давно затухло.

Если же магнитного поля нет, то это еще не значит, что Психея является металлическим ядром. Так, Венера имеет железное ядро, но не обладает заметным магнитным полем. Условия охлаждения и кристаллизации ядра могли и не дать потоков жидкости, необходимых для динамо, или материалы поверхности не сохранили остаточного поля. Поэтому здесь придется анализировать всю полученную информацию.

Гипотезу о ядре проверяют и по составу поверхности, распределению на ней силикатов, по соотношению их с

металлами, по связи с хондритами и ахондритами. Если доля металлов окажется велика (> 30–50%), то Психея скорее представляет собой ядро дифференцированной протопланеты. Если же содержание силикатов и металлов сходно, а состав поверхности неоднороден на километровых масштабах, то она ближе к смеси материалов, образовавшихся при разрушительном столкновении. Если доля металлов менее 40% и/или распределение металлов и силикатов однородно на масштабе менее метра, то вероятнее, что Психея представляет собой нерасплавленное тело, похожее на хондриты.

Радиослежение за движением космического аппарата у поверхности Психеи даст возможность определить массу и внутреннюю структуру астероида, которые можно будет сравнить с параметрами других тел. Астрофизики построят модель гравитационного поля и по ней оценят распределение плотности приповерхностного слоя. На масштабах более 50 км они определят, есть ли вариации плотности выше 25%. Если Психея была полностью расплавлена, она скорее будет иметь однородную плотность у поверхности и радиально меняющуюся внутреннюю структуру. Большие вариации плотности на глубине укажут на отсутствие расплава и формирование из разрушенных и вновь собранных материалов.

Со временем на поверхности астероидов накапливается все больше и больше кратеров. В более молодых регионах их, как правило, меньше, поэтому для определения возраста разных регионов ученые подсчитают число ударных кратеров диаметром более километра. Планетологи сравнят распределения кратеров по размерам и частоте со статистикой кратеров других тел пояса астероидов, а также спутников и планет Солнечной системы.

Геологам известно, что плотность земного ядра на 10% меньше, а скорости его сейсмических волн на 4–5% выше, чем дают расчеты и опыты при его температурах и давлениях. Это означает высокую долю элементов с атомными номерами меньше железа (S, Si, O, C и H), пропорции которых вызывают споры. Миссии предстоит сравнить их содержание в астероиде с земным. Вряд ли сходство будет сильным, но обе доли должны отражать состав планетезималей, из которых сформировалась Солнечная система.

Старт ракеты с аппаратом Psyche задержали на год, его запустили 13 октября 2023 года. Миссия должна была достичь орбиты астероида в 2026 году, но траекторию полета пришлось изменить. Прибытие состоится через пять лет, в августе 2029 года. Пока все идет по плану. В следующем году Psyche совершит гравитационный маневр у Марса. Пролет мимо него также даст возможность откалибровать аппаратуру для работы у астероида.

Психея остается представителем единственного класса астероидов Солнечной системы, который не был детально исследован космическими аппаратами, поэтому астрофизики надеются, что полет к ней поставит точку в теории происхождения астероидов. Ну и конечно миссия Psyche принесет много сюрпризов, как это всегда было с другими полетами к астероидам.



Панацейка

Щавель: много видов, хороших и похожих

Щавель можно увидеть во всякое время. Весной из земли показываются узенькие светло-зеленые листочки, летом он вымахивает до метра-полутора. Осенью созревают плоды — трехгранные орешки, собранные в большие лохматые соплодия. Зимой эти засохшие соплодия торчат из-под снега на черных палках стеблей. В России встречаются преимущественно щавель кислый *Rumex acetosa*, щавель конский, или коневник, *R. confertus* и щавель курчавый *R. crispus*. А вообще этот обширный род, второй по величине в семействе Гречишные, насчитывает более двухсот видов, растущих преимущественно в Северном полушарии, от умеренной зоны до африканских тропиков. Чаще всего это многолетние травы с крепкими корнями и листьями характерной формы. Некоторым они напомина-

Иллюстрация Петра Перевезенцева

ют наконечник копья или дротика, по-гречески «румекс», откуда и произошло название рода.

В разных странах, естественно, растут разные виды щавеля, но почти всюду его едят. Молодые листья идут в супы, салаты или начинку для пирогов. Жителям альпийских районов листья *R. alpinus* заменяли квашеную капусту или шпинат, а очищенные стебли ели свежими, как и ревень, который относится к тому же семейству Гречишные, или добавляли в торты, печенье и пудинги. В Индии тоже едят сердцевину стеблей, а измельченные в порошок плоды используют как муку для приготовления блинов. Плоды еще и поджарить можно и заваривать вместо кофе.

Североамериканский щавель *R. hymenosephalus* известен как кангэр, дикий ревень или ганагра. Индейцы навахо ели его молодые листья и черешки, плоды добавляли в кашу, а корни и сейчас заменяют им жевательную резинку. Корни, кстати, горькие, содержат до 35% дубильных веществ, и кангэр на юго-западе Соединенных Штатов специально выращивают ради танина, который используют при дублении кожи, а также получают из них коричневый краситель. В России из щавеля кислого издавна варили зеленые щи, его даже специально выращивают на огородах, и от слова «щи» происходит название «щавель».

Однако же эта рубрика не о еде, а о лекарствах. Лекарственным свойствам щавеля посвящено много статей, и читать их утомительно, потому что они представляют собой длинные перечни видов и содержащихся в каждом биологически активных веществ. Мы эти данные обобщим и если где-то погрешим против точности, то совсем немного.

Щавели используют в народной медицине Европы, Азии, Центральной и Северной Америки, Египта и Южной Африки. Ими лечатся даже в другом полушарии, в Австралии. Самые ранние письменные упоминания о *Rumex* встречаются в китайском «Каноне Шэнь-нуна о корнях и травах» — этот сборник формировался с конца III века до нашей эры до начала I века нашей эры. В нем щавель назван лекарством от головных болей, чесотки, лихорадки и гинекологических заболеваний.

В разных странах традиционное медицинское применение щавеля имеет свои особенности, но общего гораздо больше. Корни используют при бактериальных, вирусных и грибковых инфекциях, воспалениях, в том числе глазных, и всевозможных кожных заболеваниях: ранах, ожогах, язвах, бородавках, ушибах, прыщах и стригущем лишае. Это традиционное вяжущее средство, но в то же время два вида — растущий почти по всей Азии щавель приморский *R. maritimus* и щавель непальский *R. nepalensis* — используют как слабительное. В Австралии это лекарство от пчелиных укусов.

Разные виды щавеля также применяют как желчегонное, мочегонное, болеутоляющее и жаропонижающее, лекарство от повышенного давления, язвы желудка, болезней печени и селезенки, простуды и бронхита, рвоты, геморроя и даже легкой формы диабета. Кангэр, например, рекомендуют при множестве недугов, начиная от потери жизненных сил и заканчивая проказой. Недавно его продавали под названием «дикий красный женьшень», хотя к женьшеню он никакого отношения не имеет ни по систематике, ни по биохимическому составу.



▲ Женское соцветие конского щавеля

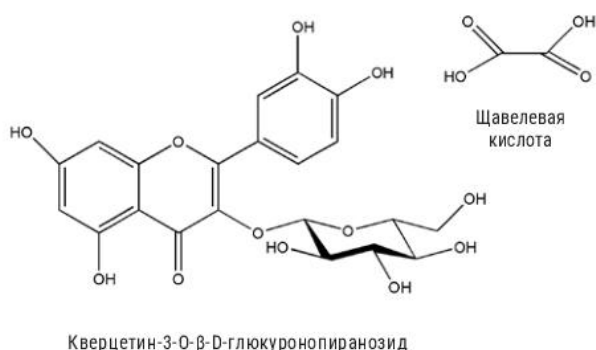
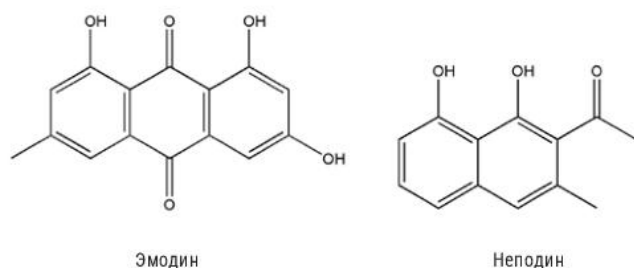


▲ Конский щавель в августе



Фото: www.zambiatlora.com

▲ Листья щавеля абиссинского формой действительно напоминают наконечник копья



Для медицинских целей готовят отвары и настои корней, измельченные корни применяют наружно. Реже используют отвары плодов и свежие листья. Их могут накладывать на раны, промывать отваром глаза, а в Индии и в Ирландии натирают места, обожженные крапивой. Для этого используют щавель непальский и щавель туполистный *R. obtusifolius*, в Ирландии при этом приговаривают: «Щавель, сотри крапиву!». Объективных доказательств, подтверждающих антикрапивное действие щавеля, нет, разве что сильное растирание само по себе ненадолго уменьшает боль от крапивного укуса. Возможно также, что время и усилия, затраченные на поиски щавелевого листа, просто отвлекают пострадавшего от неприятных ощущений.

Ну вот мы и добрались до доказательств. Щавель исключительно богат биологически активными веществами. Сейчас известно более 260 соединений: антрахиноны (эмодин, алое-эмодин, реин), флавоноиды, танины, стильбены, полифенолы, производные нафталина, терпены и дитерпеновые алкалоиды. Сосредоточены они преимущественно в корнях, а в листьях и плодах их может быть в тысячу раз меньше, поэтому и лечатся чаще всего корнями. Их собирают осенью и сушат при комнатной температуре. Сухие корни щавеля продаются в российских аптеках.

Корни используют не только в виде отваров и мазей. В Эфиопии, например, где растет один из наиболее изученных видов щавеля *R. abyssinicus*, им лечатся от гепатита. Для этого сухие корни надлежит измельчить, смешать с мясом летучей мыши, хорошенько высушить, растереть в порошок и эту смесь при необходимости жевать. Слюну глотать, а не сплевывать. В случае укуса змеи жуют порошок корня, смешанный с медом.

Экстракты разных частей растения, а иногда отдельные соединения, испытывают на мышах и крысах, и опыты подтверждают большинство целебных свойств щавеля. Прежде всего это прекрасный антибактериальный агент. Препараты щавеля подавляют рост бацилл, кишечной

палочки, бактерии *Moraxella catarrhalis*, которая может вызывать инфекции дыхательной системы, среднего уха, глаз, центральной нервной системы и суставов человека; *Acinetobacter baumannii* — возбудителя внутрибольничных инфекций; золотистого стафилококка, возбудителей пневмонии, кариеса и дизентерии. В последнем случае действие экстракта сравнимо с эффектом антибиотика хлорамфеникола. А еще щавель уничтожает некоторые грибки и вирусы простого герпеса первого и второго типов. Антибактериальную активность приписывают преимущественно антрахинонам и нафталинам, антивирусную — полифенолам.

Второе важнейшее действие — противовоспалительное. Препараты щавеля вылечивают атопический дерматит, воспалительные заболевания желудка и кишечника. Например, они стимулируют выделение слизи и смягчают воспаление слизистой желудка, вызванное укусами бактериями *Helicobacter pylori*. Бороться с воспалением позволяют антиоксиданты щавеля — нафталины (неподин), флавоноиды (кверцетин-3-О-β-D-глюкуронопиранозид) и другие фенольные соединения. Неудивительно, что щавелем лечат многие кожные и желудочно-кишечные инфекции.

Экстракты щавеля и отдельные его компоненты, в том числе реин и неподин, снижают уровень глюкозы в крови грызунов при дефиците инсулина или слабой чувствительности к нему.

Всё бы хорошо, только данных о щавеле явно недостаточно. Исследователи наметили с десяток видов, наиболее перспективных для дальнейшего изучения, однако видов щавеля гораздо больше и об их традиционном использовании мало что известно. Этот пробел необходимо заполнять. А главное — клинических испытаний пока нет. Данные, полученные на грызунах, обнадеживают, но переносить их на людей без надлежащей проверки нельзя.

Еще одна проблема — щавелевая кислота, которой в растении много. Она связывает поступающий с пищей кальций, образуя нерастворимые оксалаты. Этим она, во-первых, снижает биодоступность кальция, а во-вторых, провоцирует образования камней в почках. Поэтому пациентам с камнями в почках, ревматизмом, артритом, подагрой или повышенной кислотностью лучше щавелем не лечиться, поскольку он может ухудшить их состояние. Иногда медики сообщают об отравлении оксалатами, особенно у детей, а 15–30 грамм щавелевой кислоты смертельны для взрослого человека. Но в терапевтических дозах щавель скорее всего не опасен.

Мы тихоньку входим в эпоху лекарственной устойчивости, и антибиотики все хуже справляются с возбудителями заболеваний. К счастью, у нас есть щавель, который обладает сильными антимикробными и противогрибковыми свойствами. Его сейчас активно исследуют, и будем надеяться, что ученые решат все связанные с ним проблемы и мы получим новое средство борьбы с инфекциями.

Н. Ручкина



XXII МЕНДЕЛЕЕВСКИЙ СЪЕЗД по общей и прикладной химии

7-12 ОКТЯБРЯ

2024 ГОДА

НА

ФЕДЕРАЛЬНОЙ

ТЕРРИТОРИИ

«СИРИУС»



XXII Менделеевский съезд по общей и прикладной химии станет одним из основных мероприятий, посвящённых 190-летию Д.И. Менделеева и 300-летию основания Российской Академии наук.

Особенностью

XXII Менделеевского съезда станет обсуждение роли химии в достижении технологического суверенитета Российской Федерации и вклада химической науки и материаловедения в решение задач приоритетных направлений технологического суверенитета и структурной адаптации РФ.

В работе

XXII Менделеевского съезда планируется участие 4000 человек, в том числе 500 иностранных учёных.

Тезисы принимаются до 01 апреля 2024 года.

<https://mendeleevcongress.ru/>

**Ждём вас на федеральной
территории «Сириус»!**

ОРГКОМИТЕТ

XXII Менделеевского съезда





Иллюстрация Александра Кука

Доктор физико-математических наук

А.А. Жданов

О несуразностях в музыке и о музыке без несуразностей

Судя по всему, в способах формализации музыки очень много идущих из прошлого несуразностей, которые заставляют мучаться тех, кто пытается освоить музыкальную грамоту. Автор, специалист по системам управления и искусственному интеллекту, рассказывает о том, что это за несуразности и как было бы просто осваивать музыку, если бы их не было.

Основные несуразности

Есть в общественной жизни примеры весьма неудачных традиций, сложившихся в результате случайного стечения обстоятельств и впоследствии долго наносящих определенный вред. Однако мощь традиции не позволяет увидеть то, что лежит на поверхности, пока наконец кто-то не обратит на это внимание. Так было и с утверждением, что Солнце вращается вокруг Земли, так было и с отсутствием нуля в математике, так было и с традицией считать, что у мухи четыре ноги, ибо так сказал Аристотель. А что в музыке?

Есть 12 различных ухом европейского человека звуков определенной частоты, называемых «нотами». Почему именно 12, а не 13 или 9 — это вопрос отдельный, связанный отчасти с физикой, отчасти с физиологией нашего слуха, а также с традицией.

Основная характеристика звука — его частота, которая однозначно связана с длиной волны. Эти 12 выбранных в европейской музыке звуков связаны друг с другом одним соотношением, которое мы анализировать не будем, а примем его на веру. При этом оказывается, что для слуха обычного человека не так важны

собственно значения частот, как отношения между ними. Проще всего это показать на примере струны. Давно обнаружено, что если разделить длину звучащей струны любого струнного инструмента от верхнего до нижнего порожка (мензуру) на 17,817, то получим длину 1-го лада. Прижав струну на этом 1-м ладу (т.е. укоротив звучащую струну на эту долю), мы получим звучание следующей из 12 нот, более высокой, чем нота, на которой звучит открытая струна. Чтобы получить длину 2-го лада на грифе, надо оставшуюся часть струны снова укоротить на 17,817, и так далее. Каждое такое новое уменьшение длины струны увеличивает частоту ее колебания на один «полутон» (мы здесь используем современный так называемый 12-полутоновый равномерно темперированный строй).

Главное, что отсюда следует, это то, что все «полутона», то есть все 12 звуков, совершенно равноправны! Известно также, что, продолжая увеличивать или уменьшать частоты звуков на этот же шаг влево или вправо от исходного диапазона частот, мы получим звуки, которые очень похожи на слух на эти 12, но их частоты будут ровно в 2, в 4, в 8, в 16 и так далее раз больше или меньше. Такие циклически повторяющиеся периоды из 12 похожих звуков в музыке почему-то называются словом «октавы», хотя окта означает «восемь», и это уже некая, хотя и безобидная, но несуразность (несуразность № 1). Для умножающей приставки «двенадцать» в греческом языке есть слово «додэка».

Привязаны ли эти звуки к точным значениям частот, скажем, в герцах? В принципе необязательно, так как, например, если у струнного инструмента все струны равномерно подтянуть или ослабить, то ничего особенно страшного не произойдет, и музыка будет звучать правильно (эту разницу слышат только люди

с абсолютным слухом). Однако для единообразия настройки инструментов в разных оркестрах звуки, которые названы «нотами», целесообразно все-таки жестко привязать к частотам. Для этого договорились о значении частот нот и изготовили камертоны. Так, нота «ля» 1-й «октавы» положили эталонную частоту 440 Гц. От нее можно рассчитать частоты всех остальных «нот» во всех «октавах».

Теперь посмотрим, как же с этими 12 равноправными звуками обошлись в европейской музыке. А вот каким странным способом. Именами или идентификаторами для этих 12 звуков выбрали... не 12, а почему-то 7 слов! Это всем известные имена нот: «до», «ре», «ми», «фа», « соль », « ля », « си » (на латинице — *do, re, mi, fa, sol, la, si*). Почему семь? Так произошло неким практически случайным образом: имена нот связаны с человеком по имени Гвидо Аретинский и с неким старинным церковным гимном, посвященным святому Иоанну Крестителю. Этот гимн состоял из шести нот и содержал слова, собранные в семь строк:

Ut queant laxis
Resonare fibris
Mira gestorum
Famuli tuorum
Solve polluti
Labii reatum
Sancte Iohannes.

Начала пяти (даже не семи!) из этих слов и дали названия пяти нотам (из двенадцати!): а впоследствии *Ut* переделали в *do*, а *Sa* — в *si*. Седьмую ноту, видимо, открыли где-то в это же время. Так появились на свет семь нот — *до, ре, ми, фа, соль, ля, си*.

Упомянем здесь и предысторию. До Гвидо Аретинского звуки обозначались крючками (невмами), а еще раньше — буквами. Но, видимо, эти способы записи звуков не давали однозначного указания на их параметры. В общем, в теоретическую музыкальную обиход случайно попали только семь звуков из двенадцати, и там они были опрометчиво закреплены семью идентификаторами — это, конечно, большая и очевидная несуразность, которую назовем несуразностью № 2.

Через некоторое время оказалось, что этих семи нот недостаточно, но их названия уже закрепились в традиции, в некоторых музыкальных инструментах, в упражнениях, гаммах, в записях каких-то музыкальных произведений. Видимо, поэтому было решено не вводить новых имен для неучтенных ранее пяти нот, а назвать их промежуточными нотами и пометить специальными «знаками альтерации» — «диезами» и «бемолями», привязав к тем нотам, между которыми они находились. Итак, появился набор неполноценных, промежуточных, 2-го сорта звуков, которым имен почему-то не дали, а придумали вторую кодировку — специальные знаки, — которую ввели в первую кодировку. Получилось, что вполне физически полноценный упорядоченный регулярный по частоте ряд

физических звуков снабдили какими-то странными идентификаторами, взятыми из двух смешанных систем кодировки. И этот малообоснованный ряд неравноправных обозначений для физически строго упорядоченных равноценных и равноправных звуков составляет, несомненно, несуразность № 3!

Запомнить этот странный ряд обозначений уже весьма непросто в силу того, что тут, во-первых, участвуют два вида звуков и смешаны две системы кодировки плюс еще неоднозначность в обозначении этих позднее введенных нот — их можно обозначать и через диез, и через бемоль, привязывая то к предыдущему, то к последующему звуку. То есть на ровном месте нагромождена нерегулярная смешанная и неоднозначная система обозначений, рационально понять которую уже сложно, а музыканту предлагается ее просто запомнить.

Пойдем дальше и рассмотрим принятое графическое обозначение нот. Итак, нужно было придумать графический способ записи 12 равноценных нот. Что же было сделано? Для графического обозначения 12 нот, циклически повторяющихся в обе стороны от основной «октавы», было взято ... пять линеек. На пяти линейках, как в пяти ячейках памяти, можно равнозначно разместить всего пять нот! Если не пользоваться какой-то системой поразрядной кодировки. Этого мало, тем более для записи нот из нескольких октав.

Тогда решили, во-первых, помещать ноты между линейками, под линейками и над линейками. А во-вторых, поскольку нот все равно входило мало, то разрешили рисовать еще дополнительные линеечки сверху и снизу от нотного стана. Теперь попробуйте запрограммировать этот код представления звуков! Номер линейки не соответствует имени ноты однозначно. Надо как-то еще закодировать позиции между линейками и еще дополнительную линеечку! То есть к дополнительным упомянутым выше двум кодировкам добавилась еще одна нерегулярная, трудно запоминаемая кодировка графического изображения нот! Ну, а уж когда возникает необходимость с помощью этих же пяти линеечек представить ноты более высоких или более низких «октав», то тут нужно сдвигать всю графическую кодировку, и для этого используются разные «ключи», а когда и «ключей» не хватает, то приходится пристраивать к «нотному стану» сверху или снизу дополнительные коротенькие линеечки. Соответственно, эта нотная запись (графический код) становится очень сложной, и можно долго ее комментировать. В общем, вся эта путаница от наложения многочисленных кодировок одна на другую весьма запутывает и даже ломает исходную регулярность музыкальных звуков, составляя несуразность № 4!

Но и это еще не всё! На этих пяти основных графических линейках и трех дополнительных удалось с помощью множества ухищрений и договоренностей разместить только основные ноты (взятые некогда

из того приснопамятного гимна). Места на «нотном стане» для «неполноценных» нот, о которых когда-то нечаянно забыли, в этой кодировке не нашлось! Поэтому для них ввели еще специальные графические коды — упомянутые знаки диеза и бемоля, которые надо пририсовать сбоку от графического изображения «ноты». То есть, если мы видим ноту на 2-й линейке снизу, то отсюда отнюдь не следует, что это «соль»! Надо еще вспомнить, во-первых, что нарисовано в начале нотного стана, был ли там «скрипичный ключ», указывающий, что сегодня мы ноту соль рисуем на 2-й линейке. Во-вторых, надо посмотреть, не был ли нарисован рядом с ключом в начале строки или рядом с графическим символом ноты значок диеза или бемоля и не было ли на интервале от ключа до ноты значка «бекар», что по сути вводит еще и зависимость интерпретации изображения ноты от контекста!

Но не на пустом ли это все месте? Ведь есть всего 12 равноценных звуков, расположенных на одинаковом интервале друг от друга! По сути, необходимо графически всего-навсего указать один из 12 номеров ноты и номер ее «додеки», длительность звука и его амплитуду — громкость. И это вполне можно сделать на совсем небольшом пятачке бумаги, используя подходящую однозначную внеконтекстную кодировку звуков.

Посмотрим теперь, к чему это нагромождение несуразностей привело в инструментальной музыке. Возьмем, например, фортепиано. Клавиатура фортепиано отражает существование «основных» звуков (из архаичного гимна — *до, ре, ... , си*) и «второстепенных» звуков (о которых поначалу просто забыли, это диезы и бемоли). Первым отвели большие белые клавиши, вторым — маленькие и черные. Поскольку забытые звуки волей случая оказались неравномерно распределенными между «основными» звуками, то клавиатура получилась странной — между некоторыми белыми клавишами вставлены черные, а между некоторыми белыми клавишами черные клавиши не вставлены. Напомним, что никаких физических оснований для дискриминации звуков, которым достались черные клавиши, нет. Загляните под крышку рояля — мы видим ряд струн, длина которых меняется очень монотонно по определенному закону, и нет никаких физических оснований считать одни струны основными, а другие неосновными! На каком основании клавиши для одних струн вынесены в белую клавиатуру, а для других — в черную то по две клавиши, а то и по три? На что это обрекает исполнителя музыки? Это обрекает его на необходимость запоминания 24 (!) различных аппликатур для 12 минорных и 12 мажорных трезвучий (аккордов). Мажорное трезвучие, построенное от некоторого звука, — это три звука, первый из которых — это тот звук, от которого оно строится (тоники), затем надо пропустить три последовательных звука (полутона) и взять 4-й, потом пропустить еще два звука и взять 7-й. Если хотите септаккорд, то пропустите еще два звука и возьмите 10-й.

Соответственно, при игре гамм комбинации белых и черных клавиш, которые надо последовательно нажимать, чтобы сыграть мажорные и минорные гаммы от каждого из 12 звуков, будут тоже различными: их тоже будет 24! И каждую из них тоже надо запомнить, поскольку вычислять непосредственно в процессе игры трудно.

Понятно, что в результате огромной музыкальной истории все эти искусственные нерегулярности были как-то освоены, даже обоснованы теоретически, найдено множество способов их использования, и едва ли не сами человеческие руки уже приспособились к ним. Человек — очень адаптивное существо! Он способен приспосабливаться даже к самым немыслимо тяжелым условиям жизни. Однако известно, что множество и музыкантов, и певцов... не знают нотной грамоты, у них не нашлось сил освоить эти нерациональные и труднообъяснимые правила и запомнить их.

Уход от несуразностей

Как же может выглядеть запись музыки, если из нее убрать эти несуразности? Приведем самые простые предложения, но вполне возможно, что найдется и более удобная кодировка, как символьная, так и графическая.

Во-первых, упростим терминологию.

«Нотами» принято называть звуки, оставим этот термин, однако нот должно быть 12, лучше, если и у них будут не номера, а по-прежнему свои собственные простые названия. Старые придется отбросить, так как их всего семь, и при их использовании возникнет путаница.

Понятия «диез», «бемоль» и «бекар» отбрасываем за ненадобностью.

«Октава» целесообразно заменить словом «додека», что означает 12. Период — додека — имеет свой номер (1, 2, ..., 9). Этим охватывается практически весь слышимый диапазон частот. Конечно, можно было бы дать уникальные имена или просто номера всем $12 \times 9 = 108$ нотам, но цифры неудобны для запоминания и пения, а 108 многобуквенных имен трудно запомнить.

Для идентификаторов новым нотам возьмем только согласные латинские буквы, поскольку им придется придумать еще произношения, которые можно было бы петь для удобства. Такой нотный ряд можно назвать BCD-нотами по названиям первых трех нот *bi-ci-di*. Понятно, что у музыкантов любые имена нот, кроме привычных, вызовут сначала сильное сопротивление.

В таблице 1 приведены ноты, соответствующие традиционной 1-й октаве. Поскольку используется всего девять октав, то мы будем использовать девять додек с номерами от 1 до 9, которым соответствуют следующие традиционные названия октав: 1) субконтроктава, 2) контроктава, 3) большая октава, 4) малая октава, 5) 1-я октава, 6) 2-я октава, 7) 3-я октава, 8) 4-я октава, 9) 5-я октава.

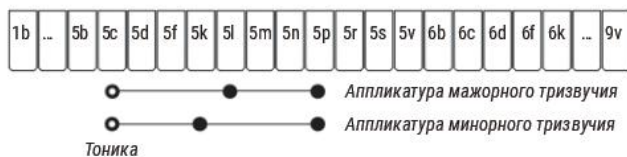
Таблица 1

Порядковый номер ноты	Старое обозначение	Новое обозначение	Произношение	Частота звука, Гц
1	до	<i>b</i>	<i>bi</i>	261,63
2	до-диез, ре-бемоль	<i>c</i>	<i>ci</i>	277,18
3	ре	<i>d</i>	<i>di</i>	293,66
4	ре-диез, ми-бемоль	<i>f</i>	<i>fi</i>	311,33
5	ми	<i>k</i>	<i>ku</i>	329,63
6	фа	<i>l</i>	<i>la</i>	349,23
7	фа-диез, соль-бемоль	<i>m</i>	<i>ma</i>	369,99
8	соль	<i>n</i>	<i>na</i>	392,00
9	соль-диез, ля-бемоль	<i>p</i>	<i>pi</i>	415,30
10	ля	<i>r</i>	<i>ri</i>	440,00
11	ля-диез, си-бемоль	<i>s</i>	<i>se</i>	466,16
12	си	<i>v</i>	<i>vi</i>	493,88

Поскольку нота должна в своем идентификаторе иметь указание на додеку, то номер додеки будем писать перед именем ноты. Получаем 108 нот с идентификаторами 1*b*, 1*c*, ... 9*s*, 9*v*.

Линейная клавиатура

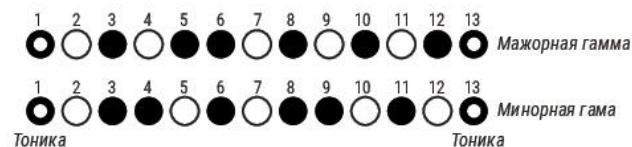
Теперь клавишный музыкальный инструмент, если клавиши, соответствующие нотам, расположить в один ряд, будет иметь следующую клавиатуру (рис. 1).



1
Линейная клавиатура клавишного инструмента с новыми нотами и двумя универсальными аппликатурами для базовых мажорного и минорного трезвучий

Что это нам дает? Во-первых, резко сокращается число аппликатур мажорных и минорных трезвучий (аккордов): любой аккорд будет иметь ОДНУ универсальную базовую аппликатуру, которую можно ставить от любой тоники, и это вместо 12 различных аппликатур на традиционной клавиатуре. Мажорную гамму можно

играть по одному шаблону от любой ноты (рис. 2.), так же и минорную. Согласитесь, что такие гаммы гораздо проще запомнить и играть, чем в традиционном случае!



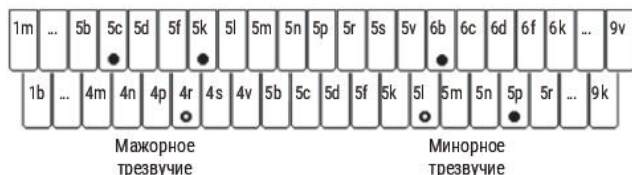
2
Мажорную гамму играют по одному шаблону от любой ноты (тоники), аналогично и минорную гамму

Двухрядная линейная клавиатура

Однако надо обратить внимание и на физиологические факторы. Хотелось бы, чтобы при фиксированном положении кисти человек мог охватить и воспроизвести как можно больше звуков, с сохранением удобства, пространства для некоторого маневра и с учетом разброса физиологических параметров кисти. Конечно, это требует специального исследования. Сейчас же попробуем добиться того, чтобы возможности нашего музыкального инструмента в этом смысле были бы не хуже, чем у фортепиано.

На фортепианной клавиатуре клавиши имеют ширину 22,5 мм, и человек при фиксированном положении кисти может взять две одноименные ноты соседних октав, что равно ширине восьми белых клавиш. Например, все ноты от «до» до «до» следующей октавы. Поскольку фортепианная клавиатура двухрядная, то во 2-м ряду черных дискриминированных клавиш на этой ширине помещаются пять черных клавиш с двумя пропусками, что и обеспечивает контроль над всеми 12 нотами плюс одна из соседней октавы.

Если же мы будем использовать просто однорядную линейную клавиатуру (см. рис. 2), то на ней рука охватывает только эти же восемь клавиш, то есть восемь нот, и этого, конечно, мало. Чтобы уравнивать права с фортепианной клавиатурой, нужно ввести 2-й ряд клавиш. Предлагается, как вариант, следующее устройство двухрядной клавиатуры (рис. 3), при котором кисть охватывает уже 15 клавиш при той же ширине клавиш, от «до» до «до-диез» следующей октавы, да еще и с дублями двух нот «до» и «соль» для маневра.



3
Двухрядная линейная клавиатура. Верхний (2-й) ряд сдвинут влево на семь нот относительно нижнего (1-го) ряда. Слева показано типовое мажорное трезвучие, справа — минорное, аппликатура которых одинакова для всех тоник (светлый кружок), взятых в 1-м ряду

Понятно, что на такой клавиатуре можно легко найти и другие удобные аппликатуры всех видов аккордов, главное, что они также будут инвариантны по отношению к тонике.

Таким образом, мы вместо 24 типовых аппликатур мажорных и минорных аккордов предлагаем только две, которые запоминаются за пять минут! Аналогичным образом остается всего две гаммы вместо 24! Понятно, что это может сильно сократить время обучения.

Нотная запись

В традиционной нотной записи применяется контекстная кодировка, потому что музыкант, глядя на изображение самой ноты вместе с дополнительными значками около нее, не получает исчерпывающей информации о нужном звуке, он должен либо запоминать некоторые знаки, проставленные раньше по нотному стану, либо возвращаться к ним при чтении ноты. Вместе с тем для характеристики звука достаточно одновременно и в одном месте указать всего три параметра — додеку (октаву), ноту и длительность.

Додек у нас девять, обозначаются: 1, ... , 9.

Нот 12: *b, c, d, f, k, l, m, n, p, r, s, v*.

Длительностей пять. Обозначим длительности и нот, и пауз следующими значками (таблица 2).

Таблица 2

Название длительности	«Целая»	«Половинная»	«Четвертная»	«Восьмая»	«Шестнадцатая»
Традиционное обозначение					
Предлагаемое обозначение длительностей нот и пауз	o	—		˘	ˆ

Звук у нас представлен определенным набором его параметров, которые можно записать в столбик (получится вектор). Сверху указан знак длительности ноты, под ним номер додеки, под ним — нота. Если играют одновременно несколько нот одной длительности, то эти ноты указываются одна под другой. Если в этот аккорд попадают ноты и из другой додеки, то ниже указываем ее номер и под ним эти ноты. Паузы обозначают те же знаками, что и длительности нот, что сокращает количество обозначений.

Пример записи мелодии

В качестве примера возьмем первую строку нотной записи марша «Прощание славянки» В. Агапкина (рис. 4) и запишем ее в предлагаемой нотации (рис. 5).

Мы видим следующие основные отличия BCD-нотации от традиционной. Если не считать размера такта, который есть смысл указать один раз в начале произведения, кодировка нот локальна, нет никаких дополнительных символов справа или



4
Первые четыре такта марша «Прощание славянки» в традиционной записи

4/4

6	6	6	6	6	6	5	5	5	5	6	5	6	5	6	5	6	6	6
b	d	k	m	d	d	b	s	n	p	b	n	b	l	c	b	c		
			4	4	4	4	4	—	l	b	k	b	b	4	p			
			l	d	b	3	s		4	r	b	4	l					

5
Первые четыре такта марша «Прощание славянки» в предлагаемой нотации

слева от символа ноты, вся информация содержится в виде вектора в колонке, в которой записана нота. Не нужно помнить знаки альтерации, указанные в начале нотного стана и в предыстории ноты, и искать их взглядом. Запись стала более компактной и цельной, ее даже можно программировать. Данный пример, возможно, недостаточно хорошо проработан, но над этими нюансами вполне можно подумать и отразить их.

Понятно, что никто не предлагает заняться переписыванием всей музыки и изменением методики ее преподавания. Создана огромная музыкальная традиция и музыкальная литература. Очевидно, что для сложившегося музыканта, потратившего много лет на освоение премудростей сольфеджио, возникнет сильный психологический барьер при переходе от уже освоенной им нотации к предлагаемой новой. Тем не менее новый взгляд на сложившийся порядок вещей полезен всегда. Эту методику можно в экспериментальном плане опробовать на новых учениках и инструментах с новой клавиатурой. В данном случае она может окупиться ускоренным обучением музыке и игре на некоторых инструментах за счет ухода от переусложненных нагромождений в традиционном подходе. Эксперименты смогут выявить как достоинства, так и недостатки этого подхода.



Наталья Харпалёва

Иллюстрация Сергея Дергачева

Морошка

— П^омада, девочки, помада! Помада, девочки!..
— Пиво, сигареты... Пиво, сигареты...
— Семачки-семачки, вода-вода, чипсы-чипсы...

— Огурчики малосольные берем, мальчики! Картошечка вареная! Картошечка, огурчики малосольные!..

Антон спустился на платформу. Попытался протолкнуться сквозь толпу обступивших вагон теток.

— А морошки нету? Морошка у кого?

— Э, хватился! Морошка отошла уже. Октябрь на дворе.

— Ты у местных спрашивай! Может, кто и носит...

Антон переходил от вагона к вагону, пока не дошел почти до самого локомотива. Он мог поклясться, что платформа была совершенно пустая, как вдруг из-за фонаря вышла бабка. Интересная такая бабка — сгорбленная, в серой шерстяной юбке, серой грубой вязки кофте, черном платке. А из-под платка — рыжие выющиеся локоны.

— Ты морошку спрашивал?

Голосок тоненький, скрипучий, и говор по-северному окающий такой. Подняла голову — лицо морщинистое, землистое, бородавчатое, а глаза как у девки двадцатилетней — чистые, зеленые и ресницы длинные, рыжие, к бровям загибаются.

Антон даже оторопел слегка.

— Че воды в рот набрал-то? Выплывай дак! — Бабка вытащила из-за спины корзинку: — Морошка-то тебе нужна?

— Мне, да.

— Ну дак бери.

— А вы местная?

Зачем спросил? Так, по инерции.

— Местная, местная. Я везде местная.

— А почему?

— Дак триста.

— Дороговато что-то...

— Дороговато? Ты в октябре ее где еще купишь? Сам-то на острове, чай, много собирать думаешь...

— А откуда вы знаете?..

— Оттуда. Ты зачем опять туда намылился-то? Не наездился ишшо? Все ходють, ходють, и гадють, и гадють...

— Почему сразу «гадють»? Я не гадю... Не гажу... Я так, погулять, поснимать... А вам-то чего?

— Погулять, поснимать, — передразнила бабка. — Вот все вы такие, раздолбай-то молодые. Все цепляете по верхам, дак. Корней надо держаться, вот что!

— В смысле?

— В том самом смысле и есть. Держаться за корни, а не хватать чего ни попадя. Ясно тебе?

— Не очень.

— А не ясно, дак бери свою морошку и давай день-ги-то! И проваливай.

Антон достал из кармана мятую тысячную купюру. Всю мелочь по дороге потратил. Бабка посмотрела тысячу на свет и быстро запихнула в рукав.

Антон ждал. Бабка взялась перевязывать платок. Долго перевязывала. Волосы у нее хороши были! Антон даже залюбовался. Наконец старуха упрятала последние локоны под черные складки и вопросительно посмотрела на него снизу вверх:

— Чего?

— Как чего? Сдачу. Семьсот рублей.

Старуха хлопнула глазами, потом плаксиво сморщилась, захныкала и фальшиво запричитала:

— Милый, а у меня ведь сдачи-то нету! Нету совсем денег, дак, никаки-их! Подошвочки уже дымятся бегать-то, а никто ничего не бере-от...

Антон от такой наглости даже поперхнулся. Откашлялся:

— Что значит «сдачи нет»?! Вы с ума сошли, что ли?! Отдавайте деньги!

— Внучек, а ты морошку-то бери вместе с корзинкой! Так и ягодка не заветрится — я ее плотненько тряпочкой прикрыла. Она хорошая корзинка-то, ты не смотри, что старенькая. Вот, вместо сдачи тебе будет.

— Не городите ерунду! Мне и ягода ваша уже не нужна, не то что корзинка! Сейчас стоянка закончится. Деньги отдавайте!

Антон напирал на бабку, та ловко отпрыгивала от него, выставляя вперед корзинку.

— Внучек, а я тебе еще орешков дам. Хорошие орешки, каленые. И без камушков почти. Вот, прямо в кружечке тебе в корзинку поставлю, дак, вместе с ягодой...

Бабка действительно приподняла толстую тряпицу, которой была накрыта морошка, и всунула с краю эмалированную кружку с орехами. Кружка была старая, побитая, еще советская, с бледной надписью «С 8 Марта!» на боку.

— Она не тяжелая, корзинка-то. На ремешке. Нести легко. Ты лишнее скинь, оно и легче будет...

— Офонарела, что ли, бабка! Какие, к чертям, орешки?! Тысячу гони, я сейчас полицию позову!

Бабка вдруг остановилась, стала как будто выше ростом, наклонилась к Антону и сказала спокойным, низковатым голосом без всякого северного диалекта:

— Бери корзину, говорю.

Опять стала маленькой, и снова запричитала, показывая корявым пальчиком ему за спину:

— Ой, а поезд-то твой отходит уже! Несет тебя лиса за темные леса!..

Антон оглянулся. Действительно, проводницы загоняли пассажиров в вагоны. Снова повернулся к бабке. Проворная старушенция доковыляла уже до противоположного края платформы. Антон рванул было за ней, но бойкая бабенка подобрала юбку, соскочила на пустые рельсы и как-то неестественно быстро поскакала к вокзалу.

— Тьфу! Пропади пропадом со своими орехами, чувyrла рыжая!

Антон, злой как черт, заспешил к вагону. Потом все-таки вернулся, поднял оставленную бабкой возле фонаря корзинку. Уплочено.

Оставшиеся часы доехал без приключений, хотя настроение было безнадежно испорчено. И морoshки уже никакой не хотелось. Корзинку приспособил под столик — на верхний плацкарт из-за ручки не влезала.

Корзинка-то — смех и грех! Смотреть не на что. Старенькая, ручка наполовину перебинтована, наполовину замотана изолентой. Внутри бабка сначала постлала свернутый во много слоев полиэтилен, а уж на него высыпала морoshку. Кто так делает? Для веса, что ли? Или чтобы объем казался больше? Ягода дышать должна. Еще к корзинке был привязан ремень. Через плечо рыжая бабка носила корзину, что ли? Местные, которые сдают чернику заготовителям, ходят за ягодой с серьезными заплечными коробами. Эта корзинка против тех коробов — баловство одно. Зачем она была старухе нужна? Антону лениво было об этом думать. И вообще противно, что так легко, примитивно дал себя развести на очень даже нелишние сейчас деньги. Он бы и рад был оставить дурацкую корзинку в поезде, но жаба душила — все ж таки тысячу за нее отдал.

Вот и Кемь. Привычно — ночь на станции, на пенке в спальничке. Рано-рано — в Рабочеостровский. И очень удачно — успел на «Косякова». Благо навигация еще не закрыта. Три часа с копейками — и вот он, снова выплывает из тумана такой знакомый, такой любимый остров. Сердце защемило — Тамарин причал.

На Соловки Антон ехал уже в седьмой раз. Его друзья много лет приезжали сюда волонтерить — работать при музее. А он к ним на хвост однажды сел и с тех пор слезть не мог. Приезжал когда с ними, когда сам по себе. Кремль и поселок вдоль и поперек излазил. Снял все, что было достойно внимания, при разном освещении — и на закате, и в солнечную погоду, и в дождь, и белыми ночами, и лунными ночами... В интернете выкладывал, «лайки» получал. Его снимки даже брали

в журналы. По окрестным островам тоже побродил. Да и сам Большой Соловецкий с его озерами, каналами, бухтами, гаванями и прочими чудесами знал очень неплохо. Знал и любил.

Вот только приезжал Антон сюда до этого сезона исключительно летом. Всегда мечтал побывать осенью. По чужим фотографиям представлял, каково здесь в сентябре-октябре. Народу никого. В лесу такое буйство красок, что глаза режет. Над островом гуси-лебеди вереницами пролетают. Рыба, грибы, ягоды, белуха, нерпа... Все что хочешь. Гуляй, медитируй. И над душой никто не стоит — свой темп, свой график, свои планы и направления. Красота!

Наконец свершилось. «Косяков» причалил, пассажиры начали сходить на берег.

Ты где гулять-то собираешься? Это Антон на катере с мужичком одним разговорился. С местным, из поселка. О погоде, о рыбе, о ягоде. Теперь вот, пока народ на палубе толпился на выход, попутчику еще потрепаться была охота.

Антон поднял тяжелый рюкзак, накиннул одну лямку, другую, застегнул на поясе, подпрыгнул легонько, чтобы рюкзак ладнее лег по спине. Подхватил корзинку.

— Хотел вообще-то на Новососновую. А оттуда до Овсянникова мыса. Там до Нерпичьей, может быть, доберусь.

— А-а. Ну, Бог в помощь. Туда далековато. Километров двадцать пять от поселка.

— Да я в курсе. Вот думал, может быть, кто подбросит, чтобы времени не терять.

— Какой подбросит! Это тебе не лето. Туда сейчас не проехать, не пройти. Совсем дорогу размыло. Трактором разве, и то до полпути. Поспрашивай, но надежды мало.

Антон благодарно кивнул и собрался было с причала рвануть сразу к Турцентру, но мужик его окликнул:

— Эй, погоди! Я сейчас племяннику звякну. У него «козел», он везде проедет... Але, Лёха, здорова! Ты как там? Работаешь? Случаем на Новососновый сегодня не собираешься?... Да тут одному туристу надо. Заплатит, че... — Мужичок вопросительно глянул на Антона, тот энергично закивал. — ...Не туда?... А куда?... — Мужик протянул мобильник Антону: — На, сам договаривайся! Они в Савватиевский скит сегодня едут. Это тебе по дороге немного, могут до развилки подбросить.

Антон взял трубку:

— Здравствуйте! Мне подходит. А когда вы выезжаете?... Через сорок минут?! Ой, да я же только с катера... Нет-нет, всё нормально, поеду! Только еду сбегать куплю. А сколько возьмете? Две с половиной — много. Полторы дам... Да, я один. И рюкзак у меня. О-кей, в одиннадцать у проката.

Как-то все очень быстро закрутилось. Антон на такое не рассчитывал. Хотел хоть оглядеться немного, может быть, ночь в поселке переночевать.

Хотя, в принципе, удачно. До развилки на Савватиевский — это, считай, полпути. Да, даже если треть — тоже неплохо. Чем тупо шлепать по дороге, грязь месить, лучше уж сразу поглубже забраться, а оттуда потихоньку, куда потянет. Погода переменчивая, ветер пронизывающий, то солнце, то дождь... Время уже к обеду. Оглянуться не успеешь — стемнеет. Лучше ночь в хорошем лесу встретить. Палаточка, костерок, все дела. Однако сорок минут — это, считай, ничего. Бегом в «Три поросенка» — это они с друзьями так называли магазины, три сразу в одном доме. Там — тушенки, вермишели, гречки, каш одноразовых, заварки, сгущенки, сахару, хлеба, еще чего-то по мелочи вроде сыра и шоколадок для удовольствия. Скорей упахнуть все в рюкзак и к велопрокату.

Еле-еле успел к назначенному времени. «Козел» племянника Лёхи уже стоял на месте. Без особых размусоливаний, с ходу:

— Садись, поехали!

Ну, поехали. На переднем сиденье рядом с водилой восседал небритый мужик в ватнике. Напарник, наверное. В салоне было накурено и очень громко орала какая-то шансон-певица.

Дороги действительно размыло и раскучило так, что пассажиры на колдобинах подпрыгивали до потолка, больно ударяясь макушкой. Антон опасался за фотоаппарат. Хотя тот, надежно упакованный, лежал в кофре, в середине необъятного Антонова рюкзака, побывавшего во многих передрыгах, верного Антонова товарища, все равно что-нибудь могло сдвинуться, растряситься. Мало ли. Техника нежная.

Злосчастную корзинку Антон держал на коленях, обхватив руками, а рюкзак приспособил сбоку и, как мог, придерживал локтем.

— Все, приехали, вылазь. Нам налево, тебе направо.

Вот и поговорили. Ну и слава богу. Расплатился, увернулся от веера жидкой грязи из-под колес буксующего «козла» и остался на развилке один. Стоял минут пять просто так. Ни о чем не думая. Погружаясь в место, в котором так стремительно очутился.

Дальше надо было решать, куда двигать. Можно, конечно, сразу к Новососновой — к морю, а можно, наоборот, ломануть вглубь острова — к Поднебесной. Соблазн велик — отсюда до нее рукой подать. Давно хотел Антон забраться на Поднебесную — самую высокую гору Соловецкого острова, все никак случай не подворачивался. На берегу сейчас ветрило, наверное! Б-р-р. А у Поднебесной озерцо одно есть, уютное, светлое, прозрачное. А с горы виды открываются небось!

Решено. Туда и направимся. Антон достал навигатор. Быстро нашел на Соловецкой карте нужную точку. Теперь по азимуту — дорог прямых туда, конечно, никто не прокладывал.

Густой запах багульника обволакивал, пропитывал одежду, волосы. Антон не мог надыхаться. Продираться сквозь чащобу с рюкзаком и корзинкой было непросто. Запарился совсем. Вышел к какому-то болоту. Можно, в принципе, высоким берегом обойти, но так неохота

было опять лезть в густой ельник, в колючие, цепкие кусты... А по болоту явно проглядывала тропка. Вон там, по кочкам... А чуть дальше даже дощечку кто-то бросил. Явно ходили! И он пройдет.

Выглянуло солнце. Стало совсем благостно и приятно. Цвета вокруг радовали. Те самые, каких ждал — от буро-красного до золотого, от светло-светло-зеленого до почти черного. Антон остановился, отдышался. Снял штормовку, убрал под клапан рюкзака. Остался в джинсовой рубашке. Красота! Теплынь и комаров нет. Это на Соловках-то! Это в октябре-то! Боковым зрением заметил три шляпки огромных переросших подосиновиков, возвышающиеся над высоким мягким мхом. Подходить не стал. Не хотел торопиться. Будут еще и подосиновики, и белые... Впереди — четыре дня этого всего. Этого расслабленного влажного душистого лесного счастья.

И фотоаппарат он достанет только завтра. Сегодня еще руки с дороги дрожат, сегодня глаз не привык к новому освещению, не пригляделся к деревьям и небу, лицо еще не обветрилось, волосы не прокоптились. Кадры получатся поверхностные, случайные, фальшивые. Надо присмотреться. Надо окунуться. Не надо торопиться.

Антон вздохнул, ступил на кочку... На другую... Перехватил корзинку. Наплечный ремешок оказался маловат — удобнее было держать бабкину рухлядь за перемотанную изолентой ручку...

Он прошел уже две трети тропинки, совсем расслабился, рассиропился-разлимонился, как вдруг с корявой маленькой сосенки прямо на него спикировала крупная темная птица. Антон покачнулся. Ботинок неловко соскользнул с мокрой кочки. Что-то хрустнуло в лодыжке, и он на мгновение потерял сознание.

Очнулся от удушья и горьковатого ледяного вкуса болотной воды, заливающей глотку. Свинцовый рюкзак, как в страшном сне, тянул его в бездну, переворачивая вниз головой. Антон задержал руками и ногами, в секунду поняв, что погибает.

И в этот момент в голове истошно заорала бабка: «ЧЕ ВОДЫ В РОТ НАБРАЛ-ТО?! ВЫПЛЕВЫВАЙ, ДАК!!!»

На одном инстинкте изо всех сил рванул вверх. Вытащил лицо из-под воды, выплюнул воду, уже уходя вниз, успел глотнуть воздуха. Но тяжесть за спиной была невозможной, и он опять пошел ко дну.

И снова визгливый голос: «ТЫ ЛИШНЕЕ-ТО СКИНЬ, ОНО И ЛЕГЧЕ БУДЕТ!»

Сознание угасало, могильный ужас пронизывал тело, но, повинувшись бабкиному приказу, Антон ухитрился в слепой болотной жиже леденеющими руками расстегнуть на поясе пряжку, высвободить одну руку из лямки, изогнуться червем, высвободить другую — рюкзак ушел вниз, а Антон, как слепой щенок, задержал по-собачьи руками — вверх! Вверх! Вверх!

Вынырнул. Взахлеб вдохнул воздуха. Опять под воду. Снова вынырнул. Стал цепляться, разрезая ладони, за острую траву, за скользкий мох...

Минуты растягивались в часы. Уходили последние силы. Коленки не слушались и соскальзывали со склиз-

ких кочек. Боль в поврежденной ноге была такая, что простреливала от пятки до затылка.

— Бабушка! Бабушка-а-а! — отчаянно заорал Антон. Почему «бабушка»? Откуда «бабушка»?

Ответ пришел тут же. Снова где-то волбу отозвалось старческим скрипом: «ДЕРЖАТЬСЯ ЗА КОРНИ, А НЕ ХВАТАТЬ, ЧЕ ПОПАЛО!»

Да, за корни. Конечно. Спасибо, бабуля!

Рядом в воду свисал узловатый корешок той самой роковой сосенки. Антон уцепился за него. Как мог, корчась от боли, подтянулся, закинул ногу на зыбкую зеленую поверхность. Выкарабкался и по-пластунски, утыкаясь лицом в грязь, боясь каждую секунду опять провалиться в страшную темноту, пополз к краю болота.

Полз долго. Долго, долго, долго...

Выполз.

Живой. Живой!

Его колотило. Зубы стучали так, что он удивлялся — неужели зубы могут стучать так громко? Потом вырвало. Стало полегче.

Солнце зашло за тучу, стало дико холодно.

Антон попытался сесть — взвыл от боли. Нога!

Ладно. Заполз в более или менее сухую песочную яму от выворотня, стянул с ног свинцовые ботинки. Кое-как свернулся калачиком, съезжился. Нагрел на себя хвои.

Надо было осознать размеры бедствия.

Рюкзак утоп. А что в рюкзаке? Всё. Спальник, пенка, палатка. Свитер, термобелье. Еда. Фотоаппарат... Фотик жалко. Дорогой. Каждый прибабас, каждый съемный объектив, каждую блендочку подбирал долго в интернете, обсуждал, обмусоливал, подгонял под себя... Нет больше кофра, нет фотика. Жалко.

Что еще? Штормовка! Блин. Вот это попал так попал. Деньги, билеты, документы... Ножичек любимый карманный — стропорез. Телефон... Во дурак! Почему телефон-то в брюки не убрал?

А навигатор джи-пи-эс как раз убрал! Антон шлепнул себя по боковому карману — здесь. Здесь джипизик родимый! Есть надежда.

Достал. Под темным экраном расплывались капли грязи.

Разобрал, что мог — обтер, вытащил батарейку, положил на веточки сушиться. Мертвому припарка.

Снял рубашку. Как мог, отжал. Пальцы окоченели, не слушались. Снова с омерзением надел мокрую.

Идти не может. Связаться ни с кем не может. Одежды — кот наплакал, штаны да рубашка. Вещей никаких. Еще пара часов — и стемнеет. Искать его никому в голову не придет. Во-первых, никто и не знает, где он — мужичку на «Косякове» и Лёхе этому в «козле» сказано было, что на Новососновую собирается. Во-вторых, с каких резонансов им вдруг его искать? Только приехал, дня не прошло. Ну, ушел человек на пять дней погулять по острову — ну, скатертью дорога.

Теоретически можно попробовать поползти назад, до развилки. Маресьев вон зимой по снегу полз — и ничего, выполз. Практически же... Антон вспомнил

буреломы, овраги, горки с колючими кустами. Километров десять он сегодня уж как-нибудь да прошел. По азимуту. А обратно как? По солнцу? По луне? Короче, полный абзац.

— Ну, что, бабулечка-ягулечка? Вызвали ты меня из болота, давай теперь, накорми, напои да спать уложи, — невесело ухмыльнулся Антон.

«БЕРИ КОРЗИНКУ, ГОВОРЮ!» — в ту же секунду прогремело в голове, да так неожиданно, что Антон аж подскочил. И опять скорчился от боли.

Корзинка! А куда она подевалась, кстати? Корзинка вместе с Антоном в болоте не тонула, это точно. Похоже, в момент, когда Антон оступился и вывихнул — или все-таки сломал? — лодыжку, он инстинктивно отбросил корзинку куда-то в сторону. Чем черт не шутит? Может быть, действительно цело бабкино сокровище.

Выполз из ямы. Снова кое-как добрался до берега болота. Прищурился, вглядываясь. Э! Да вон она, родимая! На ветке той самой корявой сосенки висела корзина, а над ней на той же ветке сидела та самая темная птица. Периодически наклонялась, ныряла клювом внутрь, клевала морошку, выныривала, довольная. Вот нечисты!

Антон лежал на краю болота и тряс головой, отгоняя навязчивую бабку, как наваждение.

Не-ет. Это что ж такое? Нет! Опять он туда не поползет. Еще не хватало. Хрен с ней, с корзинкой. Какой в ней толк? Чего там в ней? Фигня всякая. Орехи. И те небось просыпались все...

Сама мысль о том, что сейчас, когда уже начал высыхать, нужно снова лечь на этот грязный, мокрый зеленый холодец и ползти в самую его середину, заставила Антона передернуться. Так глупо и страшно помереть?

Отвернулся, хотел было уползти назад, в уютную ямку. Но ягулечка не дремала: «БЕРИ КОРЗИНКУ, ГОВОРЮ!»

Антон инстинктивно оглянулся. Голос гремел уже не в голове, а словно из-за плеча. Все, кажись, крыша едет. Всклипнул. Заплакал. С досады стал стучать кулаком по земле, материться. Ну почему всё так? Почему именно с ним?

Успокоился. Дотянулся до длинной еловой палки с рогулькой наверху. Подобрал ее. Пополз.

На этот раз дополз до сосны гораздо быстрее — на болоте еще темнел кривой дорожкой его же след. Птица пересела на соседнее сухое деревцо, принялась чистить перья, с любопытством поглядывая на странное ползучее существо. Существо высунуло вверх длинное щупальце и стало дергать им вверх-вниз, вправо-влево, по кругу, чертыхаться, подвывать и ойкать. Птица не выдержала, взмахнула крыльями, улетела, а Антон с десятой попытки подцепил-таки корзинку еловой рогулькой, сдвинул на край ветки и даже сумел снять так, что ничего не перевернулось и не просыпалось.

Тряпка бабкина была на месте. Морошка на месте. И даже кружка с орехами! Чудеса.

Антон тут же зачерпнул грязными руками две горсти ягоды, проглотил. Съел еще. И еще... Опомнился, когда

на дне осталось всего несколько ягодок. Начал грызть орехи. От них становилось немножко теплее, но откладывая возвращение дальше было нельзя — сгущались сумерки.

Пополз назад. Опять медленно. Корзинка в одной руке мешала, а как приспособить ее по-другому, чтобы не перевернуть, сообразить не мог. Не мог объяснить себе и того, зачем вообще надо было волочить по болоту старую пустую корзинку. Надо, и всё тут. Бабушка сказала.

Приполз. Совсем стемнело. Нырнул в родную ямку. Холодно. Как холодно и больно! На здоровую ногу ботинок с трудом влез. Другая, сломанная — или все-таки вывихнутая? — распухла. Как там? Шину вроде полагается наложить? Подобрал две палки. Стянул грязный носок, размотал ручку корзинки, замотал ногу бабкиным бинтом, сверху обернул полиэтиленом, замотал изолентой. Ремнем от корзинки кое-как привязал «шины» — с одной стороны, с другой... Зафиксировал. Хоть что-то.

Теперь костерок бы. Эх...

Из подходящих в его ситуации способов добывания огня в голову пришел только способ Робинзона — тереть палочки друг об друга, пока дым не пойдет. Антон вспомнил, сколько раз читал о тщетных попытках разных людей повторить такой опыт, о часах бессмысленного верчения штырьков в деревяшках, о кровавых мозолях на ладонях, и даже пробовать не стал.

Однако просто так давать дуба было обидно. Что-то надо делать.

А вдруг?... На удачу приложил ладони ко рту, хрипло крикнул: «Бабушка! Согреться бы!» Закрыл глаза, прислушался к себе.

«ХОРОШИЕ ОРЕШКИ, КАЛЕННЫЕ. И БЕЗ КАМУШКОВ ПОЧТИ».

— Благодарствую, бабушка. Орешки, значит. Ладно, съем твоих орешков.

Взял несколько штук из кружки, начал грызть. Так себе орешки на самом деле. Горчат.

Холодно. Холодно, блин! Даже больно не так, как холодно. Не работает, ягуля, не действует твое волшебство!

«...И БЕЗ КА-АМУШКОВ ПОЧТИ!» — повторила в голове бабка противным голосом.

Антон высыпал все орехи на бабкину тряпицу. На самом дне кружки обнаружились два темных, размером с фалангу пальца, камня. Взял в руки, покрутил. Холодные. Постучал друг об друга. Камни с треском стукались и, кажется, искрились. Кремень! Огниво! Ай да бабка!

Антон стал судорожно выламывать из корзинки сухие прутики, ломать их на щепочки, сложил горкой, наскреб лишайника с елового ствола. Сыроват, но авось... Ниток из края тряпки надергал. Один камень положил на песок, на него и вокруг — разжигу.

Ну, милая, не подведи! Осторожно ударил камень о камень. Сильнее. Искрит! Искрит!!!

Вот уже дымок пошел. Загорелось. Получилось!

Антон заревел от радости. Тут же стал себя ругать, что не подготовил запас хвороста. Начал ломать прустья

корзинки, извел почти все, потом собрал все веточки, до каких смог дотянуться, потом пришлось выползти, доковылять на одном колене до упавшей и успевшей высохнуть небольшой елки, кое-как приволоочь ее к яме. Огонь успел почти погаснуть. Еле теплился.

— Сейчас, сейчас... Потерпи, родной, сейчас подкормлю тебя.

Скорее наломать веток, подуть, набросать палочек!

Через полчаса Антон уже согревал то окоченевшие пальцы и лицо, то отсыревшую спину возле вполне уверенного костра.

Пока ползал за хворостом, недалеко от своей ямки обнаружил лужицу с дождевой, не болотной водой. Зачерпнул кружкой, поставил кипятиться. Едва дождался, пока вскипит, обжег пальцы, потом язык, но зато с каким удовольствием напился кипятка! Горячего! Вкусного!

Жизнь, кажется, налаживалась. Если бы не нога. К боли приходилось привыкать. Главное — поменьше тревожить лодыжку. Сделал себе из лапника какую-никакую подстилку. Улегся поудобнее, уложил измученную, замотанную изолентой ногу.

Очень хотелось чем-нибудь укрыться. От безнадеги поднес к огню бабкину тряпку. Понимал уже — все, что связано с рыжей мошенницей, не просто так. Ткань, которой старуха укрывала корзинку, оказалась старой, застиранной, с каким-то полустертым, когда-то, видимо, красным, а теперь — бледно-желтым орнаментом: ромбики, крестики... Антон помусолил уголок. Э, да тряпка-то вдвое сложена! Тонкая материя неожиданно развернулась и стала гораздо больше, чем представлялось вначале. Да нет, втрое! Еще раз развернул. И еще...

Антон не верил глазам — он держал в руках большое покрывало, что-то вроде скатерти. Он обернулся в тонкую домотканину, как в плед, и мгновенно согрелся. Что ж раньше-то не догадался?

«ТАК И ЯГОДКА НЕ ЗАВЕТРИТСЯ. Я ЕЕ ПЛОТНЕНЬКО ТРЯПОЧКОЙ ПРИКРЫЛА», — напомнила бабка.

— Бабка-ёжка, костяная ножка, — пробормотал Антон. — У кого вот только ножка теперь костяная — еще вопрос.

Искры улетали в звездное небо. Антон лежал на боку, обхватив коленки руками. Он так устал, что уже не замечал ни урчания в животе, ни узловатых веток под ребрами. Даже ноющая боль не помешала ему провалиться в глубокий тяжелый сон.

Проснулся от упавшей на лицо капли. Рассвело. Сыро. Костер погас, серый дымок едва струился из-под тлеющей еловой чурки. Метрах в пяти от костра сидела лисица и внимательно смотрела на Антона зелеными глазами. Антон приподнялся на локте. Охнул — все затекло. Махнул рукой: «Пошла! А ну, пошла отсюда!» Лиса не двинулась с места. Шевельнула хвостом, наклонила голову. Моргнула. Несколько минут человек и зверь молча наблюдали друг за другом. Потом лиса встала и спокойно ушла в лес.

«НЕСЕТ ТЕБЯ ЛИСА ЗА ТЕМНЫЕ ЛЕСА!»

— Зараза! Ты ж мой ботинок сгрызла!

Оказывается, лиса сидела аккурат на Антоновом ботинке. На том, что не влез на большую ногу. Теперь ботинок представлял собой жалкое зрелище: растерзанный, с выданным язычком... Понятно, что толку от него и так не было никакого, но Антон все равно разозлился. Схватил шишку, запульнул вслед лисе. Что делать? Надо было просыпаться.

Из-под бабкиной скатерти вылезать совсем не хотелось. Эта серая тряпочка Антона спасла — под утро начались заморозки, иней до сих пор лежал на траве. При погасшем костре в так и не просохшей одежде он обязательно бы что-нибудь себе отморозил.

Придумал завязать скатерть на шее, как плащ. Кое-как проделал в материи дырки для рук. Жить можно. Нога, правда, за ночь поплохела. И температура поднималась — лоб горел, во рту было сухо, треснула и закривила нижняя губа.

Раздул костер. Поставил кипятить воду. Добавил в кипяток шишки и несколько хвоянок.

Подобрал истерзанный ботинок. Ну, что, бедолага, досталось нам с тобой ни за что?

«ПОДОШВОЧКИ УЖЕ ДЫМЯТСЯ!» — тут же ответил башмак бабкиным голосом.

Ах, вот прям так? Антон швырнул башмак в костер. Зачем? Машинально. Привык уже как-то подчиняться командам рыжей бабки. Теперь еще, оказывается, и оборотня хвостатого. Всё, что с ним произошло за последние сутки, было настолько абсурдно, настолько зазеркально, настолько странно, что какой-то там рванный ботинок в костре погоды не делал. Вонял только уж очень противно. Неэкологично. Черный дым поднимался над лесом, стелился над болотом. Антону стало даже немножко стыдно — такую красоту испортил. Где-то за спиной затрещали ветки.

— Слышь, ты чего тут жжешь? А ну, кончай это дело!

Антон как был, полулежа, опухший, с застывшей в волосах болотной грязью, завернутый в странное серо-розовое одеяние, повернулся и замер: через елки к нему пробирался усатый мужик в вязаной шапке, камуфляжном бушлате, берцах, с небольшим рюкзаком. Похоже, вид у Антона был такой, что мужик выпучил глаза и оторопело попятился.

— Не пугайтесь! — Антон хотел заорать, но голос сорвался и перешел на петушинный писк. — Я не бомж и не сумасшедший! Я в болоте чуть не утонул. У меня рюкзак утонул и нога сломана. Помогите, пожалуйста!

Боясь, что мужик сейчас уйдет или растворится в воздухе, Антон пополз к нему навстречу. Усатый сделал еще несколько шагов назад. Потом вынул пневматический пистолет.

— А ну, стой! Не двигайся! Давай, докладывай, кто такой, как сюда попал!

Антон стал взахлеб рассказывать, стараясь всем своим видом показать, что он нормальный и адекватный. Сбивался, приплетал зеленоглазую лису, рыжую старуху,

горькие орешки, но мужика вроде бы убедил. Тот убрал пистолет, попросил показать ногу. Кое-как разрежали штанину, которая уже плотно обхватывала огромную багровую лодыжку. В одном месте кожа разошлась в гноящуюся рану, штанина была в крови. Дядька посуровел.

— Похоже, заражение у тебя, паря... — Достал мобильник, стал пытаться кому-то дозвониться. Не получилось. — Значит, так. Ты тут лежи, никуда не уходи. Здесь связи нет. Я вернусь.

Отшел. Потом вернулся, снял с себя свитер, отдал Антону. Вытащил из костра остатки ботинка, затушил в луже, чтобы не воняли. Ушел. Антон откинулся на лапник, закрыл глаза. Ему стало спокойно и хорошо.

Утро переходило в день. Пахло влажной хвоей. Лес поскрипывал, тренькала какая-то осенняя птаха. В полубреду роились обрывчатые мысли. Вот мог бы сейчас уже и не быть. В кофре остались отснятые флешки, которые не успел отформатировать, и если когда-нибудь его рюкзак обнаружат археологи, может быть, сумеют снять информацию, то-то удивятся! Бабка-ёжка небось где-нибудь в кустах сидит, за ним наблюдает. Лисиц он и раньше на Соловках встречал, но такой красивой никогда не видел...

Усатый мужик в камуфляже вернулся с носилками. С ним — три помощника. Пока возились с обработкой раны и перевязкой, что-то кололи в ногу, Антон спросил:

— Вы хоть расскажите, как меня нашли?

— А нечего деньгами сорить! — буркнул усатый. — Семьсот рублей не отдам, и не проси.

— Какие семьсот рублей?

— А такие! В кои-то веки собрался с утречка рыбку поудить. Доехал до развилки, хотел дальше, смотрю — какая-то бумажка валяется. Пригляделся — сотня! Ну, я из машины вышел, поднял, оглянулся, а чуть от дороги — еще полтинник на сучок наколот. Я к нему, а от него новая купюра видна... Так и шел, как по меткам. Правда, после полтинника попадались одни десятки. Оригинально ты маркера вешаешь! Богатенький Буратинка, да? Только ты в следующий раз не жмотничай — давай тысячи сразу накалывай! Ну, а когда деньги закончились, женой резиной завоняло. Я на запах пошел. Не люблю, когда турья мусор жжет. А тут — ты в простыне.

— Да не простыня это... И деньги не мои.

— Конечно, не твои. Мои. Ладно, про свои дела ты в больнице расскажешь. Или в полиции.

Четверо мужиков заржали в голос. Антон тоже улыбнулся. Истории с деньгами он даже не удивился.

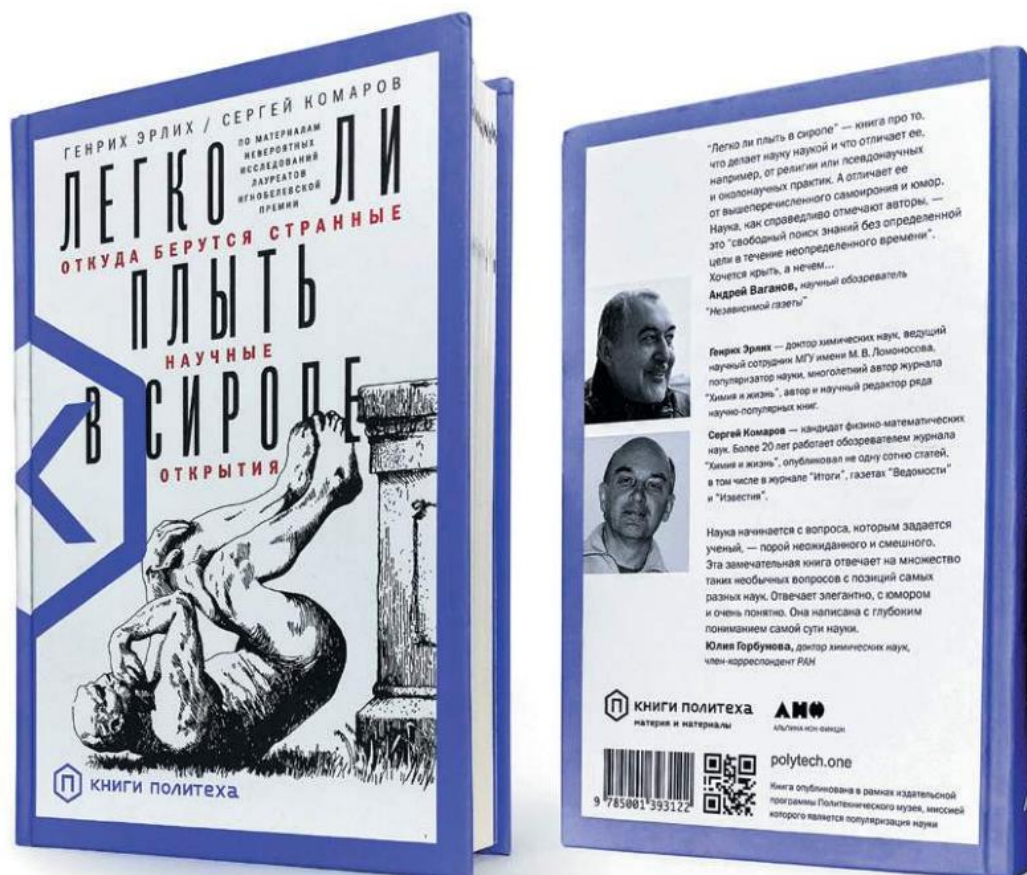
— А звать-то вас как, спаситель? Меня — Антоном...

— А меня Корнеем. Родители были веселые, в честь Чуковского назвали. Ты знаешь чего, Антоша, ты кончай болтать. Нам тебя еще по лесу черт знает сколько переть. Давай-ка за подмышки тебя приподниму... Вот так...

Усатый мужик перевалил Антона на носилки, сам встал впереди справа, трое помощников распределились по местам, на «раз-два-три!» подняли носилки.

— Ну, паря, теперь держись...

— Ага, — Антон улыбнулся и подмигнул бабке-ёжке. — Буду держаться, Корней!



Книги

Легко ли плыть в сиропе?

Откуда берутся странные
научные открытия

Генрих ЭРЛИХ, Сергей КОМАРОВ

Альпина нон-фикшн, 2021



Очередная прекрасная
книга наших авторов

ИЗ КНИГИ ВЫ УЗНАЕТЕ:

- **ЗАЧЕМ** годами смотреть на каплю битума, считать сперматозоиды в кока-коле, коллективно думать о мире или выбирать начальника жребием?
- **ПОЧЕМУ** настоящий ученый не побоится влезть в шкуру козла, заселить клещей в свое ухо, полвека хрустеть пальцами одной руки или жалить себя пчелами в самые разные места?
- **КАК** работают приманиватель молодежи, отпугиватель голубей, переводчик со звериного, поцелуи, мнимые числа и, вообще, легко ли плыть в сиропе...



художник Michel Garutte

Короткие заметки

Киборги ореди нао

Создатели нейрокомпьютерного интерфейса творят чудеса, стремительно приближая эру придуманных фантастами кибернетических организмов, созданных из человека и вычислительной машины. Очередной шаг: парализованному человеку дали возможность говорить (N Engl J Med 2024;391:609-618).

Для этого исследователи из Калифорнийского университета в Дэвисе во главе с нейрохирургом Дэвидом Брандманом вживили пациенту, Кези Харрелу, в левую часть лобной доли четыре электронных блока, которые записывали активность 256 микроэлектродов, непосредственно размещенных на коре. Именно эта область мозга управляет мускулами, которые обеспечивают речь. Пациент пытался произносить слова, а компьютер записывал соответствующие картины электрической активности мозга. Обученный компьютер затем распознавал эти картины и воспроизводил произнесенные пациентом слова. Всего за полчаса удалось выучить 50 слов, которые воспроизвелись с точностью 99,6%. За 32 недели провели 84 сеанса, и словарь увеличился до 125 тысяч слов, а точность воспроизведения составила 97,5%. После первых успехов пациент плакал от счастья, что он теперь может полноценно разговаривать с другими людьми. Причем своим голосом — компьютер был обучен голосу Кези Харрела, сохранившемуся на каких-то семейных записях, сделанных до болезни.

Интересно, что есть и другой подход к созданию даже не киборгов, а аудиоандроидов, правда, виртуальных. Так, объединение актеров Голливуда SAG-AFTRA объявило о сделке, которая позволяет актерам продавать свои голоса для озвучивания рекламы (агентство NewsWise 16 августа 2024 года). Согласно этой сделке искусственный интеллект (ИИ) станет использовать купленные голоса для создания звукового ряда без присутствия самого актера в студии. Это не первое такое использование ИИ в Голливуде — во время недавней четырехмесячной забастовки актеров к нему прибегли, чтобы не нарушать производственный процесс.

С. Анофелес

Пишут, что...

...скрученные углеродные нанотрубки могут накапливать в три раза больше энергии на единицу массы, чем современные литий-ионные аккумуляторы (Nature Nanotechnology)...

...удалось собрать полный геном штамма бактерий из рода *Microbacterium*, который стимулирует рост и развитие семян пшеницы и представляет собой экологичную альтернативу химическим удобрениям (Патент РФ № 2820245, 31 мая 2024 г.)...

...большой риск для биологических видов связан с добычей лития и кобальта для солнечных панелей, ветряных турбин и электромобилей (Current Biology)...

...созданы первые в истории атомные фильмы, показывающие, как атомы перестраиваются внутри квантового материала при переходе от изолятора к металлу (Nature Materials)...

...разработан флуоресцентный микроскоп с разрешением 5 нм, который позволяет рассмотреть внутренние детали живой клетки, например — каркас из тонких трубочек шириной всего около 7 нм (Scientific Reports)...

...предки устриц, виноградных улиток и им подобных более полумиллиарда лет назад защищались не раковинами, а хитиновыми шипами и были похожи на азиатский фрукт дуриан (Science)...

Пишут, что...

...создан недорогой бинт, который использует электрическое поле и заживляет хронические раны на 30% быстрее, чем обычный бинт (*Science Advances*)...

...исследователи искусственно воссоздали так называемые фитохелатины растений, которые избирательно очищают воду от тяжелого металла кадмия (*Nature Communications*)...

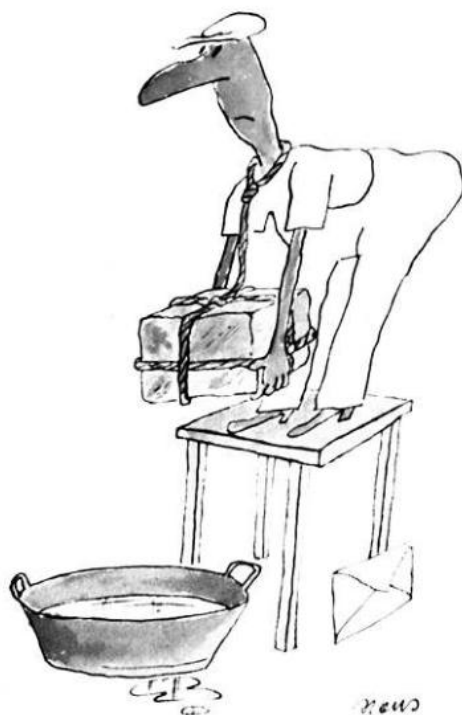
...даже низкие концентрации яда крошечного книжного скорпиона размером 1–7 мм (*Chelifer cancroides*), питающегося пылевыми клещами и книжными вшами, убивают устойчивый больничный микроб золотистый стафилококк (*iScience*)...

...иммунные клетки головного мозга, микроглия, образуют крошечные трубки, ведущие к нервным клеткам, через которые они отводят вредные белки и доставляют полезные вещества (*Neuron*)...

...новый метод 3D-печати создает разветвляющиеся сосуды, которые в точности повторяют архитектуру естественных кровеносных сосудов (*Advanced Materials*)...

...состав кишечных бактерий месячных чистокровных скаковых лошадей может предсказать их будущие спортивные результаты, например чем больше бактерий *Bacillaceae*, тем лучше результаты в гонке (*Scientific Reports*)...

художник Ivan Haramija



Короткие заметки

Спрячем CO₂ в кирпич

Что делать с бетоном из снесенных домов? Можно закопать, например, в виде щебня для дорог. Правда, дорога выйдет не очень, хуже, чем из гранитного щебня. А можно подумать и использовать на благо борьбы с потеплением. Именно такой способ предложил профессор Токийского университета Маруяма Иппей (агентство AlphaGalileo, 8 августа 2024 года).

Идея подсмотрена у природы. В пещерах или в источниках минеральной воды идет процесс кальцификации: образование твердых отложений, которые формирует гидрокарбонат кальция, превращаясь в карбонат. Маруяма использует этот процесс так. Сначала бетон размалывают на мелкие частицы. Их поверхность огромна, и на ней охотно идет превращение диоксида кальция, а это основа цемента, в карбонат. При этом как раз и поглощается углекислый газ. Собственно, он ранее попал в атмосферу при изготовлении цемента: для этого карбонат кальция обжигают и получают его диоксид; производство цемента дает 7% антропогенных выбросов парниковых газов.

Потом начинается производство кирпича. Слой созревшей бетонной крошки засыпают в форму, заливают водой, насыщенной гидрокарбонатом кальция, и под давлением гидрокарбонат становится карбонатным связующим. Оно прочно склеивает частицы бетона. Воду готовят так: насыщают углекислым газом и прокачивают над слоем извести. Потом новый слой крошки, новая порция воды — так и нарастает карбонатный кирпич. Его прочность невелика, но для строительства невысоких зданий годится. А изъятый углекислый газ будет храниться столетиями. Первый дом из такого кирпича Маруяма планирует построить в 2030 году. В принципе технология позволяет изготавливать и фигурные элементы.

А. Мотыляев

Татьяна Тихонова

Иллюстрации Елены Станиковой

СИНОПТИК

Письмо в почте засветилось глубокой ночью. Громушин одним глазом глянул на экран. Бабуля. Не спит. У нее сейчас раннее утро — по ее часам на Медее. Купола-поселки там рассыпаны вокруг шахт и разрезов. Здесь каждый друг друга знает. Холодно, конечно, но люди ко всему привыкают и к месту тоже, даже стихи про ледяную Медею пишут: «Я сейчас от тебя далеко, на Медее буран третий год...»

Пишущая мемуары об освоении медейского рудника номер двести четыре Вероника Павловна всегда говорила, что рифмы не ее конек, а потом и вовсе занялась бизнесом. Но бизнесом каким-то поэтичным, как с ехидцей посмеивался иногда внук, оказываясь у бабули в окружении ее молчаливых подопечных. Лунные улитки — называла она их. А себя — их заводчиком.

— Какие же они лунные, если они медейские? — возражал Громушин.

— Лунные они, посмотри, они ведь похожи на Луну, в кратерах, морях и океанах, и в темноте светятся!

«И не поспоришь», — признавал про себя Громушин, косясь на странных, будто каменных, тварей. Улитки действительно походили на серый старый камень, покрытый выбоинами и пятнами. Поначалу все вздрагивали, когда видели эту вереницу меланхоличных ползущих существ с мяч для боулинга и с той же убойной прочностью.

Бабуля же их и обнаружила, когда как-то добиралась по подземной технологической трассе до рудника. Что-то там надо было уточнить в архиве. Местные геологи посмеялись и сказали, что «очень похоже на земную улитку, конечно, не те размеры, и этот каменный панцирь, но оставляйте, передадим на изучение ваш экземпляр». А бабуля не оставила:

— Сами себе ищите экземпляры, я вам Ведьму не оставляю.

И прислала ее внуку.

Ведьма скоро принесла на свет еще с пару десятков камушков-улитышей. Внук по-быстрому десантировал их бабуле...

Громушин не успел еще ответить, прикидывая, что в письме «ничего особенного, ну бред ведь, спать охота», как прилетело еще одно письмо.

Вероника Павловна всегда отвечала быстро, будто партию в пинг-понг гоняла. Это ее: «Написала три тысячи знаков, сижу пью кофей, имею право, сварю себе кофейку, внучек, поболтаем!» Внук возмущенно сопел и тащился





в кухонный закуток, варил кофе. Обычное «привет, все хорошо, как у тебя дела» бабулю не устраивало — внук мрачен и депрессивен, непорядок, надо спасать. А вот «сегодня попрохладнее, всего сорок пять по Цельсию, сухая гроза, у меня выходной, читаю» как-то убеждало, она исчезала с экрана и, наверное, умиротворенно шуршала своими мемуарами.

Сейчас Вероника Павловна написала:

«Ты, понимаешь, спят и всё. Вторые сутки! Как же я их буду продавать, если они спят? А они нужны людям, ведь меня Ведьма спасла! От одиночества. Помнишь, ты ее называл каменной горкой. Каменная и есть. Невозмутимая и надежная. Прожила со мной восемь лет. И если бы не она тогда, мне бы не выбраться...»

«Тогда» умер дед. Бабуля больше года выходила на связь странным образом. В гости не пускала, но в сети появлялась — постила фотографию вида из окна. Из окна виднелось обычное медейское — стужа, камни, шахтовые роботы, маяк. Маяк медленно крутился, и по его изменениям в пространстве можно было думать, что дни на фото разные. И вот однажды фото с маяком не появлялось неделю. На второй день стали потихоньку искать, спрашивать знакомых, обзванивали архивы. Ничего, тишина.

А Вероника Павловна тогда экипировалась в комбез допотопный, тяжеленный и пухлый, и отправилась в очередной поход за уточнением для своих воспоминаний. Шла по одному из этих длиннющих технологических лабиринтов, куда-то не туда свернула. И заблудилась.

— Чувствую, выйти не могу к архиву, кружу, — рассказывала она. — Устала. Села на каменюку какую-то, плачу.

Весь шлем слезами залила, подача кислорода хлопает, а я рыдаю, что меня никто-никто не найдет. Потому что слышу, что транспорт где-то вдалеке проходит, а в мою сторону ни один чертов вездеход не идет! Соображаю, сколько еще кислорода в баллоне. Комбез тепло часа три продержит, дальше — как, даже с кислородом. А каменюка подо мной вдруг тронулась, пошла, переваливаясь на булыганах. Ну все, думаю, бабушка, приехали, мозги совсем набекрень встали. Еду...

Оказалось, что ехала она на улитке...

Ведьма лунно виднелась в углу спальни, подсвеченная монитором. Громушин с чистой совестью и спящими глазами от сна отписался бабуле:

«Ведьма спит в углу. У меня ночь, бабуль, утром на вахту. Обещали электрическую бурю, может, Ведьма чувствует».

«Восемь лет не было никакой спячки, восемь лет они ели свой уголь и мел и путешествовали по комнатам!» — бабуля ответила тут же, будто сидела в засаде.

Громушин вздохнул, сонно перебирая версии. Выдал: «Может, они, как яблони, отдыхают раз в восемь лет».

Бабуля затихла... А Громушин уснул, обняв Соню. Соню бабуля не знала. Зато знала Ведьма и даже катала ее пару раз, а это у Вероники Павловны зачет... Через несколько часов Соня убежит в свою оранжерею.

«Утром» в чатике от бабули было лишь одно сообщение:

«Ведьма — синоптик. Определенно. Электрической бури не было восемь лет».

Синоптик не выползал из своего угла до окончания бури...



300-летие
Российской академии наук



Александр Наумович Фрумкин

(1895 – 1976),

выдающийся советский физикохимик, организатор науки,
автор основополагающих работ в современной электрохимии;
основоположник электрохимической кинетики, один из основателей современного
учения об электрохимических процессах, создатель советской
электрохимической научной школы

Его называли «отцом современной электрохимии»
и «электрохимиком-энциклопедистом». А. Н. Фрумкин опубликовал более тысячи работ.
В возрасте 37 лет его избрали действительным членом Академии наук СССР.
Трижды был награжден Орденом Ленина, трижды – орденом Трудового Красного знамени;
был удостоен звания Героя Социалистического Труда.
Был одним из инициаторов издания «Журнала физической химии»
и журнала «Электрохимия», создателем и заведующим кафедры
электрохимии в МГУ имени М. В. Ломоносова.

Награжден самыми престижными наградами в области химии:
палладиевой медалью Американского электрохимического общества,
медалью Стаса Бельгийского химического общества, «Золотой медалью»
университета им. Я. Е. Пуркине (Брно) и другими. Был членом многих зарубежных
академий и научных обществ, действительным членом бюро секции
физической химии IUPAC, членом Комиссии по проблемам урана,
Членом президиума Академии наук,
работал заместителем главного редактора журнала «Доклады Академии наук СССР»
(1954 – 1964), председателем Межведомственной комиссии по топливным элементам
АН СССР (1961 – 1976, с 1963 г. – Научный совет АН СССР по топливным элементам),
директором Института физической химии АН СССР (1945 – 1949)
и Института электрохимии АН СССР (1958 – 1976).

Пресс-служба ИФХЭ РАН