



ХИМИЯ И ЖИЗНЬ

12 /2016







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

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

Подписано в печать 29.11.2016

Адрес редакции
19991, Москва, Ленинский просп., 29, стр. 8
Телефон для справок:
8 (495) 722-09-46
e-mail: redaktor@hij.ru
<http://www.hij.ru>

При перепечатке материалов ссылка
на «Химию и жизнь — XXI век» обязательна.

© АНО Центр «НаукаПресс»



НА ОБЛОЖКЕ — рисунок А. Кукушкина

*НА ВТОРОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ —
работа художника Бена Госса.*

*Чтобы выжить в этом мире, иногда
необходимо выдать себя за другого.*

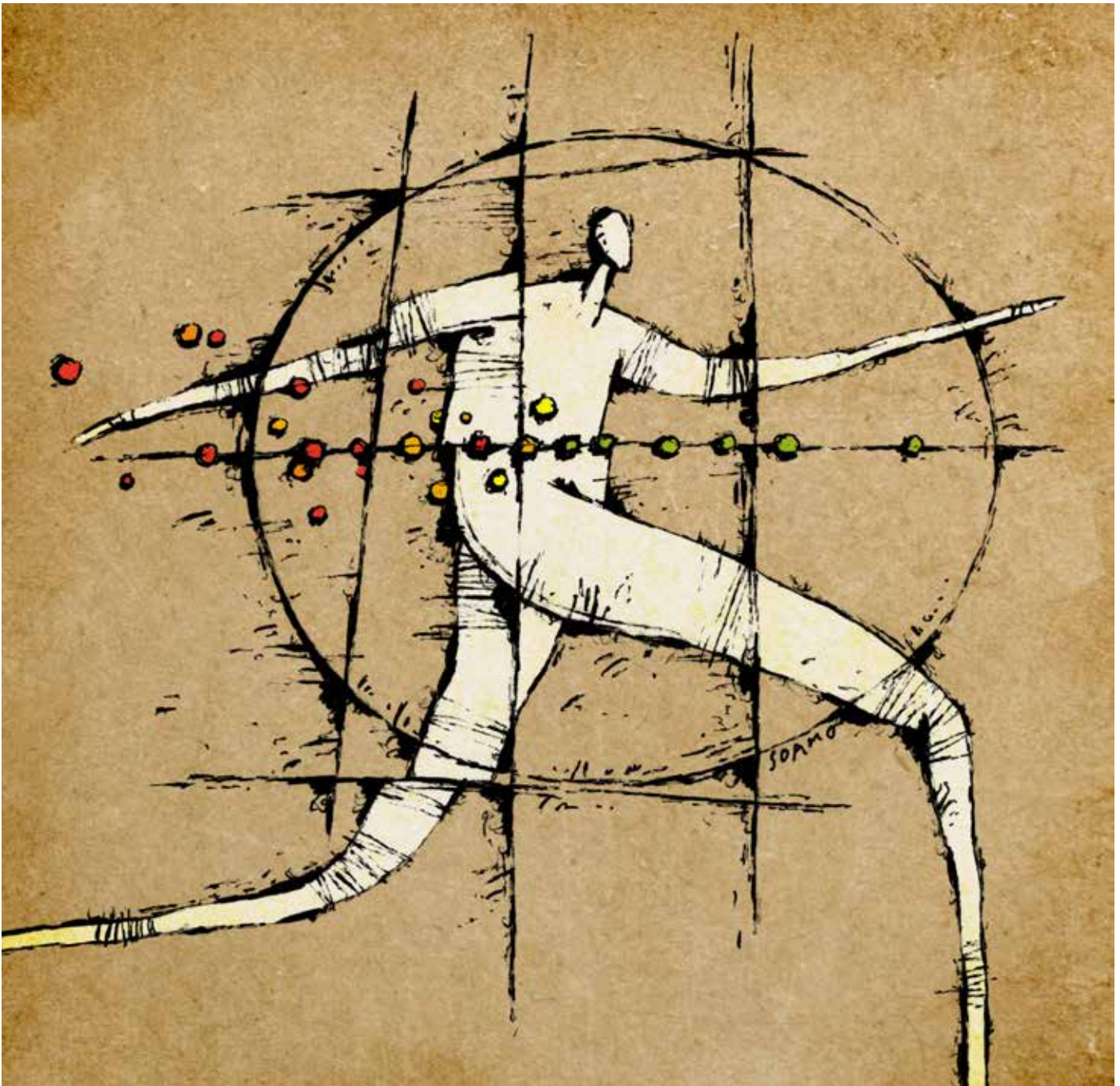
*Читайте об этом в статье
«Притворяшки».*

*Последнее утешение того, кто страдает
бессонницей, — это ощущение
превосходства в дремлющем мире.*

Леонард Коэн

Содержание

Событие			
РЕДАКТИРОВАНИЕ ЧЕЛОВЕКА: ЧАСТЬ ВМЕСТО ЦЕЛОГО. Е.Клещенко			2
Научный комментатор			
CRISPR/CAS9 И ЭПИГЕНЕТИКА. Д.Э.Джагаров			5
Проблемы и методы науки			
ПО ПОТОЛКУ. В.Л.Попов, А.Э.Филиппов, С.Горб			6
Хемоскоп			
ПЕРВАЯ НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ДВОЙНАЯ СПИРАЛЬ. ДЕЙТЕРИЙ СЛЕДИТ ЗА МИГРАЦИЯМИ БАБОЧЕК. ЧЕМ ПАХНЕТ РОЖДЕСТВО. А.И.Курамшин			12
Мемуары Игнобеля			
ТЕКУТ ВЕКА. С.М.Комаров			14
Размышления			
ПРОБЛЕМА СОЛНЦА — ЗЕМЛИ. С.М.Комаров			17
Общество			
ДЫХАНИЕ РЕВОЛЮЦИИ. С.Анофелес			20
Мысли о будущем			
ТОЛЬКО ПОДПОЯСАТЬСЯ. Виктор Вагнер			24
Лики Земли			
ЭУСОЦИАЛЬНОСТЬ И ФЕНОМЕН ЧЕЛОВЕКА. С.А.Ястребов			26
Проблемы и методы науки			
ЗАПИСКИ ОДОМАШНЕННЫХ ДРОЖЖЕЙ. Н.Л.Резник			31
Здоровье			
ЭГОИСТИЧНЫЙ МОЗГ И ПАРАДОКС ОЖИРЕНИЯ. Н.Л.Резник			34
Математюры			
ПОПУЛЯЦИОННАЯ ГЕНЕТИКА, ИЛИ ЗАЧЕМ ЖАЛЕТЬ КОТИКОВ. С.Рубина			38
Земля и ее обитатели			
ПРИТВОРЯШКИ. Н.Анина			40
Живые лаборатории			
ОБ АНТИФРИЗАХ — БЕЛКАХ И НЕ ТОЛЬКО. А.И.Курамшин			42
История современности			
ВРАЧИ И ОСВОЕНИЕ АРКТИКИ. В.А.Острогорская			46
Нанофантастика			
ГРАНИЦА. Жаклин Де Гё			51
Страницы истории			
НИКОЛАС КРИСТОФИЛОС, НЕИЗВЕСТНЫЙ КРУПНЫЙ ФИЗИК. С.В.Багоцкий			52
Что мы едим			
ТЕСТО. Н.Ручкина			54
Фантастика			
КОГДА СНЕЖИНКИ СТАНУТ РАЗНЫМИ. Агата Бариста			56
В погоне за точностью			
А ТЕПЕРЬ — ДИСКОТЕКА! Л.Намер			64
ИНФОРМАЦИЯ	4	КНИГИ	61
В ЗАРУБЕЖНЫХ ЛАБОРАТОРИЯХ	19	КОРОТКИЕ ЗАМЕТКИ	62
		ПИШУТ, ЧТО...	62



Редактирование человека: часть вместо целого

Е. Клещенко

Весной прошлого года мы вместе со всем человечеством обсуждали сенсационную новость — попытку китайских ученых редактировать геном человеческого эмбриона (см. «Химию и жизнь», 2015, 6). Этические требования были соблюдены; команда исследователей под руководством Цзюньцзю Хуана (Университет Сунь Ятсена, Гуанчжоу) взяла

для эксперимента нежизнеспособные эмбрионы, которые проходят лишь несколько делений и затем погибают. Результат был не блестящим: замены в геноме произошли не везде, где были нужны, зато кое-где обнаружились лишние замены. Стало ясно, что до массовых генных модификаций людей еще очень далеко. Тем не менее эта работа вызвала бурные споры о возможных последствиях, ближних и отдаленных, и о необходимых мерах предосторожности.

Теперь CRISPR/Cas9 опять в первых строчках новостей. Героями дня снова стали китайские ученые, но они выбрали менее масштабную задачу и, пожалуй, более практичную: взять из организма отдельные клетки, модифицировать их геном и вернуть в организм.

Клетки-супермутанты против рака и СПИДа

Тяжело лечить болезнь, когда врачу не помогает иммунная система пациента. Вирус иммунодефицита человека тем и страшен, что поражает клетки иммунной системы, делая больного беззащитным и против собственно ВИЧ, и против других инфекций. Раковые клетки не становятся мишенью иммунной системы по другой причине: они хотя и вредные, но «свои», к тому же умеют уходить из-под удара.

Ключевое звено иммунного ответа — Т-лимфоциты: именно они распознают чужеродные антигены, а одна из их разновидностей, Т-киллеры, убивает инфицированные и опухолевые клетки. Механизм истребления, пусть и вредных объектов, должен как-то контролироваться, иметь выключатели. Вот если бы застопорить эти выключатели, чтобы Т-клетки беспощадно расправились с опухолями, как с занозой или простудой, истребили до последней клетки... Еще недавно такая идея казалась фантастичной. Теперь ясно, что это вполне можно сделать, и в общих чертах понятно как.

Схема опыта выглядит несложной: взять кровь у пациента, если возможно — недалеко от опухоли, извлечь из нее Т-лимфоциты, отредактировать их гены, размножить клетки в культуре и затем ввести их пациенту — живой антираковый препарат, приготовленный для него лично.

Двадцать первого июня 2016 года консультативный комитет Национальных институтов здоровья США одобрил предложение использовать для лечения рака Т-лимфоциты, геном которых модифицирован с помощью CRISPR/Cas9. Исследователи возьмут Т-клетки у 18 пациентов с различными типами рака (миеломой, саркомой, меланомой) и выполнят редактирование их генов. Отредактированные клетки получат в Университете штата Пенсильвания. В программе также участвуют Университет штата Калифорния (Сан-Франциско) и Техасский университет (Хьюстон) — в медицинских центрах Калифорнии и Техаса будут проводить лечение. Программа рассчитана на два-три года, причем приоритетной задачей станет доказательство безопасности метода. Карл Джун, заведующий лабораторией в Пенсильванском университете, научный советник проекта, сообщил, что он должен начаться уже в конце 2016 года.

Какие гены будут редактировать? Первая мишень — поверхностный белок Т-лимфоцитов PD-1 (Programmed cell death 1). Он ослабляет Т-клеточную активность после иммунного ответа — через него запускается апоптоз антигенспецифичных Т-клеток и одновременно подавляется апоптоз Т-супрессоров, отвечающих за толерантность к «своим». Опухолевые клетки научились дотягиваться до этого выключателя лимфоцитов, поэтому многие противоопухолевые препараты действуют как ингибиторы PD-1. Но совсем лишить Т-лимфоциты этого регулятора, сделать их неуязвимыми и беспощадными — еще более радикальное решение! Кроме того, Т-лимфоцитам планируют дать рецепторы к белку, характерному для опухолевых клеток, но не для здоровых. Гены же собственных первичных (специфических) рецепторов будут удалены, чтобы сделать новый рецептор более эффективным. Вот таким генно-модифицированным клеткам, неутомимым убийцам рака, дадут размножиться в культуре и вернуть их в организм пациента.

Как мы уже не раз отмечали, CRISPR/Cas9 — удобный метод редактирования, но не единственный: нечто подобное уже делали. Джун с коллегами создали и испытали ряд терапевтических модификаций Т-лимфоцитов, используя для редактирования геномов лентивирусы и нуклеазы с цинковыми пальцами (ZFN). Например, брали кровь у 12 пациентов с ВИЧ, выделяли Т-лимфоциты и повреждали у них ген белка, с помощью которого ВИЧ проникает в клетку (корцептора ВИЧ CCR5). Результаты были обнадеживающими: количество лимфоцитов в крови пациентов резко выросло, а вирусной РНК и



НАУЧНЫЙ КОММЕНТАТОР

ДНК — уменьшилось («The New England Journal of Medicine», 2014, 370, 901—910, doi: 10.1056/NEJMoa1300662). Правда, наблюдались малоприятные побочные эффекты — лихорадка, озноб (что бывает и при обыкновенном переливании крови), боли в мышцах и суставах. Из необычного — многие пациенты жаловались на неприятный «чесночный» запах собственного тела, очевидно, из-за того, что клеточные культуры консервировали в среде с диметилсульфоксидом: и само это вещество, и его метаболиты пахнут незабываемо. Эту технологию продолжает развивать американская компания «Sangamo» (<http://www.sangamo.com/>).

Год назад все писали о том, как в лондонском детском госпитале «Грейт-Ормонд-Стрит» спасли годовалую девочку Лейлу Ричардс, у которой был острый лимфобластный лейкоз. Ей ввели генно-модифицированные донорские лимфоциты, подавляющие развитие опухолевых клеток, и это позволило ребенку дожить до пересадки подходящего костного мозга. Других способов не было — химиотерапия таким малышам помогает плохо, собственно, поэтому новаторский метод лечения и разрешили. Клетки делали в компании «Селлектик» (<http://www.cellectis.com/>). При этом использовали еще одну систему редактирования генома — TALEN. В «Грейт-Ормонд-Стрит» планируют продолжать эти исследования с более широкой группой пациентов и с упором на безопасность.

Во всех этих случаях применялась технология *ex vivo* — клетки модифицировали вне организма. Однако не все наши клетки можно вынуть и потом вернуть назад. Поэтому есть альтернативный вариант, *in vivo* — система редактирования доставляется в организм, например, с помощью вирусного вектора или в липидных наночастицах и производит редактирование на месте. Именно таким способом планирует исправлять гены в сетчатке глаза американская компания «Editas» (www.editasmedicine.com) — это один из самых заметных игроков среди разработчиков медицинских применений CRISPR/Cas9. Среди ее основателей — два изобретателя метода, Дженифер Дудна из Калифорнийского университета в Беркли и Фэн Чжан из Института Брода. (Позднее Дудна покинула компанию, чтобы создать ее конкурента — «Caribou Biosciences».) Так вот, в «Editas» решили сосредоточиться на генетических заболеваниях, для которых сейчас не существует эффективного лечения: муковисцидозе, миодистрофии Дюшенна, бета-талассемии, серповидноклеточной анемии, а также редких формах слепоты. При амаврозе Лебера зрение ослабевает или пропадает еще в раннем возрасте, но этот процесс можно остановить, исправив мутацию в дефектном гене. К сожалению, эту болезнь трудно захватить вовремя — младенец не может сказать, что плохо видит, и пока родители заметят, что дитя вяло реагирует на лица и яркие игрушки, время бывает упущено, — но лучше ослабленное зрение, чем «черный экран».

Умные люди из Сычуани

Итак, множество компаний по всему миру еще летом выступили с заявлениями о том, что начнут лечить людей с помощью

CRISPR/Cas9 не позднее чем в 2017 году. Но всех опередили китайские ученые. В июле команда под руководством Лу Ю (Lu You), онколога из Западнокитайского госпиталя Сычуаньского университета в Чэнду, сообщила, что уже готова вводить больным, страдающим раком легких, Т-клетки, модифицированные этим методом. Комментируя заявление конкурентов, Карл Джун признал, что «это потрясающий шаг вперед». Он же назвал международную гонку CRISPR-технологий «Спутник 2.0» — по ассоциации с космическим состязанием СССР и США, «биомедицинской дуэлью во имя прогресса». Конечно, сычуаньский проект в Китае не единственный: так, в Пекинском университете планируют начать испытания CRISPR/Cas9 — модификаций против раков мочевого пузыря, простаты и почек.

Метастазирующий немелкоклеточный рак легких плохо поддается лечению известными методами, поэтому клиницисты с нетерпением ждут результатов CRISPR/Cas9-терапии. Китайские ученые также выбрали в качестве мишени ген белка PD-1 (и только его), и они надеются, что модифицированные Т-лимфоциты выполнят свою задачу. Биотехнологическая компания «Chengdu MedGenCell», со своей стороны, обязуется тщательно контролировать вопросы безопасности. Дело тут не только в возможной неточности редактирования: Т-клетки вовлечены в разные типы иммунного ответа, в том числе, например, неспецифический, и есть опасение, не вызовет ли модификация аутоиммунные реакции. (При терапии антителами к PD-1 аутоиммунной реакции не было, но мало ли...)

Некоторые комментаторы говорят, что Китай продвигается в этой области слишком стремительно: первые обезьяны с геномом, модифицированным CRISPR/Cas9, первые опыты с эмбрионами человека... Однако команда Лу Ю не собирается спешить. Первая фаза клинических испытаний (десять человек, три варианта дозирования) должна будет показать, безопасна ли терапия. Компания планирует начать с одного пациента и постепенно увеличивать дозу, тщательно отслеживая побочные эффекты.

Лу Ю с коллегами получили разрешение еще летом, но первая инъекция модифицированных клеток пациенту в итоге была сделана лишь 28 октября 2016 года. Начать терапию в августе, согласно первоначальному плану, не получилось: культивирование клеток заняло много времени.

Многочисленное повторение слова «безопасность» имеет основания. Да, другие методы генной модификации клеток показали себя неплохо. Да, хочется скорее перейти к более простому, дешевому и потенциально общедоступному CRISPR/Cas9. Однако, когда готовился этот материал, пришли печальные новости. На второй фазе клинических испытаний американской компании «Juno Therapeutics» (лечение острого лимфобластного лейкоза у взрослых с помощью отредактированных Т-лимфоцитов, <https://junotherapeutics.com>) у двух пациентов развился отек мозга; один скончался, другой, по-видимому, также не выживет. Эти испытания (но не другие аналогичные) приостановлены до полного выяснения обстоятельств, и споры разгораются с новой силой.

А что же Россия, или «Спутник 2.0» взлетает без нас? История исследования CRISPR связана с именами Евгения Кунина и Константина Северинова (Евгений Викторович давно работает в США, но сохранил контакты с российскими коллегами, и наши рейтинги неизменно указывают его первым по индексу Хирша среди отечественных биологов). Технологию CRISPR/Cas9 используют в экспериментах, например, в лаборатории геномной инженерии МФТИ. С помощью этой технологии московская компания «Marlin Biotech» создала новую мышиную модель миодистрофии Дюшенна — на мышах с симптомами этого тяжелого заболевания можно испытывать потенциальные лекарства. О проектах, подобных тем, о которых рассказывается в этой статье, пока не слышно.



О подписке



Реквизиты:

Получатель платежа: АНО Центр «НаукаПресс»,
ИНН/КПП 7701325151/770101001 Банк: ПАО «Сбербанк», г.Москва,
Номер счета: № 40703810938000000848, к/с 30101810400000000225, БИК 044525225
Назначение платежа: подписка на журнал «Химия и жизнь—XXI век»

Напоминаем, что на наш журнал с любого номера можно подписаться в редакции.

Стоимость подписки на первое полугодие 2017 года: с доставкой по РФ — 1080 рублей, при получении в редакции — 600 рублей.

Об электронных платежах см. www.hij.ru.

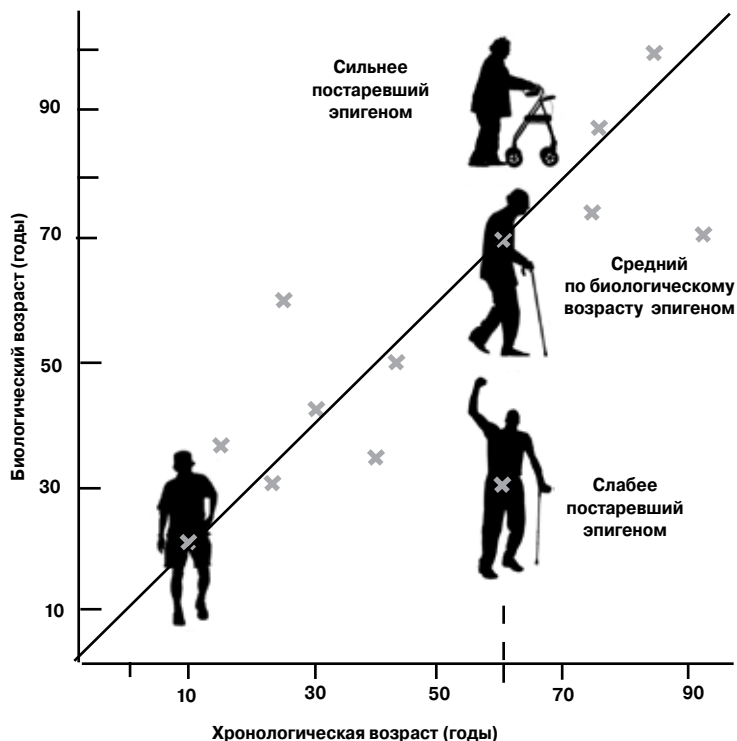
Справки по телефону (495)722-09-46.

CRISPR/Cas9 и эпигенетика

Еще одним достижением уходящего 2016 года стала разработка способов избирательного воздействия на эпигеном — изменения активности генов без изменений в нуклеотидной последовательности ДНК. Редактирование эпигенома, по идее, должно быть гораздо безопаснее редактирования генома.

Хотя почти все клетки организма (за исключением эритроцитов, лишенных ядра, и некоторых иммунных клеток) имеют одну и ту же ДНК, они тем не менее различаются по физиологическим параметрам и специализации. Этими различиями они обязаны своему эпигеному, контролирующему набор генов, активных в конкретной клетке. Среди механизмов воздействия на эпигеном наиболее важны метилирование ДНК и различные ферментативные модификации (метилирование, ацетилирование и фосфорилирование) определенных аминокислот в составе гистонов — белков, участвующих в упаковке ДНК. Говорят о паттерне (узоре) таких модификаций в геноме — именно он отличает геномы клеток с различными судьбами.

Насколько специфичен паттерн метилирования ДНК? Вот лишь один пример: по характеру метилирования фрагментов ДНК, высвободившихся в кровь при гибели клеток во время того или иного заболевания, можно определить, из какой ткани или органа происходит данная ДНК, и таким образом выявить локализацию патологического процесса



У людей одного и того же хронологического возраста может различаться биологический возраст, возраст эпигенома, определяемый по характеру метилирования ДНК. Одни моложе своего паспортного возраста, другие старше. (По: «Nature Reviews Molecular Cell Biology», 2015, 16, 10, 593—610, doi: 10.1038/nrm4048)



СОБЫТИЕ

(«Proceedings of the National Academy of Sciences USA», 2016, 113, 13, E1826—E1834, doi: 10.1073/pnas.1519286113). Более того, генетик Стив Хорват из Калифорнийского университета (Лос-Анджелес) в 2013 году разработал эпигенетические часы, позволяющие с большой точностью определить биологический возраст человека по метилированию ДНК и предсказать, какова вероятность, что он доживет до того или иного возраста. Эпигенетические часы проверил консорциум 25 институтов на образцах крови более 13 000 человек из США и Европы («Aging», 2016, 8, 9, 1844—1865, doi: 10.18632/aging.101020). Не помогут ли такие часы понять, почему некоторые люди умирают молодыми — иногда даже те, кто соблюдают правильную диету, занимаются спортом, практически не пьют и не курят?

Логично задаться вопросом: если от метилирования ДНК зависят здоровье и продолжительность жизни человека, нельзя ли как-то изменить эту запись в нашем геноме? Конечно, геном не паспорт, где можно подправить дату рождения и отретушировать фото. И все же, как недавно выяснилось, в будущем можно ожидать появления технологий таких «подчисток эпигенома» с целью радикального омоложения организма. Поводом для оптимизма стали новые разработки, основанные на технологиях CRISPR/Cas9.

Как мы уже писали (см. «Химию и жизнь», 2014, 7), не все CRISPR-технологии созданы для разрезания ДНК. Можно использовать каталитически неактивный белок Cas9, не способный делать разрез и поэтому названный dCas9 (dead Cas9) для целевой доставки на определенный участок геномной ДНК регуляторных белков — активаторов и ингибиторов гена либо ферментов, метилирующих ДНК или, наоборот, удаляющих метильную метку. Точность доставки, как и в разрезающей CRISPR/Cas9 системе, обеспечивает молекула РНК-гида, комплементарная нужному участку ДНК.

Эту идею уже испробовали для прямого перепрограммирования клеток в живом организме («Cell», 2016, 167, 233—247, doi: 10.1016/j.cell.2016.08.056). Однако вполне возможно, что в скором времени изменение паттерна метилирования поможет противостоять старению организма и (или) возрастным болезням. Существует исследование, авторам которого удалось существенно омолодить клетки костного мозга человека с помощью препарата, который просто подавляет активность фермента, метилирующего ДНК («Biotechnology and Applied Biochemistry», 2015, 62, 5, 583—590, doi: 10.1002/bab.1393). Конечно, такое «омоложение» неизбирательным препаратом напоминает ремонт ручных часов с помощью молотка и для омоложения человека не годится, поскольку неизбежно приведет к многочисленным побочным явлениям. Но важен сам факт: воздействие на эпигеном, очевидно, способно сбросить время на биологических часах. Предстоит тщательно выяснить, на какие гены следует воздействовать с помощью метилирующих ферментов dCas9. Это грандиозная и дорогостоящая работа, но ее результаты могут стать принципиально новые действенные лекарства от старости.

Д.Э.Джагаров

По потолку

Доктор физико-математических наук

В.Л. Попов,

Берлинский технический университет, Германия;

доктор физико-математических наук

А.Э. Филиппов,

Донецкий физико-технический институт, Украина;

доктор биологических наук

Станислав Горб,

Зоологический институт Кильского университета, Германия

Пит застегнул карабин на обвязке Катринко и связал свой и ее спексы волоконно-оптической нитью, вплетенной в веревку. Катринко блеснула паутиной схватывающих перчаток и прыгнула в дыру ногами вниз.

Брюс Стерлинг. Такламакан

Муха и геккон — учителя инженеров

Мы так привыкли к некоторым будничным чудесам живой природы, знакомым нам с детства, что они нас не удивляют, а порой вызывают досаду. Вот, скажите, что вы чувствуете при виде мухи на окне или на потолке? Или таракана, шустро взбегающего к нам на стол? Ничего, кроме досады, правда? И уж точно никаких мыслей, кроме одной: как бы поскорее от них избавиться! А зря. В XXI веке мы уже вполне готовы к тому, чтобы задуматься над очередным «детским» вопросом: а как, собственно, они это делают?

Понятно, что они намного легче нас с вами, но закон всемирного тяготения даже для них никто не отменял. Вы скажете, что потолок шершавый и они цепляются за его неровности. А если потолок — скользкий пластик? Окно в любом случае сделано из гладкого стекла, ножка стола — из стали, никакие коготки в них не вонзишь. Между тем они без видимых усилий справляются с задачей на поверхностях из любых материалов. Они не ждут милостей от природы, а берут их в свои руки, точнее — в лапки.

Понятно, что им помог естественный отбор, и в ходе борьбы за существование самые разные виды пришли к лучшим, а потому, возможно, даже универсальным решениям, основанным на общих силах природы. Однако с разнообразием сил у природы негусто. Если отбросить вряд ли пригодные для этого случая ядерные и слабые взаимодействия, остается старый добрый электромагнетизм.

Человек — мера всех вещей, даже в этом вопросе. Это существо, способное поднять примерно свой вес. Более мелкие существа могут поднять больше (относительно своего веса, конечно). Во всех случаях ситуация определяется соотношением между силой тяжести, пропорциональной массе тела, и силой мышц, пропорциональной сечению. Но одно дело — поднимать груз, равный своему весу, стоя на ногах, и другое — держать себя на весу. Кроме силы мышц, в этом случае нужно еще и собственно притяжение к потолку (или стене).

Хотя животное и потолок не заряжены, нужная сила все-таки есть, и она имеет ту же электромагнитную природу. Это — так называемая Ван-дер-Ваальса, или сила адгезии.

При соприкосновении двух поверхностей атомы и молекулы их поляризуются. Электронные облака перераспределяются так, что ближе к области контакта оказываются небольшие области, заряженные по-разному для каждого из соприкасающихся тел. И тела слегка притягиваются. Эта обусловленная



Первопроходцы потолка. Группа биоников под руководством Станислава Горба из Зоологического института Кильского университета (Германия) в сотрудничестве с фирмой «Binder» разработали и испытали материал, базирующийся на принципах, описанных в статье

поляризацией сила слаба по сравнению с притяжением макроскопически заряженных тел и быстро (как минус седьмая степень) спадает с расстоянием. Но она есть практически всегда и, по правде, не так уж и мала. Ее слабость отчасти иллюзорна и связана с тем, что поверхности почти всегда шершавы, их реальный контакт неполон, а расстояния между неконтактирующими фрагментами поверхностей больше характерного радиуса взаимодействия. Поэтому суммарная сила этого притяжения обычно невелика. Но если бы контакт был полным, то на стержне диаметром в 1 см, просто приставленном торцом к потолку без всякого крепления, можно было бы подвесить автомобиль! Этот удивительный факт имеет специальное название — «адгезионный парадокс» (рис. 1).

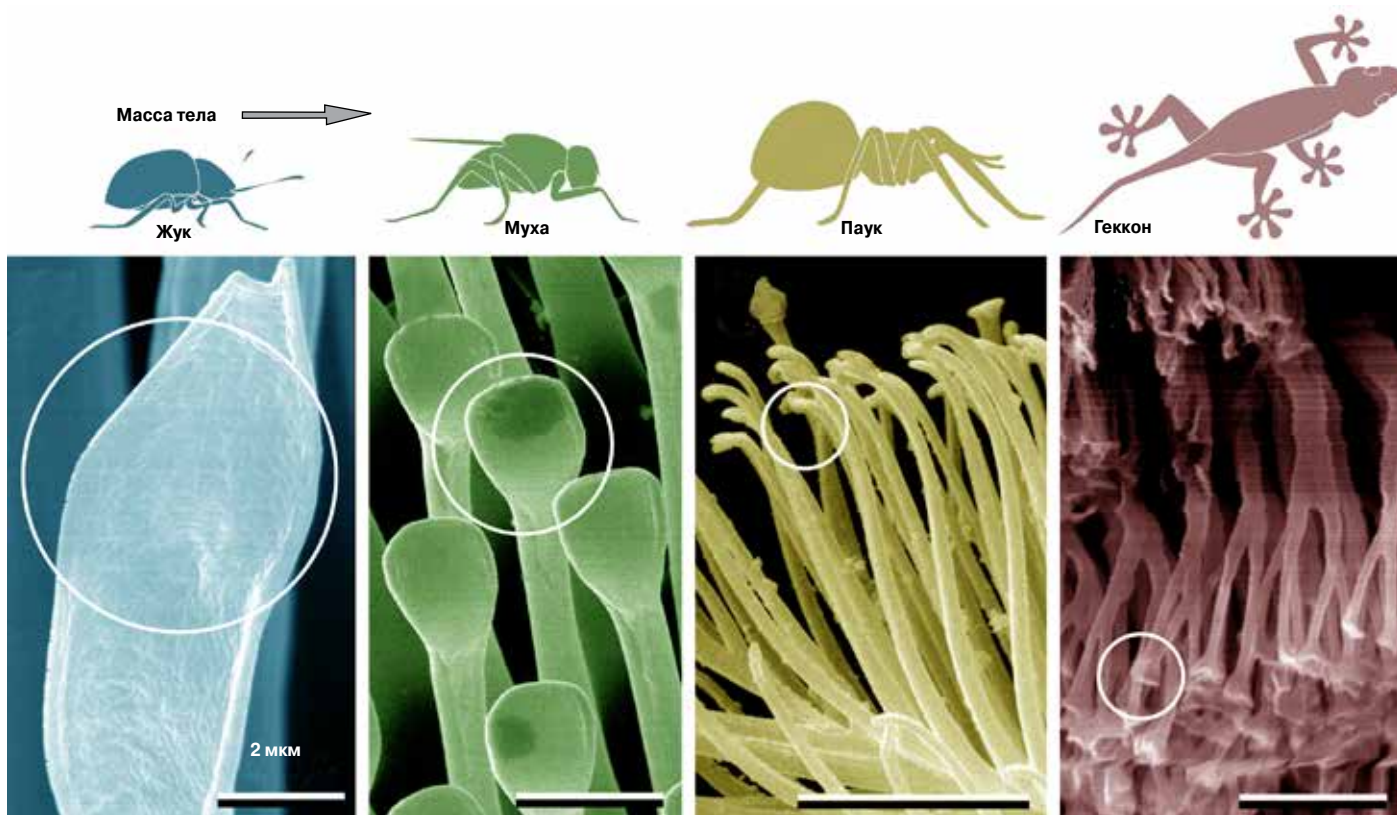
Только представьте себе жизнь в таком мире, где не только маленькие животные, но и мы сами могли бы ходить, прилипая к потолку. Правда, липли бы мы не только к нему, но и к стенам, и к стульям... Еще вопрос, было бы нам комфортно в таком мире. Хотя, наверное, что-то подобное могло пригодиться

космонавтам в невесомости. Прижался к поверхности нужной частью скафандра — прилип, оттолкнулся другими его частями — поплыл дальше. Хорошо бы иметь возможность включать сильную адгезию и управлять ею по своему усмотрению. Интересно, что даже примерно понятно, как это сде-



1 Вандерваальсовы силы: идеальный контакт площадью в один квадратный сантиметр выдерживал бы вес автомобиля

В.Л. Попов, 2013



PNAS USA, 2003, 100, 19, 10603–10606

2
Адгезивные структуры животных. Кругами обведены «прилипающие» части

лать: надо научиться изменять область реального контакта, как это, по-видимому, делают животные. Перед нами снова встает все тот же «детский» вопрос. Только теперь в более конкретной форме.

Как они это делают?

Понятно, что у них есть два пути: или поменять свойства поверхностей (хотя бы лапок) на время контакта, или увеличить область реального контакта с шершавой поверхностью, а потом уменьшить ее, или скомбинировать и то, и другое. К первому способу чаще прибегают мелкие животные, например насекомые. Они изменяют контактные свойства своих лапок простым, но вполне надежным способом — выделяя капельки жидкости. Эти капельки налипают на обе поверхности, заполняя пустоты между ними и образуя жидкие мостики

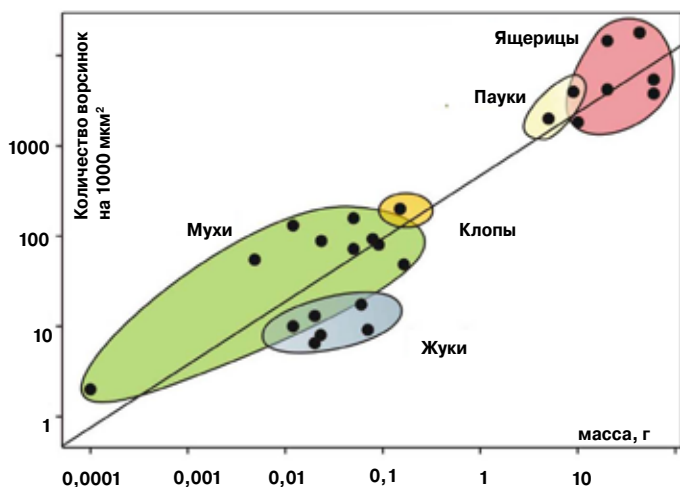
ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

между выступами, которые усиливают притяжение. Однако у этого способа есть очевидные недостатки. Во-первых, жидкость надо постоянно выделять, расплачиваясь за это ресурсами организма. Во-вторых, эта жидкость оставляет следы, а если мы хотим создавать искусственные системы для практического применения, то чем меньше следов, тем лучше. Наконец, способ не работает на поверхностях, которые впитывают капельки жидкости. Заметим, что некоторые растения даже научились создавать именно такие поверхности. Делают они это как минимум с двумя целями: чтобы не позволить нежелательным насекомым садиться на них либо, наоборот, не дать насекомому выбраться из ловушки.

Куда перспективнее в плане создания практических и универсальных адгезивов прямое использование сил Ван-дер-Ваальса. Тогда надо выяснить, как увеличить область контакта, то есть посмотреть, как это сделано в живой природе. Под микроскопом у животных, принадлежащих к самым разным видам, обнаруживаются качественно похожие структуры — ворсинки, заканчивающиеся небольшими пластиночками (рис. 2). Гибкие ворсинки могут пристраиваться к неровностям рельефа, компенсируя тем самым его неоднородности и увеличивая площадь реального контакта. Решение поразительно простое по идее и, похоже, на редкость универсальное.

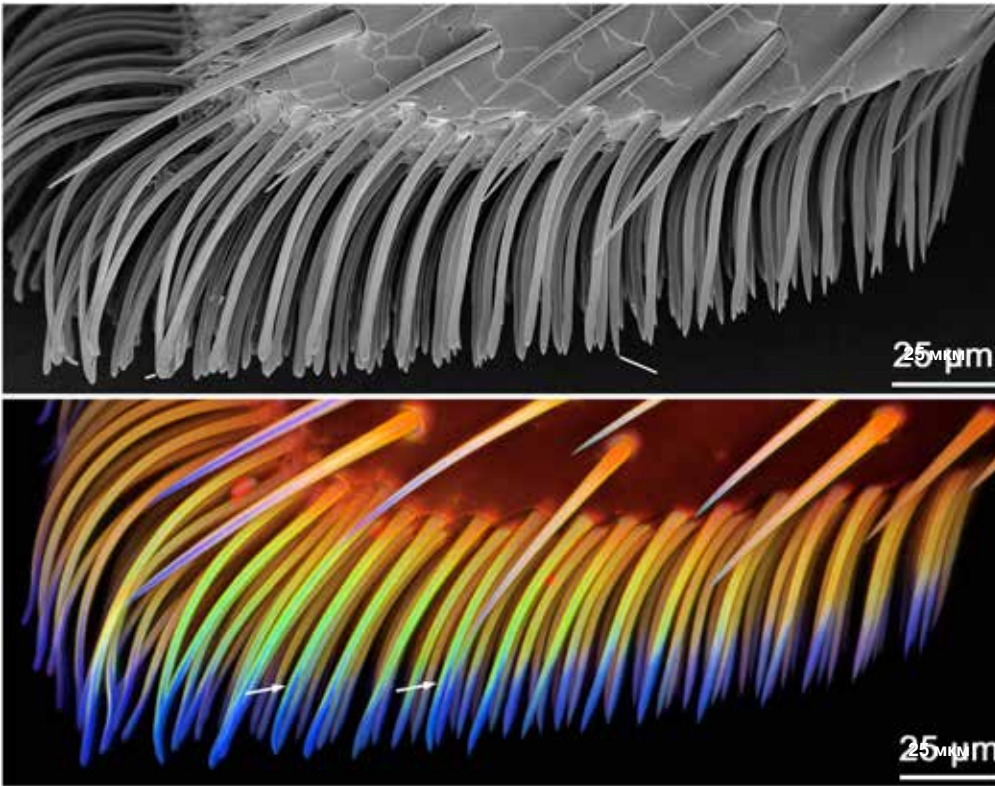
От мухи до геккона

Однако животные не равны по массе, и их размеры различаются иногда на несколько порядков. Если сделать контакт одинаковым для всех, то одни из них прилипнут навсегда, другие притяжения почти не почувствуют. Решение напрашивается само собой: чем крупнее животное, тем большая сила нужна и тем большей доли поверхности в контакте надо достигнуть. А значит, тем мельче должны быть описанные структуры и тем больше нужно ворсинок на единицу площади. Оказывается, так оно и есть (рис. 3): чем крупнее животное, тем больше у



3
Плотность расположения ворсинок зависит от массы животного, гуляющего по потолку

«Химия и жизнь», 2016, № 12, www.hij.ru



4

Флуоресцентный анализ (внизу) показывает наличие градиента состава в щетинках прикрепительных органов божьей коровки

него ворсинок и тем мельче они сами. Из способных ходить по потолку на границе размеров находится геккон. Это — уже иногда довольно крупная, до трети метра длиной, ящерица. Те, кто бывал в южных странах, знают, что когда, все-таки не удержавшись, она плюхается с потолка, то от испуга пускают наутек в разные стороны и она, и наблюдатель.

Оценки показывают, что для обеспечения нужной силы притяжения размер мельчайших структур у геккона должен быть уже около 20 нанометров. И такие структуры у него в самом деле существуют. Это не только ставит конкретную задачу перед нанотехнологами, но и дает надежду создать искусственные покрытия, способные держать на весу объекты из нашего макроскопического мира, включая самого человека. Все это сделало геккона одним из излюбленных объектов исследования последнего десятилетия. И в результате были созданы искусственные адгезионные покрытия, способные выдерживать человека, подобно «схватывающим перчаткам» героев Брюса Стерлинга.

Однако, как обычно и бывает, первые успехи в этом направлении позволили лучше увидеть многочисленные проблемы, стоящие перед исследователями и технологами. К ворсинкам предъявляются, казалось бы, взаимоисключающие требования — с этим исследователи столкнулись уже в начале XXI века. Ворсинки должны быть тонкими, чтобы проникать в самые мелкие зазоры и ямки, и вместе с тем прочными, чтобы не отрываться от подошвы при каждом шаге. Они должны быть гибкими и относительно легко растягиваться, чтобы дотянуться до выступов сложной шероховатой поверхности, и вместе с тем не слишком легко, чтобы отделяться от этой поверхности, а не тянуться за подошвой как жевательная резинка.

Искусственные структуры из таких ворсинок должны быть максимально устойчивыми, не отрываться от ступни и выдерживать огромное число (до миллиона) циклов прилипания-отлипания. Пространство между ворсинками не должно слишком загрязняться пылью, собранной с поверхности, и

сами ворсинки не должны слипаться между собой, поскольку и то, и другое резко снижает их способность адаптироваться к сложной поверхности. В первом случае нежная щеточка из ворсинок постепенно превращается в жесткий брусок, похожий на забитую ваксой старую сапожную щетку, а во втором — нити слипаются в сгустки (кластеры), теряют эластичность и способность проникать в мелкие особенности рельефа.

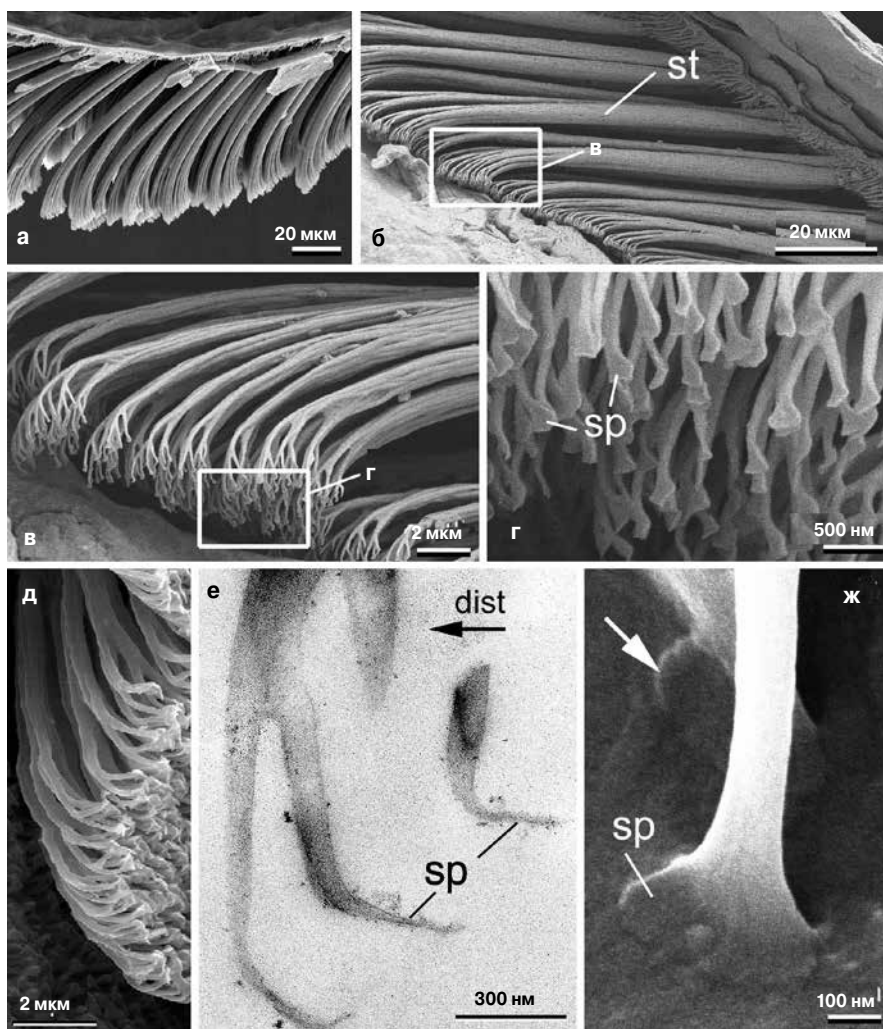
Попытка объять необъятное

С похожими проблемами сталкиваются и животные. Они теряют фрагменты покрытия, если те слишком сильно прилипают к какой-нибудь поверхности. И пространство между ворсинками у них тоже засоряется. Но у животных есть преимущество, они живые, могут регенерировать потерянное, чистить и расчесывать запачканное. У них позади миллионы лет эволюции — достаточно времени, чтобы поупражняться в комплексном решении всех перечисленных задач. И они действительно преуспели, соединяя несоединимое.

Вот, например, некоторые идеи, которые появляются почти сразу. Ворсинки можно сделать одновременно и гибкими, и жесткими, одновременно толстыми и тонкими, если придать им градиентную структуру (рис. 4). Это может быть достигнуто и пространственным изменением свойств материала от корня к окончанию, и изменением толщины каждой нити. В этом случае некоторые участки ворсинки служат для придания жесткости, а другие позволяют ей адаптироваться к особенностям рельефа.

Все это помогает, но этого не всегда достаточно. Плавно изменить размер от макроскопического мира, где обитает, например, геккон, до 20 нанометров кончиков его ворсинок, невозможно. Но есть другой путь — сделать всю конструкцию иерархической (фрактальной): толстую ветвь разделить на несколько веточек потоньше, затем каждую из них расщепить еще на несколько, затем еще и т. д. Можно сказать, что иерархичность структуры противостоит фрактальности реальных поверхностей материалов. Именно так обстоит дело у настоящего геккона (рис. 5). И то, что он бегаёт, доказывает, что идея работает. Проблема лишь в том, как все это повторить искусственно.

Отдельный вопрос: а как природа смогла создать такое? Структура должна была начать формироваться спонтанно, до того, как начала работать. Может статься, что это чистая случайность эволюции, оказавшаяся полезной и потому закрепившаяся в миллионах последующих поколений. Но есть проблема, которую осознавал еще Дарвин: как могли возникнуть сложные приспособления, для которых нужны несколько изменений, если ни одно из этих изменений не полезно само по себе (и тем самым незаметно для отбора), а их одновременное возникновение маловероятно? У авторов есть работы, посвященные этим вопросам, в том числе и популярная статья («Химия и жизнь», 1985, 9), однако не будем отвлекаться.



5

Лапа геккона — иерархия структур вплоть до ворсинок нанометрового размера

Случайна иерархичность или нет, но масштабом ниже есть и еще один уровень системы, который уж точно не случайность. Как мы видим в микроскоп, на самом уровне контакта с поверхностью ворсинки у самых разных видов имеют хорошо выраженные пластиночки (спатулы), многократно заново переоткрытые природой. Будучи уже созданной природой, такая форма кажется вполне логичной: на самом конце, когда тоненькая ворсинка уже приспособилась к выступам поверхности и притянулась силой адгезии, желательнее ее немного расплющить, чтобы дополнительно увеличить площадь контакта. Но почему все, или почти все, спатулы не круглые, а вытянутые с одной стороны, напоминают лапку или ступню? Статическое наблюдение неподвижных спатул не дает нам ответа на этот вопрос. Кажется бы, их форма не важна, и при одинаковой площади спатулы разной формы должны быть эквивалентны. Может быть, дело в динамике процесса их прикрепления или отсоединения?

Как увидеть невидимое?

Пока ответить на этот вопрос практически нельзя, может помочь только численное моделирование. Во время работы мы уже достаточно углубились в область гипотез, но наблюдаем лишь результаты продолжительной эволюции и считаем, что они неплохо согласуются с нашим интуитивным представлением о целесообразности. Однако мы не видим промежуточных стадий процесса. Быть может, даже в тех случаях, когда результаты совпадают для разных видов, они все же



побочны и просто не могли не повториться по каким-то чисто физическим причинам. Короче, без математического моделирования действительно не обойтись. В игрушечном мире компьютерной модели мы всегда твердо знаем, что в нее заложено, а что нет, а потому знаем, что есть ее результат, а что от лукавого. Численные эксперименты дают нам возможность увидеть ответы на вопросы, «что будет, если...?». Включая те случаи, когда прямые биологические эксперименты невозможны.

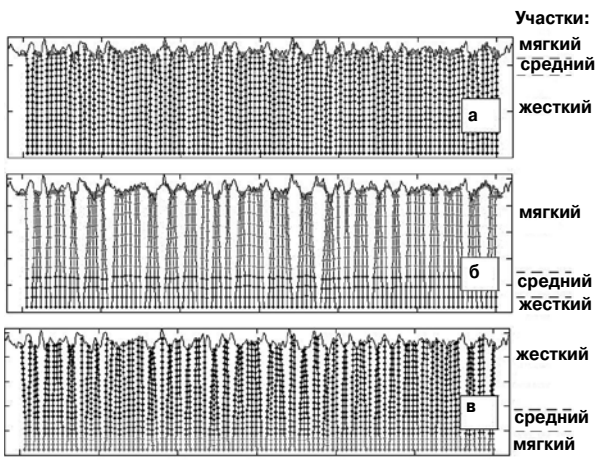
Допустим, нас интересует, в какой степени градиент свойств может препятствовать слипанию ворсинок (кластеризации) при сохранении возможности достигнуть хорошего контакта с шершавой поверхностью. А заодно — как именно должны быть распределены вдоль ворсинки ее свойства для достижения оптимального результата.

В отличие от реальной системы, где наш выбор ограничен лишь тем, что существует, при моделировании мы более свободны. Понятно, что полностью жесткие нити не

подходят — хорошего контакта не будет. Но можно попробовать сформировать их по-разному, скомбинировав из жестких и мягких участков, и посмотреть, какой вариант лучше. Например: жесткие по большей части длины, начиная от основания и смягчающиеся к кончику нити, жесткие только у основания и мягкие по всей длине и, наконец, мягкие у основания, но жесткие в остальных участках. Далее нужно численно сгенерировать сложную контактную поверхность со случайной структурой на множестве масштабов, то есть примерно такой же фрактал (той же размерности), каковы практически все реальные поверхности.

Возможность каждый раз брать строго регулярный набор нитей и разные варианты фрактальной поверхности делает численное моделирование контролируемым экспериментом и позволяет набирать статистику. Теперь надо снабдить эти нити взаимодействием Ван-дер-Ваальса с поверхностью и между собой. Важно отметить, что оба этих взаимодействия имеют одну и ту же природу, в чем, собственно, и состоит главная трудность практического создания ворсистых систем: ворсинки пытаются прилипнуть не только к поверхности, но и друг к другу.

В численном эксперименте систему ворсинок приводят в соприкосновение с поверхностью, дают ей прийти в равновесие, а потом поверхность удаляют. Во всех случаях ворсинки стремятся притянуться к окрестностям выступов, где слипаются друг с другом. Когда поверхность убирают, часть взаимодействия, приводящего к слипанию (а именно притяжение к общим для групп ворсинок выступам), «выключается» и при определенных условиях ворсинки могут расцепиться и постепенно вернуться в исходное положение.



6
Ворсинки могут после контакта или восстановить исходное состояние (а), или слипнуться (б, в)

Именно это происходит в первом из исследуемых вариантов системы, тогда как в двух других ворсинки остаются слипшимися (рис. 6). Иными словами, в первом случае система восстанавливается в каждом контактном цикле и снова готова к использованию, а в двух других — нет. Живая природа выбрала именно первый вариант — ворсинку с длинной жесткой частью и гибким кончиком.

Еще один пример — моделирование прилипания спатулы к поверхности. Все понятно, когда животное стоит на лапках и под его весом маленькие «ступни» на ворсинках плотно прижимаются к полу. А под потолком? Животное не может надавить на него, а если попытается это сделать, то оттолкнется от поверхности и под собственным весом упадет вниз. Надо действовать умнее.

Приблизившись к потолку, тончайшие окончания спатул могут спонтанно прийти в контакт с поверхностью. Сила адгезии позволяет им зацепиться, но ее еще слишком мало, чтобы удержать животное. Для улучшения контакта животное может тихонько потянуть лапки под себя, по касательной к потолку. Это не создает вертикальной силы отталкивания, а зацепившийся кончик не дает спатуле сразу сорваться. Постепенно она наклоняется к поверхности. Все новые фрагменты спатулы вступают в контакт с поверхностью и прилипают к ней. Нечто подобное мы делаем, когда наклеиваем скотч или изоленту. Главное тут избегать крайностей: если тянуть слишком быстро, уже прилипший кончик сорвется, если слишком медленно, то процесс займет много времени. И это — при

каждом шаге; очевидно, животное как-то контролирует процесс протяжки. Мы пока не можем влезть ему в голову, но трудно представить себе, чтобы оно непрерывно следило за натяжением каждой нити, подобно сороконожке из анекдота, которая разучилась ходить, когда задумалась, что делает ее 37-я нога, когда 12-я делает шаг вперед. Когда речь идет о выживании, не до того. Природа как-то решила вопрос оптимизации, и до известной степени мы можем это повторить.

Прелесть современного численного моделирования состоит в том, что мы можем просто воспроизвести интересующую нас пространственную конфигурацию. А именно: численно представить спатулу как расположенную в трехмерном пространстве под заданным углом к поверхности упругую пластину, которая контактирует с фрактальной поверхностью одним из своих ребер и которую протягивают в заданном направлении с заданной скоростью (рис. 7).

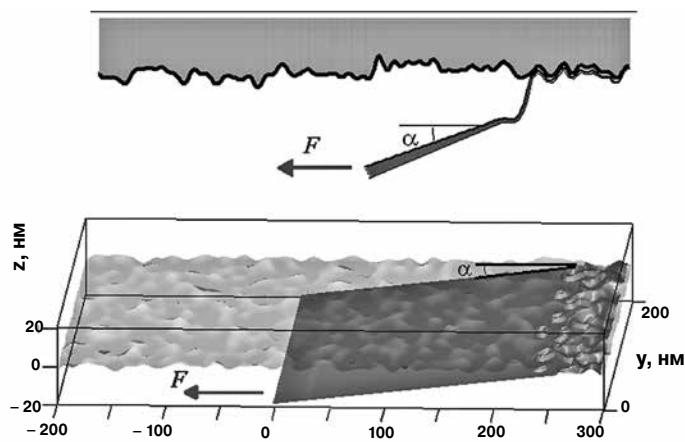
Выяснилось, что если скорость и угол находятся в приемлемых пределах, кончик спатулы не срывается и она прилипает тем быстрее, чем выше скорость и меньше угол наклона. Природе (или экспериментатору) следует лишь осторожно, но как можно ближе подойти к критическим значениям, не превышая их. Геккон уменью «правильно» двигать лапками обучается в юности, во время игр, методом проб и ошибок.

Решить задачу, посмотрев в ответ

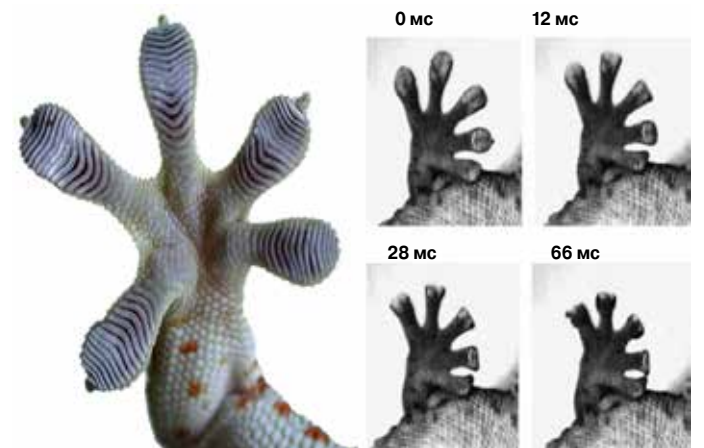
Никому из нас не придет в голову отрывать скотч от поверхности вдоль всей его длины одновременно. Мы, практически не задумываясь (с повсеместным распространением скотча опыт по его отрыванию накопился у всех), постепенно отслаиваем его, то есть как бы отворачиваем с одного края. Неудивительно, что естественный отбор, оптимизируя геккона, «научил» его делать так же. У него даже пальцы на лапках устроены будто специально для этого: они сгибаются не к поверхности, как у нас, а от нее (рис. 8).

Геккон отрывает лапу от потолка так же, как мы отрывает скотч — начиная от края контакта. Отцепляясь от поверхности, он разворачивает пальчики и отслаивает свои ворсинки и спатулы. Ему надо лишь делать движения прилипания-отлипания с оптимальной скоростью, и он, как мы отметили выше, учится этому в детстве.

Человеку свойственно, по крайней мере на первых порах, каждую новую конструкцию организовывать как простой массив регулярно расположенных элементов. По мере прогресса они постепенно лишаются регулярности и становятся все более изощренными и эргономичными. Именно так поступили люди и с искусственно созданными адгезивами,



7
Спатула, которая приклеивается к потолку при горизонтальной протяжке



8
Пальчики геккона



Мы не можем спросить ее об этом напрямую и пока не можем воспроизвести такую конструкцию экспериментально. Остается один способ понять ее тонкий замысел: создать численную модель и посмотреть, как она себя поведет. Ведь, как уже говорилось, прелесть современного моделирования состоит в том, что мы можем численно воспроизвести даже не существующую в реальности структуру. Обучить ее всем нужным взаимодействиям: упругости, адгезии, способности восстанавливать исходную форму. А потом посмотреть, что она будет делать при соприкосновении с численно воссозданной шероховатой поверхностью.

Так мы и поступили. Подвесили на относительно жесткой палочке, которой позволили вращаться, гроздь из тонких окончаний ворсинок с вывернутыми в обратную сторону спатулами, включили адгезию и привели всю конструкцию в соприкосновение с численно генерированной поверхностью (рис. 10). И она себя повела, да еще как повела! Нижние из спатул зацепились кончиками за выступы поверхности и немного подтянули всю конструкцию вниз. Она развернулась вокруг жесткого стержня, и следующие по высоте спатулы вступили в контакт. По мере опускания системы в целом все больше спатул вступало в контакт, они все сильнее разворачивались в нужные стороны за счет протяжки и вращения стержня, к которому они присоединены. Без всяких ухищрений, сами собой! Наконец, они расположились на поверхности примерно так, как у настоящего животного, то есть контактными пластинками — против направления протяжки. И тогда мы потянули всю систему обратно — вверх. По природе конструкции спатулы отлипли от поверхности именно так, как мы поступаем со скотчем, а главное — снова повисли на разной высоте, из-за чего не слиплись. Так что это не случайность, а высокотехнологическая разработка, и нам у природы еще учиться и учиться.

Как написал Евтушенко: «И, видимо, жизнь не такая уж вещь пустяковая, когда в ней ничто не похоже на просто пустяк».

Литература

- В.Л. Попов. Механика контактного взаимодействия и физики трения. Москва: Физматлит, 2013.
В.Л. Попов, А.Э. Филиппов, С.Н. Горб. Биологические микроструктуры с высокой адгезией и трением. Численный подход. // «Успехи физических наук». 2016. Т. 186. № 9. С. 913—931.

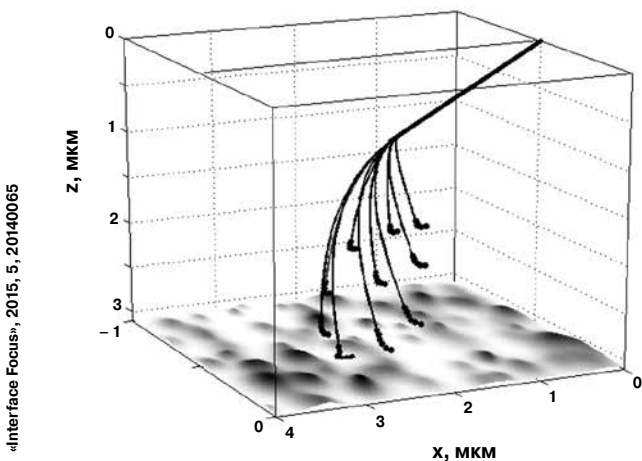
С.Н. Горб

9

Такую конфигурацию ворсинок и спатул, как у геккона, придумать трудно. Нижняя граница рисунка указывает направление к телу

располагая контактные выступы на пленках в виде унылых регулярных решеток. Конечно, понятно, что так технологичнее, то есть проще изготовить.

Однако выигрыш от усложнения конструкции может оправдать расходы на ее изготовление. И тут снова не грех посмотреть в конец задачника: а как это делает природа? Вот, взгляните на то, как терминальные структуры ворсинок устроены у геккона (рис. 9). Ничего общего с наивно ожидаемым. Это скорее грозди из веточек, развешенные на разной высоте, и вообще скорее сложно распределенные в трехмерном пространстве, чем регулярно устроенные системы. Да и лопаточки спатул в подвешенном состоянии у них как-то странно повернуты в направлении, противоположном тому, в котором их потом протягивают для закрепления. Невозможно, чтобы природа так грубо ошиблась.



10

Численная модель «виноградной грозди» на лапе геккона показывает ее высокую эффективность

«Interface Focus», 2015, 5, 20140065

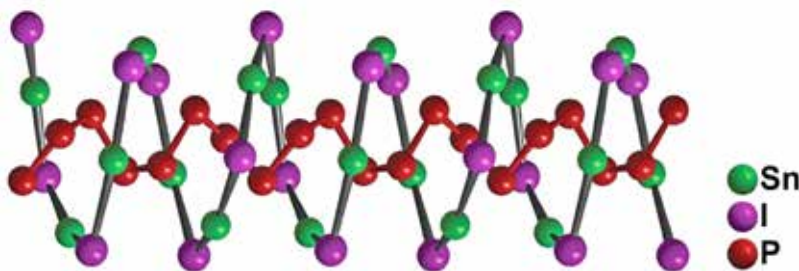
«Химия и жизнь», 2016, № 12, www.hij.ru

Первая неорганическая двойная спираль

ХЕМОСКОП



Молекулы, образующие двойную спираль, часто встречаются среди природных и синтетических органических соединений. Двуспиральные системы более устойчивы термодинамически и обладают лучшими электрическими свойствами по сравнению с линейными цепями или одноцепочечными спиральями. До настоящего времени не было известно ни одного примера двойной спирали, сформированной неорганическими соединениями (координационные и элементоорганические полимеры не в счет). Теперь такой пример есть.



Два десятка химиков, работавших под руководством Тома Нильгеса из Технического университета Мюнхена, получили первое неорганическое соединение, которое организовано по принципу двойной спирали. Состав вещества описывается формулой SnIP — оно состоит из цепи иодида олова (эмпирическая формула SnI^+), сплетенной с цепью полифосфид-аниона (эмпирическая формула P^-). Исследователи получили несколько граммов SnIP, нагревая смесь олова, красного фосфора и тетраиодида олова («Advanced Materials», 2016, doi: 10.1002/adma.201603135).

Химики искали двойные неорганические спирали десятилетиями. Результаты рентгеноструктурного исследования одной из форм фосфида лития — LiP и аналогичного арсенида лития LiAs позволяли говорить о том, что в структуре этих пниктогенидов (бинарных производных, содержащих анион элемента главной подгруппы 5-й группы) есть спи-

ралевидные и коаксиальные цепи. Однако оставалось не до конца ясным, можно ли считать их двуспиральными структурами. В последнее время химики пытались получить спиралевидные неорганические солевые структуры, используя в качестве шаблонов молекулы ДНК или углеродные нанотрубки, тем не менее до сих пор двойную спираль, не содержащую атомов углерода, не удавалось синтезировать без симметричного шаблона.

Химик-теоретик из Университета Юты (США) Александр Болдырев считает результаты Нильгеса и его коллег выдающимися. В 2012 году исследователи из группы Болдырева выполнили расчеты, показавшие, что фосфид лития может образовывать двойную спираль, похожую на молекулу ДНК. По его мнению, новые результаты доказывают, что в неорганической химии двуспиральные структуры могут встречаться гораздо чаще, чем считалось ранее.

Нильгес с соавторами определил, что устойчивость двойной спирали SnIP обеспечивают непрочные взаимодействия,

Неорганическое соединение SnIP, существующее в форме двойной спирали, — это спиралевидная цепь оловоиодидного катиона, сплетенная с цепью фосфидного аниона

возникающие между неподеленными электронными парами фосфора и вакантными орбиталями олова. Координационные взаимодействия между неорганическими спиральями получаются прочнее, чем водородные связи в двойной цепи ДНК, — они обуславливают высокую устойчивость SnIP к механическим воздействиям. Оказывается, иглообразные кристаллы SnIP могут сгибаться на 90° , не разрушаясь; кроме того, их можно расщепить по продольной оси, получив при этом наностержни. Полупроводниковые и фотолюминесцентные свойства кристаллов SnIP, а также их гибкость позволяют надеяться, что двойная неорганическая спираль не останется интересным феноменом, важным лишь для супрамолекулярной химии, а в скором времени найдет практическое применение.

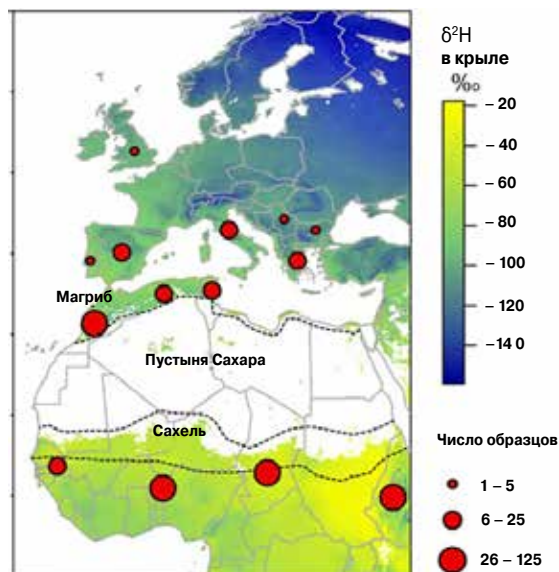
Дейтерий следит за миграциями бабочек

ХЕМОСКОП



Изучая изотопный профиль бабочек-репейниц, исследователи смогли нанести на карту пути, по которым происходит ежегодная миграция этих насекомых («Biology Letters», 2016, 12, 20160561, doi: 10.1098/rsbl.2016.0561). Для того чтобы вывести потомство, некоторые бабочки каждый год преодолевают тысячи километров между Европой и Африкой и даже пересекают Сахару.

Для миллионов насекомых характерны сезонные миграции между Европой и Африкой. К бабочкам-кочевницам относятся



Исследователи проанализировали изотопный состав крыльев нескольких сотен бабочек, пойманных в различных областях Европы и Африки. Некоторые бабочки с содержанием дейтерия, характерным для уроженок Европы, были пойманы южнее Сахары

и репейницы *Vanessa cardui*. Весной эти чешуекрылые перелетают из Магриба (региона в Северной Африке) в Европу, чтобы оставить потомство, а осенью, спасаясь от холодной погоды, новое поколение бабочек летит обратно в Африку и размножается там.

Руководитель исследования Константи Стефанеску из Испании отмечает, что информацию о сезонных миграциях репейниц можно использовать и для некоторых других видов чешуекрылых, — ведь они одни из самых опасных насекомых-вредителей, угрожающих европейским фермерам. Чтобы предсказать время нашествия тех или иных насекомых на сельскохозяйственные культуры, нужно понять, куда и когда они перемещаются.

С 2009 по 2014 год Стефанеску с коллегами поймал 334 репейницы в Южной

Европе, Северной Африке и Черной Африке (страны Африки, расположенные к югу от Сахары). Впервые для определения места рождения репейниц использовали количество дейтерия в их крыльях. Как отмечает Стефанеску, изотопный состав крыльев бабочек очень хорошо совпадает с изотопным составом воды в том месте, где они проходили личиночную стадию развития.

Оказалось, что репейницы осенью долетают из Европы не только до Магриба, но некоторые из них продолжают путешествие, преодолевая 4000 километров и более, и заканчивают его в Черной Африке. Также ученые обнаружили, что потомство репейниц, появившееся в Черной Африке, мигрирует на север в Магриб, где спаривается с европейскими бабочками.

Стефанеску отмечает: сегодня ученые еще только начинают понимать, каким образом происходит сложный процесс сезонной миграции бабочек. Всего два десятка лет назад считали, что потомство репейниц, мигрирующих в Европу из Африки, не возвращается на африканский континент. Однако новые исследования опровергают этот тезис — оказывается в Африке они расселяются по огромной территории, а не только по Магрибу.

Эксперт по миграции насекомых Дон Рейнольдс из Университета Гринвича полагает, что определение содержания природных изотопов в организме чешуекрылых — важный этап в разработке метода, позволяющего определить схемы миграции перелетных насекомых.

Чем пахнет Рождество

ХЕМОСКОП

В нашей стране самый долгожданный зимний праздник — Новый год, пахнущий мандаринами и елкой, а в странах Запада с нетерпением ждут Рождества, которое у католиков и протестантов ассоциируется с запахом ладана — одного из даров, поднесенных волхвами Каспаром, Мельхиором и Бальтазаром младенцу Иисусу. Исследователям удалось определить, какие молекулы отвечают за характерный запах ладана («*Angewandte Chemie, Int. Ed.*», 2016, doi: 10.1002/anie.201605242).

С помощью передовых приемов аналитической химии и экспертов-органолептиков (специалистов по дегустации запахов) химикам из Франции и Италии удалось идентифицировать ключевые молекулы аромата ладана — два изомера редких карбоновых кислот, присутствующих в незначительном количестве в эфирном масле ладана.

Ладан известен человеку с глубокой древности. Это ароматическая древесная смола, которую получают из коры деревьев рода *Boswellia*, или ладанного дерева (*Boswellia sacra*). Ладан много раз упоминается в Библии и до сих пор используется во время богослужений — он входит в состав фимиама из 11 благовоний, воскуряющегося в храме.

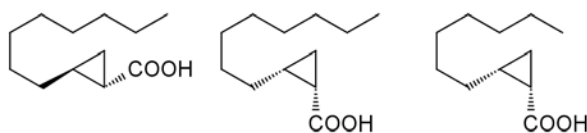
Несмотря на тысячелетнюю историю применения ладана, строение химических соединений, придающих ему характерный запах, до недавнего времени оставалось загадкой. Классические методики, такие, как тонкослойная хроматография, газовая хроматография, сопряженная с масс-спектрометрией, и даже высокоэффективная жидкостная

хроматография не обладали достаточной чувствительностью, чтобы идентифицировать все основные одоранты ладана. Поэтому авторы решили использовать хроматографию-одориметрию. Метод заключается в следующем: газ-носитель, который содержит вещество, выделенное из смеси с помощью хроматографии, распределяется по двум газовым линиям, одна из них подает вещество на масс-спектрометр, а другая — на одориметрический порт. Находящийся у вывода этого устройства эксперт-органолептик в полном смысле этого слова может учуять, чем пахнет каждый пик хроматограммы. Известно, что обонятельные рецепторы носа специалистов-органолептиков и флейвористов — ценные инструменты, зачастую более чувствительные, чем лабораторное оборудование.

Такой способ анализа позволил идентифицировать два ранее неизвестных вещества, получивших название цис- и транс-ладановых кислот (изомеры 2-октилциклопропилкарбоновой кислоты), запах которых наиболее точно соответствует характерному запаху ладана. При этом суммарная доля этих веществ составляет всего 0,2% от массы сухого ладана. Приступая к исследованию, ученые надеялись найти неизвестные ранее пахучие вещества. Чтобы выделить всего миллиграмм

Транс-ладановая кислота (слева) и цис-ладановая кислота (в центре) — вещества, придающие ладану его характерный запах.

Справа — цис-изокаскарилловая кислота, выделенная из кожуры цитрусовых в 2007 году



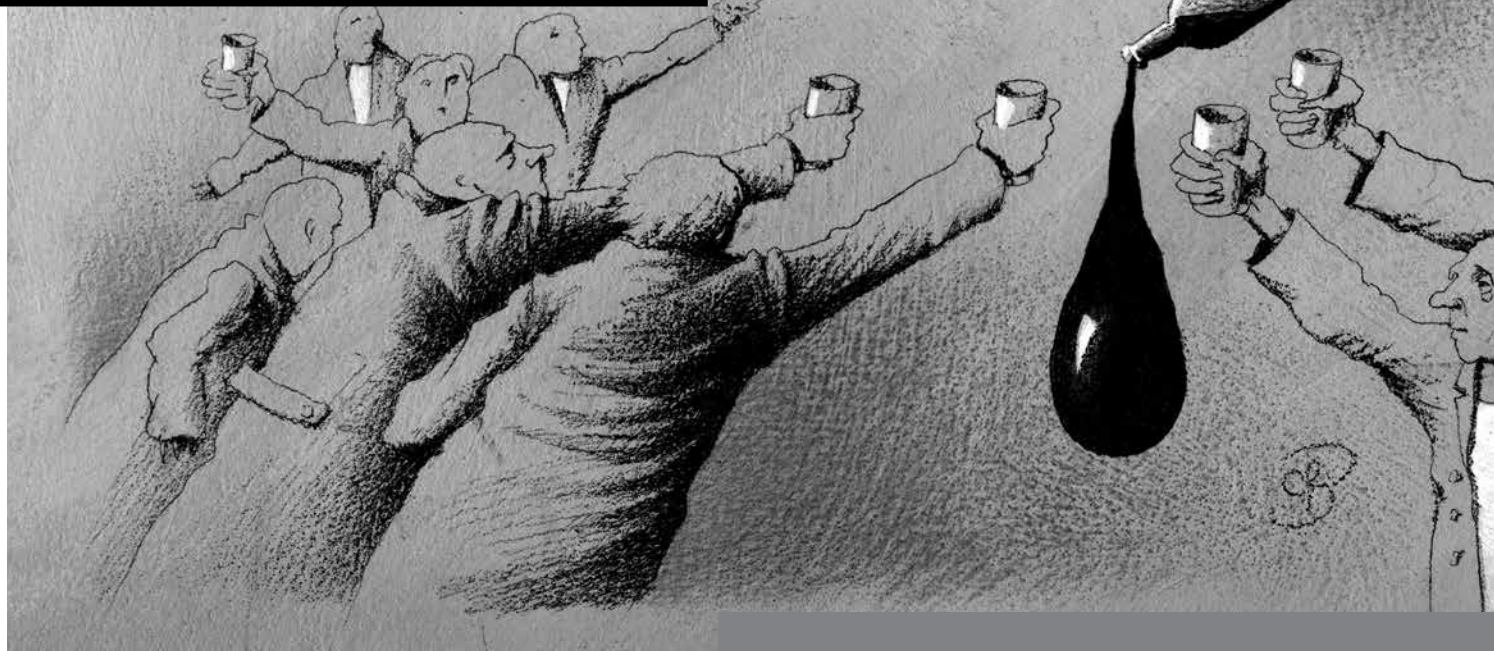
смеси ладановых кислот, им пришлось переработать 3 кг эфирного масла из коры ладанного дерева. Для проверки химики синтезировали четыре изомера ладановой кислоты, и результат подтвердил, что строение выделенных веществ определено правильно.

Молекулы, которым ранее приписывали запах ладана, на самом деле не обладают его характерным запахом, а многие из них вообще не пахнут. Единственный ранее идентифицированный одорант с ладановой ноткой — похожая по строению на ладановые кислоты цис-изокаскарилловая кислота (цис-2-гептилциклопропилкарбоновая кислота), выделенная из кожуры цитрусовых. Возможно, цис-2-гептилциклопропилкарбоновая кислота взаимодействует с теми же обонятельными рецепторами, что и ладановые кислоты, однако в ладане это вещество так и не было обнаружено.

Выпуск подготовил кандидат химических наук **А.И. Курамшин**



Текут века



Кандидат
физико-математических наук
С.М. Комаров

Длительные эксперименты ставят нечасто. Вот, например, почти вековой эксперимент по наблюдению за течением твердого битума проходит в Австралии, в фойе Квинслендского университета (Брисбен). Предпоследний наблюдатель, профессор Джейн Мейнстоун, вместе с начавшим эксперимент профессором Томасом Парнеллом в 2005 году стали лауреатами Игнобелевской премии по физике (Парнелл — посмертно).

Глядя на кусок строительного вара — а это как раз и есть твердая разновидность битума, в расплавленном виде его используют для герметизации крыш, — трудно заподозрить, что это не твердое тело, а жидкость. Мало того что он твердый на ощупь, он еще и хрупкий — раскалывается от удара молотком, а на обломках — острые ребра и зеркальные грани в местах откола. Однако пройдет некоторое время и грани потускнеют, а ребра оплывут. «Некоторое время» — в данном случае годы.

Чтобы продемонстрировать студентам необычные свойства обычных вещей, профессор Парнелл в 1927 году сложил битум в воронку и выставил ее в фойе университета. А в 1930 году из носика воронки показалась первая капля битума. Долгие восемь лет она собиралась с силами, прежде чем в декабре 1938 года упала в стоящий под воронкой стаканчик. С тех пор и по сей день это случалось еще семь раз: в феврале 1947 года, апреле 1954-

го, мае 1962-го, августе 1970-го, апреле 1979-го, июле 1988-го, ноябре 2000-го. Удивительно, но за 86 лет эксперимента — при всем прогрессе техники наблюдения — ни разу не удалось заснять момент отрыва капли. Вот полный драматизма комментарий профессора Мейнстоуна для газеты «The Weekend Australian» в 2001 году: «Восьмая капля упала в ноябре прошлого года, когда я был за пределами страны. К сожалению, высокотехнологичную цифровую память веб-камеры в этот знаменательный момент поразила амнезия. И это не единственная проблема. Начиная свой эксперимент в 1927 году, Парнелл не мог предвидеть, что во время созревания восьмой капли в университете решат смонтировать систему кондиционирования в двух больших аудиториях, выходящих в то самое фойе, где размещена установка. Это нарушило существовавший десятилетиями тепловой режим. В результате восьмая капля оказалась самой крупной, и в момент падения ей не хватило высоты до дна стаканчика, чтобы полностью оторваться. Теперь мы находимся перед чудовищной дилеммой. Девятая капля уже начала формироваться, и следует ли нам отрезать от нее восьмую либо поднять воронку на большую высоту или оставить эксперимент Парнелла как он есть?» Кстати, в этом интервью впервые прозвучало, что стоило бы присудить Парнеллу если не Нобелевскую, так хотя Игнобелевскую премию, установив заодно рекорд по времени между началом эксперимента и наградой экспериментатору. Игнобелевский комитет к этому мнению прислушался, и четыре года спустя долготерпеливые ученые получили свою награду.

Что же касается сомнений по поводу того, как поступать со слишком длинной каплей, похоже, исследователи все-таки решили ее срезать. Во всяком случае, девятая капля за прошед-



МЕМУАРЫ ИГНОБЕЛЯ

шие с тех пор 16 лет (вот как сказался кондиционер — скорость падения упала по меньшей мере в два раза!) уже достаточно выросла и готова в любой момент упасть, а до дна стаканчика ей еще тянуться и тянуться. Кстати, любой человек может увековечить свое имя в истории науки, если сумеет впервые за 86 лет зафиксировать момент отрыва капли. Для этого не нужно ехать в Австралию, достаточно следить за интернет-трансляцией опыта (<http://smp.uq.edu.au/content/pitch-drop-experiment>).

Опыт с каплей — не единственный длительный эксперимент, отмеченный Игнобелевским комитетом. В 2009 году премии в

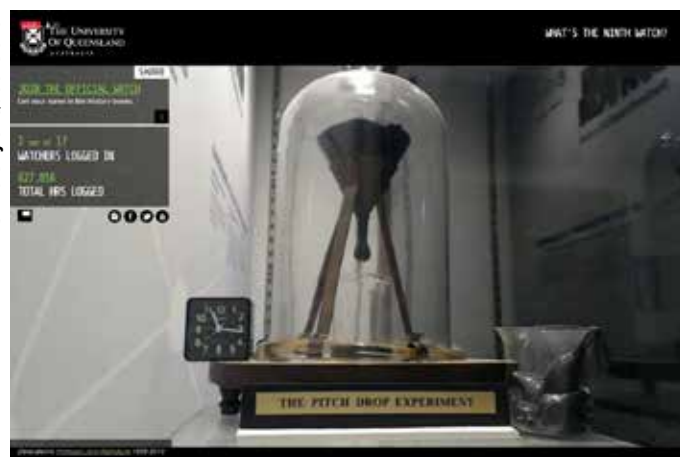
области медицины удостоился доктор медицины Дональд Унгер из калифорнийского городка Таузенд Оакс, то есть «Тысяча дубов». С детства и всю жизнь мама, тетки, а потом и теща говорили ему, что хрустеть пальцами нехорошо. Но они совершили стратегическую ошибку. В ответ на вопрос: «Почему нехорошо?» — не сказали: «Потому, что это дурной тон и раздражает окружающих». Нет, они прибегли к научным объяснениям — мол, если будет хрустеть, у него разовьется артрит. Механизм хруста известен: при растяжении суставов кисти из-за отрицательного давления схлопываются пузырьки пара в так называемой синовиальной жидкости — смазке суставов; предполагается, что такие микровзрывы для сустава бесполезны.

Научное обоснование дало эффект, противоположный ожидаемому. У мальчика разыгралось любопытство, и он мало того что стал медиком, но и начал проводить опыт: каждый день по несколько раз хрустел пальцами левой руки, а правой хрустел крайне редко, только если забудется. Опыт продолжался 50 лет, за это время было проведено 36 с половиной тысяч похрустываний пальцами левой руки. Результат полностью опроверг гипотезу родственников — артрит не поразил ни правую, ни левую руку. В заметке, опубликованной в журнале «Arthritis & Rheumatism» (2004, 41, 5, 949—950), Дональд отмечает, что аналогичный отрицательный результат ранее был получен в 1973 году, и указывает, что неплохо бы проверить и другие популярные легенды вроде пользы длительного употребления в пищу шпината. А та статья («Western Journal of Medicine», 1975, 122, 5, 377—379), написанная Рональдом Суизи и его сыном Стивеном, которому на момент исследования было 12 лет, весьма примечательна. Исследовав обитателей дома престарелых и детей из школьного лагеря, авторы выяснили, что, во-первых, подростки хрустят пальцами лишь немногим чаще, чем пожилые люди, а во-вторых, вероятность артрита в пожилом возрасте при сохранении дурной привычки не больше, а значительно меньше: 1 из 13 против 5 из тех 14, кто не смог припомнить, хрустел он пальцами или нет.

Рональд Суизи в комментарии к заметке Дональда Унгера отмечает, что опыт последнего был не совсем корректен, поскольку по правилам доказательной медицины нужен двойной слепой контроль, то есть участник эксперимента не должен был заранее знать, какая рука у него левая. Впрочем, считает Суизи, это поправимо, ведь 31% американских медиков не могут различить свои руки. Гораздо труднее, по его мнению, учитывать расу, пол, социоэкономический статус, то, насколько энергично совершаются движения, а также, скажем, атмосферное давление где-нибудь в Эквадоре в момент проведения опыта: столь масштабное исследование потребует серьезного финансирования. Однако предварительные данные свидетельствуют, что хрустеть пальцами не вредно, скорее, это средство профилак-



Профессор Менистоун думает: резать или не резать?



Девятая капля может упасть в любой момент. Тот, кто это заметит, войдет в историю

тики артрита. Во всяком случае, его сын, которому ко времени написания комментария исполнилось уже 34 года, продолжает хрустеть, несмотря на предостережения бабушки, и никакого артрита у него нет.

Еще одно длительное наблюдение, опровергающее расхожий миф, провели в XVIII веке — король Швеции Густав III решил научно обосновать борьбу с кофе. Пить кофе шведов научил еще Карл XII, который после поражения под Полтавой провел много времени в Блистательной Порте и там пристрастился к этому напитку. Не все его преемники разделяли эту страсть, считая ее опасной для здоровья, и в 1746 году, когда появился на свет будущий король Густав III, кофе в Швеции запретили. Поклонники кофе среди шведов, однако, остались. Чтобы разобраться в том, вреден кофе или нет, король помиловал двух близнецов, совершивших убийство, и заменил им смертную казнь пожизненным заключением с тем, чтобы один каждый день пил кофе, а второй — чай. До окончания эксперимента король не дожил — его вскоре убили заговорщики, умерли и два медика, наблюдавшие за заключенными. В итоге кофе оказался реабилитированным — первым, в возрасте 86 лет, скончался близнец, потреблявший чай. Однако мы не знаем точно, был это или вымысел: в качестве первоисточника удалось найти лишь заметку Ларса Бремера, лектора из Медицинской школы Свободного королевского госпиталя в Лондоне («British Medical Journal», 1996, 312, 6, 1539), которую теперь любители кофе перепечатают практически без изменений и, естественно, без всякой ссылки.

Вообще, длительные опыты в области медицины, зоологии, ботаники или сельского хозяйства проводятся с завидной регулярностью. Где-то внимательно следят за образом жизни участников исследования и его последствиями для здоровья, причем выводы зачастую имеют заметную маркетинговую направленность; скажем, китайцы не устают отмечать полезность потребления зеленого чая, французы — красного вина, а итальянцы — оливкового масла, то есть важных экспортных товаров каждой из этих стран. Где-то десятилетиями или даже веками наблюдают за популяцией животных. Селекционеры на протяжении многих лет изучают результаты своих трудов; агрономы, столетиями возделывая одну и ту же делянку, следят за истощением почвы и воздействием на этот процесс севооборота.

Некоторые длительные эксперименты направлены на изучение самих основ мироздания. Так, с февраля 1988 года в Мичиганском университете под руководством Ричарда Ленски наблюдают эволюцию живых существ. Для участия в эксперименте взяли хорошо известный лабораторный клон кишечной палочки и разделили на 12 баночек. Кишечная палочка хороша тем, что изучена вдоль и поперек, к тому же выбранный штамм не способен к половому процессу — не может обмениваться фрагментами генетической информации: ученые хотели быть уверенными, что каждая новая мутация передается только через деление клетки. Исходно, не было генетического разнообразия во всей культуре, за одним исключением — в половине баночек был мутант, приспособившийся перерабатывать арабинозу. Это нужно было для последующих опытов по сравнению популяций — мутант дает отличающуюся окраску при обработке красителем. Так началась эволюция двенадцати независимых линий.

Бактерии живут в питательном растворе, но их еды — глюкозы — в нем немного, только чтобы выжить. Ежедневно исследователи отбирают каплю этого раствора и переносят в новую баночку. Каждое 500-е поколение, а оно получается на 75-й день, замораживают для будущих исследований и время от времени проводят секвенирование генома. С начала эксперимента сменилось уже более 66 тысяч поколений. Бактерии постепенно приспособились к малому количеству еды — стали крупнее предков, причем конца процессу укрупнения не видно: он идет по степенному закону. Быстрее всего приспособление проходило в первые 2 тысячи поколений — это отражалось и на размере клеток и на их «здоровье» — скорости роста по сравнению с предковыми поколениями. В пятидесяти тысячом поколении



Фото Zachary Blount

Ричард Ленски отправляет в термостат очередное поколение кишечной палочки

одна из линий разделилась на две субпопуляции с большими и малыми колониями: первые процветали, когда глюкозы было относительно много, а вторые — когда ее почти всю съедали. Как и положено, у бактерий накапливались мутации. Интересно, что в трех линиях частота мутаций в ходе эксперимента возросла в 25 раз, что было связано с мутацией в гене, отвечающем за ремонт ДНК. Последствия в одной линии стали заметны невооруженным глазом: в поколении 33 127 раствор резко помутнел, что свидетельствует о быстром размножении бактерий. Оказалось, что они научились потреблять не только глюкозу, но и цитрат, — соль лимонной кислоты, концентрация которой была в 20 раз больше, чем глюкозы. Анализ предшествующих поколений показал, что мутация возникла в 31500-м поколении, в 32500-м мутанты заняли 19% популяции, в 33000-м почти вымерли, в 33127-м вытеснили всех немутантов. А в 45000-м поколении мутанты вымерли. Удивительно, но, имея на руках всю историю генетических изменений, исследователи не могут определить, с чем связаны такие резкие колебания. Более того, лишь к 2014 году стало более-менее ясно, накапливающиеся изменения в каких генах позволили бактериям усваивать цитрат.

Примерно в 2013 году (статью отправили в журнал позднее, в октябре 2015 года) этот результат вызвал новые споры. Группа исследователей во главе со Скоттом Миннихом из университета Айдахо очень быстро, за сто поколений, то есть за пару недель, заставили бактерий усваивать цитрат с помощью той же, бедной



Фото Brian Baer

Захария Блаунт после завершения очередного этапа долговременного эксперимента отдыхает на фоне колоннады из чашек Петри

питанием, среды («Journal of Bacteriology», 2016, 198, 1022—1034; doi: 10.1128/JB.00831-15). Естественным образом возник вопрос: отчего же в опытах Ленски такая способность появилась всего в одной линии за более чем десять лет? Последовавшая за этим дискуссия, по сути, оставила данный вопрос без ответа.

Какая же мораль следует из этой истории?

Опыт с каплей, особенно неспособность даже современной аппаратуры зафиксировать момент ее отрыва, ставит перед эпистемиологией — наукой о получении научных знаний — серьезнейший вопрос: как нужно наблюдать редко случающиеся явления и вводить их в область научного знания. В самом деле, если не удастся зафиксировать вполне ожидаемое явление, то как доказать реальность явления неожиданного, вроде пролета НЛО или появления снежного человека? Или, если не выходить за рамки научного знания, как зафиксировать момент появления нового патогена? История СПИДа свидетельствует, что надежного инструмента нет: синдром приобретенного иммунодефицита был описан в 1981 году, вирус открыт двумя годами позже, и лишь в 2007 году реконструировано его распространение, причем выяснилось, что вирус попал в человеческую популяцию еще в начале XX века. Иными словами, на протяжении десятилетий случаи ВИЧ-инфекции не фиксировались или диагностировались ошибочно, пока инфекция не перестала быть редким событием.

Современная наука построена на повторяющихся в разных лабораториях результатах. Но длительные опыты невозможно воспроизвести в обозримое время, поэтому трудно понять, что было не так в опытах Ленски с цитратом. К сожалению, никакой работающей методики для фиксации крайне редко случающихся явлений нет, что порождает домыслы и взаимные подозрения в нечистоплотности как в научной среде, так и в среде энтузиастов — любителей непознанного. Теперь-то очевидно, что причина конфликта в неразрешенности неких базовых вопросов философии науки.

Опыт с хрустением пальцами порождает другую серию вопросов: и в самом деле, насколько полезно есть условный шпинат? Какие из многочисленных советов диетологов и прочих специалистов сформулированы на основании «общих соображений», а какие подтверждены данными клинических испытаний? Очевидно, что многие предположения диетологов и рекомендации здорового образа жизни базируются не на упомянутых Суизи методах доказательной медицины, а на личном мнении неких авторитетов, а оно, как показывает история с хрустением пальцами и артритом, отнюдь не всегда справедливо.



Проблема Солнца — Земли

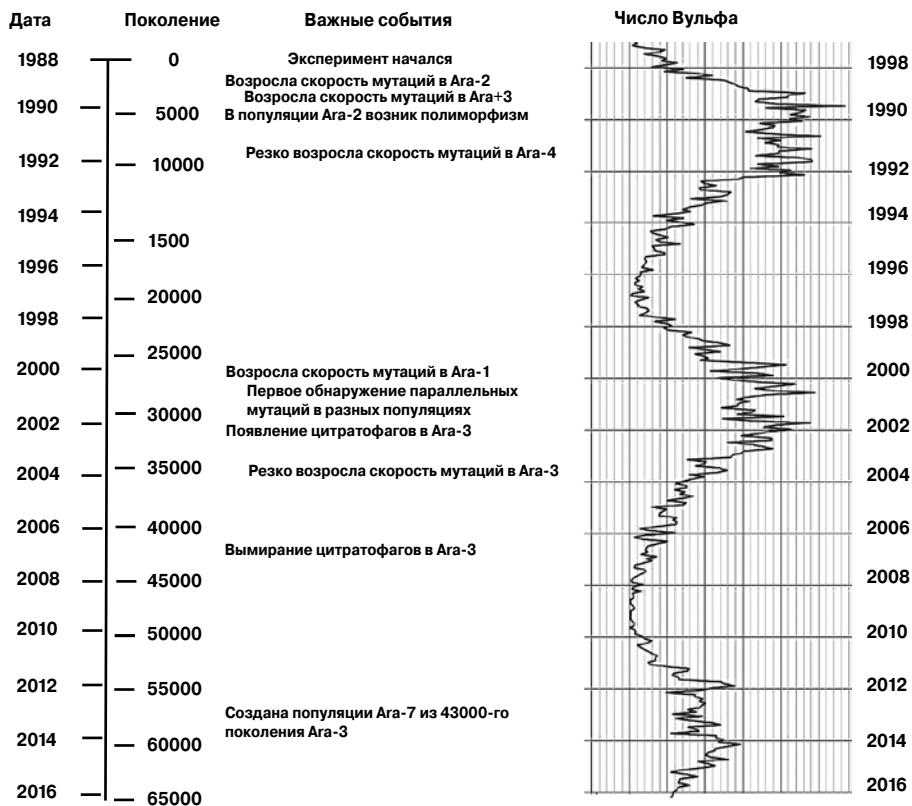
С.М.Комаров

Один из чрезвычайно запутанных вопросов современной науки: влияют ли циклы солнечной активности на Землю? Понятно, что вспышки оказывают сильное влияние и даже способны вызывать техногенные катастрофы — отключать связь, наводить сильные токи в протяженных металлических системах вроде трубопроводов и линий электропередачи. Но вот способны ли сами по себе вариации солнечной активности и связанные с ними изменения межпланетного магнитного поля и потока частиц от нашего светила вызывать изменения климата, способствовать революциям, провоцировать вспышки заболеваний? Несмотря на то что изучение солнечно-земных связей как научное направление появилось почти век назад стараниями А.Л.Чижевского, и его сподвижников, никакой ясности нет. Сторонники идеи указывают на некие корреляции солнечных и земных событий, но механизма предложить не могут, а большинство исследователей крайне скептически относятся к идее, что солнечная активность может как-то сказываться на результатах их экспериментов. В чем проблема: в отсутствии самого явления или в том, что слаба методическая часть — мы попросту не умеем проводить длительные эксперименты и обрабатывать их данные? Посмотрим с этой точки зрения на эксперимент Ричарда Ленски и его коллег.

В статье англоязычной Википедии приведен график наиболее важных событий, случившихся с культурой кишечной палочки за почти три десятка лет. График построил Захария Блаунт, коллега Ленски, который занимался исследованием ци-

tratoфагов. Как он сам говорит, — чтобы отметить события, интересные не для узких специалистов, а для широкой публики. Если убрать отсюда упоминания

о событиях вроде публикаций статей, то легко увидеть два пика их числа — на начальном этапе, в 1989 году, когда бактерии быстро менялись, приспосабливаясь к



Бактерии в эволюционном эксперименте Ричарда Ленски изменяются непрерывно. Однако порой среди этих плавных изменений случаются и какие-то яркие события, выбивающиеся из общей череды точечных мутаций. Эти события Захария Блаунт для удобства публики, желающей следить за их работой, представил в виде графика. Если сравнить получившийся рисунок (слева) с индексами солнечной активности, например числом Вульфа (справа), характеризующем пятна на Солнце, то окажется, что интересные события концентрируются на тех отрезках времени, когда Солнце проходит максимум очередного цикла

жизни в среде с недостатком глюкозы, и в 2002-м, когда некоторые бактерии проявили способность утилизировать цитрат. Удивительным образом эти пики совпадают с максимумами солнечной активности. В 2012—2014 годах, то есть в нынешний максимум солнечного цикла, важных событий не отмечено. Мы спросили об этом Захарию Блаунта, и он ответил, что обработка данных занимает много времени и результаты по данному периоду еще не готовы.

Интересно, что проявлением связи жизни бактерий с солнечной активностью может быть и вся загадочная история с появлением и гибелью мутантов-цитратофагов. С точки зрения Чижевского, нет ничего странного, что именно в максимум цикла активности, не раньше и не позже, у каких-то бактерий проявились скрытые способности и они изменили метаболизм, в сущности, без видимых причин. Ленски и Блаунт установили, что потреблению цитрата помогли три мутации. Одна, случившаяся в 20000-м поколении, облегчила появление цитратофагов в последующие четыре года. Нет ничего странного и в том, что в опытах Минниха эти способности проявились быстро: опыты-то проходили в максимуме цикла. Повторить бы опыт Минниха в 2018 году, когда будет минимум активности — если Чижевский прав, в таких опытах вероятность появления цитратофагов будет гораздо меньше.

К глубочайшему сожалению, фамилия Чижевского мало что говорит современным исследователям. А жаль. Ведь именно длительные эксперименты, длящиеся не менее 30—40 лет, способны дать какую-то информацию о солнечно-земных связях, особенно если искать именно их. Так уж сложилось в истории науки, что подобные связи если и открывают, то случайно, и научная общественность предпочитает побыстрее о них забыть. Примером может служить эффект Чижевского — Вельхова.

В начале XX века врач казанской инфекционной больницы С.Т.Вельховер долгие годы занимался рутинной — при подозрении на дифтерию брал образцы слизи у пациента и проводил тест: капал метиленовым красителем, и дифтерийная палочка окрашивалась в синий цвет. Результаты он педантично заносил в лабораторный журнал. Со временем набралась обширная статистика, и как-то само собой выяснилось, что цвет не всегда бывает синим — случаются и красные пробы. Причем чаще всего это происходит в годы максимума активности, а точнее, за несколько дней до вспышки на Солнце. Это явление получило название метакромазии. Причина изменения цвета окрашивания установлена — в клетке дифтерийной палочки есть зерна волютина, содержащие полифосфаты; изменение их структуры и меняет цвет. Что же, в свою очередь, изменяет полифосфаты, доподлинно неизвестно, здесь остается простор для толкований.

Вельховер переписывался с Чижевским, который, видимо, на основании его данных, высказал мнение: микробы — это главный индикатор солнечно-земных связей. Есть даже упоминания о книге Вельхова «Микроб и космос», но ее рукопись потерялась. В 30-х годах Чижевский подготовил программу международных наблюдений, где предлагал провести в разных лабораториях опыт по изучению эффекта Вельхова. К сожалению, нет никаких сведений о том, были ли проведены опыты, а эффект Вельхова ныне вспоминается в специфической литературе групп, исследующих солнечно-земные связи; в этих кругах эффект объясняют влиянием на структуру полифосфатов изменений геомагнитного поля, ссылаясь на корреляции в изменении цвета окрашивания и ритмов солнечной активности. Другой незаслуженно забытый эффект — обнаруженное С.Э.Шнолем изменение скорости титрования раствора аскорбиновой кислоты в разные фазы солнечного цикла.

Нельзя сказать, что длительные опыты по выявлению солнечно-земных связей совсем уж не проводят. Вот, например, Роберт Сотерн, ныне сотрудник Центра хронобиологических исследований Миннесотского университета, поставил уникальный опыт на себе: в возрасте 20,5 лет начал ежедневно по пять раз в день измерять кровяное давление, повторяя каждое измерение трижды, и делал это практически непрерывно на протяжении трех циклов солнечной активности — с 1967 по 2002 год. В результате набралось 174 тысячи измерений. Что делать с этим богатством, неясно: набор инструментов для изучения корреляций величин, получаемых в длительных рядах измерений, у современной науки крайне ограничен. В таких рядах неизбежно возникает множество паразитных ритмов, самый сильный из которых — сезонный; они мешают различить главный ритм. Нужно придумывать, как избавляться от шума, не потеряв при этом важные данные, а потом убедить коллег, что эти данные существуют, а не представляют собой артефакты. Автор эксперимента («Scripta Medica», 1 апреля 2005 года, 78, 2, 107—114) не нашел ничего лучше, чем посчитать отклонения давления от среднего годового значения, и построил годовые графики ежемесячных отклонений от этого среднего. Получились наборы гистограмм с очевидными сезонными колебаниями давления. Стало видно, что гистограммы для годов минимума и максимума активности отличаются. И что это дает? Практически ничего, лишь намек на некие странности в поведении измеряемой величины, а отчего эта странность возникла — строго говоря, неизвестно, то ли действительно причина в пятнах на Солнце, то ли еще в чем.

На крысах опыт в три десятилетия не поставишь, максимум — два года. Но можно провести эксперименты на группе из нескольких животных. Вот, например,

исследователи из Тюбингенского университета обнаружили вполне ожидаемые сезонные колебания содержания в ночной моче крыс сульфатоксимелатонина — метаболита гормона мелатонина, отвечающего за суточные ритмы. («Current Aging Science», 2012, 5, 3, 186—194). Однако, по какой-то причине, они не удовлетворились одной серией опытов, а повторили их четыре раза — в 1997—1999 годах, 1999—2000, 2003—2004 и 2005—2006. Таким образом, два опыта были до максимума солнечной активности, а два — после. В каждой повторности участвовало по 12 крыс, и у всех сезонные колебания искомого вещества были замечены. Казалось бы, ничего особенного тут нет. Но дело в том, что в первом опыте размах колебаний составил 30%, во втором — 40%, в третьем — 20%, а в четвертом и вовсе 15%. При этом максимум пришелся соответственно на июль-1998, сентябрь-2000, апрель-май-2004 и июнь-2006. Авторы опыта, сравнив данные с индексами солнечной активности, пришли к выводу, что во всем виноваты изменения горизонтальной компоненты геомагнитного поля.

Однако главный вопрос не в этом, и он бы не возник, будь серия опытов одна. Но при полученном разбросе данных становится неясным, какое значение колебаний и какой месяц максимума принимать во внимание в дальнейших исследованиях? Представим себе, что опыт поставлен корректно и отражает объективную реальность, а не, скажем, изменения в рационе крыс, смену светильников на светодиодные или работу нового кондиционера. Вот поставили бы его в одной лаборатории в 1997 году, а в другой стали бы проверять в 2003-м. Вышел бы полный конфуз: размах колебаний различается в два раза, а максимум приходится то ли на весну, то ли на осень. Наверное, из таких опытов последуют совершенно различные выводы о физиологии крысы.

Отсюда становится понятным, отчего ученые так не любят думать о солнечно-земных связях. Как правило, большинство экспериментов длятся дни, недели, от силы месяцы. Если вдруг оказывается, что физические, химические или биологические явления идут с разной скоростью на разных фазах солнечного цикла, получается, что вожденная воспроизводимость экспериментов может быть для некоего класса явлений принципиально недостижимой. То есть она, может быть, проявится, но только при повторении опыта через 11 лет, на той же фазе солнечного цикла. Современная наука принципиально не способна учитывать это обстоятельство. Но ведь, как знать, возможно, это позволило бы объяснить многие парадоксы, а в некоторых случаях и восстановить доброе имя ученого.



Квантовый катализатор

С помощью света удалось приделать к графену водород и кремний.

«Nature Communications», 2016, 7, 12962; doi: 10.1038/NCOMMS12962

Обычно реакции с углеводородами, особенно высокостабильными ароматическими, то есть содержащими бензольное кольцо, проходят трудно и с помощью металлических катализаторов. Однако если решать проблему не в лоб, а с умом, то можно найти обходной путь. Шведские химики из лаборатории Ангстрема в университете Упсалы под руководством профессора Хенрика Оттоссона, чтобы найти такой путь, применили квантовую химию — рассчитали, как перевести ту или иную молекулу или ее часть в возбужденное состояние с помощью кванта света.

Ароматичность молекулы определяется выведенным еще в 1931 году правилом Хюккеля — число π -электронов должно составлять $4n+2$, где $n = 0$ или любое целое число. Однако в 1971 году квантовый расчет Колина Байрда создал новое правило: в возбужденном, так называемом триплетном состоянии ароматичность сохраняется, когда число π -электронов составляет $4n$. Таким образом, если в норме молекула подчинялась правилу Хюккеля, при переходе в триплетное состояние она не сохранит ароматичность — ее реакционная способность возрастет во много раз. Химики долгое время не слишком интересовались правилом Байрда, а вот профессор Оттоссон с коллегами сумели его использовать и создали катализатор, который отлично работает с ароматикой. Впрочем не только с ней, ведь циклы из шести атомов углерода есть в таком интереснейшем материале, как графен. Именно к нему удалось приделать водорода. Для этого лист графена помещали в муравьиную кислоту (источник водорода), выставляли на солнечный свет (а дело было на Крите), и водород за сутки без всякого катализатора оседал на углеродных шестиугольниках.

Аналогично, удалось присоединить и молекулу триэтилкремния

Исследователи надеются, что эта красивая реакция пригодится и для создания графеновых устройств хранения водорода, и для изменения электронных свойств графена. Не исключено, что слой водорода будет препятствовать и его графитизации — слиянию нескольких листов в монолит. А эту проблему придется решать, если графен когда-нибудь станет основой не электронных устройств, а сверхпрочных и сверхлегких канатов.

В з а р у б е ж н ы х л а б о р а т о р и я х

Фуллерен не нужен

Перед полимерными батареями открылись новые возможности

«Nature Energy», 2016, 1, 16089; doi: 10.1038/nenergy.2016.89

Органическая солнечная батарея состоит из полупроводникового полимера, смешанного с фуллеренами. Роль этих компонентов такова. Солнечный свет возбуждает в полимере так называемые экситоны — квазичастицы, представляющие собой локализованное возбуждение электронного газа. Для того чтобы это возбуждение стало электрическим током, его надо разложить на электрон и дырку. Это делает фуллерен, но делает плохо, требуя больших затрат энергии, чем снижает эффективность преобразования света в электричество.

Большая группа исследователей, возглавляемая Гао Феном из Линчепингского университета, Яном Хэ из Гонконгского университета и Кенаном Гандогбу из университета Северной Каролины, решила избавиться от фуллерена, заменив его короткими молекулами еще одного полупроводника. Эта замена оказалась чудодейственной: экситоны прекрасно распадались, давая свободные носители зарядов, причем эффективность такой полностью полимерной батареи выросла до 9,5%. А значит, всего полпроцента осталось до границы, за которой солнечная батарея нового типа имеет шанс выйти за пределы лаборатории, и специалисты начнут всерьез рассматривать возможность ее опытного производства.

В з а р у б е ж н ы х л а б о р а т о р и я х

Сшивая нервы

Известное лекарство поможет при травме спинного мозга

«Neuron» 2016, 92, 2, 419–434; doi: 10.1016/j.neuron.2016.09.026

Перелом позвоночника, при котором разрываются нервные волокна, приводит в лучшем случае к инвалидности. Хотя время от времени появляются сообщения, что нервные окончания удалось как-то соединить, за пределы исследовательских лабораторий такие методы пока не вышли. Однако на ранних стадиях развития эмбрионов нейроны позвоночного столба прекрасно отращивают свои аксоны, проводящие сигналы от мозга к мышцам.

«Видимо, нейрон прекращает отращивать аксоны, как только они достигают соседнего нейрона. Нашей целью было найти механизм такого торможения», — поясняет основную идею руководитель работы профессор Франк Брадде из Немецкого центра нейродегенеративных болезней. Методами биоинформатики они стали искать ключевой ген, ответственный за механизм. В конце концов, кандидат был найден — ген *Caspa2d2*, участвующий в формировании и функционировании синапсов. В частности, кодируемый им белок входит в большой комплекс, запирающий кальциевые каналы в мембране клетки.

А дальше исследователи взяли препарат «прегабалин», который давно применяют именно для регулирования кальциевых каналов (например, при травмах позвоночника — для снятия болей), и под его воздействием у крыс с поврежденным позвоночником стали восстанавливаться связи между клетками. К сожалению, препарат, не подготавливая о его дополнительном действии, дают пациентам слишком поздно: чудесный эффект наблюдался лишь через небольшое время после травмы. «Использование давно одобренного препарата облегчает появление нового метода лечения. Но это не все. Некоторые противораковые препараты, вызывающие рост микротрубочек — элементов цитоскелета, — также способствуют росту аксонов. Мы пока не знаем, связаны ли оба найденных нами механизма между собой или нет», — говорит профессор Брадде

В з а р у б е ж н ы х л а б о р а т о р и я х

Измеритель пьянства

Создан пластырь, который предупредит человека, что он пьян.

Агентство «NewsWise», 17 октября 2016 года

Пьян ли человек? Согласно анекдотам, одни определяют это по степени покраснения глаз, другие — по всплывшему из желудка огурцу. На практике полезно подышать в алкотестер, особенно если предстоит поездка на автомобиле. Но все эти методы несовершенны, и приборные тоже: только представьте, что ваш алкотестер отградуирован не так, как у сотрудника полиции, следящего за безопасностью движения. В спорных случаях помогает лишь анализ крови. А можно ли его провести на дому, до конфликтной ситуации?

Американские инженеры из Национального института биоинженерии и биоинженерии во главе с Сейлой Селимович и их коллеги из Калифорнийского университета в Сан-Диего придумали для этого специальное устройство. Оно похоже на небольшой кусочек пластыря, крепится прямо на кожу в незаметном месте, но это совсем не пластырь. В нем есть химические вещества, которые способствуют появлению пота под ним, и датчик, фиксирующий содержание спирта в поте. А оно однозначно связано с концентрацией спирта в крови. Анализ занимает всего восемь минут, и его результат поступает на сотовый телефон клиента. Поскольку прибор выглядит как татуировка, человек может незаметно для окружающих получить объективную информацию о собственном опьянении и сделать выводы — прекратить пить либо отказаться от поездки за рулем. По крайней мере, исследователи верят в человеческое здравомыслие и надеются, что новое устройство поможет сохранить многие жизни и судьбы.



Дыхание революции

С.Анофелес

Отчего революции начинаются с самыми благими намерениями, а потом зачастую на смену более-менее либеральному правлению приходит радикальный режим с репрессиями? Так было и после Великой французской революции, и после Великой Октябрьской, и после немецкой национал-социалистической. Так случилось и совсем недавно, например, в ходе исламских революций в Афганистане, Ливии, Сирии и Ираке. Случайность это или закономерность? Современная наука может ответить на этот вопрос, поверив алгеброй общественную гармонию, то есть провести расчет революции. Один из таких расчетов сделал в 2016 году Теохарис Григориадис из Свободного Берлинского университета («Journal of Policy Modeling», 2016, doi: 10.1016/j.jpolmod.2016.02.012).





Потратить его он может не только на свои личные причуды или потребности — нужно еще содержать государственный аппарат, в том числе репрессивный. Но и народ хочет получать свою долю общественного продукта и согласен терпеть государя с его репрессивным аппаратом, ограничениями свобод и изъятием трудового дохода лишь до поры до времени. Время это наступает, когда ожидаемая народом доля общественного богатства оказывается меньше, чем получаемая. Как быть государю, как избежать установления радикального правительства, если народ весь доход забирает себе, не оставляя ему ничего?

Здесь возможны варианты, и выбор стратегии зачастую зависит от того, на каком уровне по потребности народа в общественном продукте находится государство: низком или высоком. В простейшем случае и правитель, и его подданные живут одним днем, то есть модель не учитывает никаких надежд на будущее, все забывается сразу. Формально такая модель поведения называется цепью Маркова — последовательность случайных событий, в которой каждое следующее зависит от настоящего, но не зависит от предыдущего. Параметрами модели будут доля продукта, которую государь отдает народу, доля, идущая на содержание административного аппарата, потребность народа в общественном продукте, а также его готовность совершить переворот. Все эти параметры, заданные для одного момента, некоторым образом меняются в следующий момент, и в результате возникают диспропорции. Например, установленная на предыдущем шаге выплата общественного продукта народу перестает соответствовать его потребности, воспринимается как слишком маленькая, что создает условия для перехода в радикальный режим. Эту модель можно превратить в компьютерную программу или разобрать аналитически, определив некие критические значения переменных, при которых случаются те или иные события. Именно это сделал Григориадис и получил интересные результаты.

Золото для народа

Как оказалось, когда удовлетворить потребности народа в общественных выплатах относительно просто — они меньше, чем затраты на силовые структуры, то и выплачивать народу ничего не нужно — пусть он живет своим трудом без помощи государства. То есть государь присваивает себе весь общественный продукт и тратит его на свои нужды. Как ни странно, в такой полноценной деспотии существует социальная гармония: никто на переворот не решается. В рамках модели гармония непостоянна: могут вырасти претензии народа на общественный продукт либо уменьшиться возможности нести затраты на поддержание порядка. Тогда наступает время перемен. Если государство находилось в этот момент в низком состоянии, то есть народ довольствуется малой долей общественного продукта, то ничего особенно страшного не происходит: деспот вполне может нарастить выплаты, потеряв лишь долю средств, а не свое место на престоле.

Бег царя

Согласно древнегреческой традиции, жизнь базилевса героического периода, то есть еще до Троянской войны, была трудна. Каждый год ему приходилось участвовать в обряде под названием «бег царя»: без оружия подойти к дереву, которое охранял воин с копьем, и сорвать с него ветку. В случае неудачи народ получал нового базилевса. Эта традиция в прямом виде исчезла, но и по сей день государи вынуждены постоянно демонстрировать чудеса ловкости, чтобы удержать власть. Если математически формализовать довлеющее над ним проклятье, то получится следующая оптимизационная задача. Валовой продукт государства состоит из заработной платы трудящихся и некоего общественного продукта, который государь присваивает, а потом делит между собой и народом: это некие общественные фонды потребления — от социального страхования до прямого госфинансирования проектов. Условный государь (а это может быть не только личность, но и весь правящий класс) заинтересован в том, чтобы оставить себе максимум общественного продукта.

Такая стратегия — заткнуть недовольным рты с помощью золота — не раз применялась на протяжении истории человечества, подробно описана в литературе и в виде подкупа избирателей успешно работает до сих пор. Удивительным образом разрешается ситуация, когда у власти находится либеральный правитель, и так дающий народу большую долю продукта. Если потребности у населения растут, то государь может не справиться с выплатами, а народ, видя его беспомощность, — потерять надежду на светлое будущее; в этом состоянии любая случайность способна привести к революции и установлению радикального режима. Спасения для такого государя нет.

Если же ввести в рассматриваемую модель «память», то у него появляется способ предотвращения тяжелых последствий: при угрозе установления радикального режима нужно заранее жертвовать своим карманом и заливать деньгами не грядущий протест, а его зародыши. При этом государь попадает в тяжелую ситуацию, ведь впоследствии сократить выплаты будет сложно, а потратившись на успокоение народа, он не сможет нарастить репрессивный аппарат. Такой вариант, с надеждой на светлое будущее, Григориадис также рассматривает, однако это уже более сложные правила игры.

Игры в модернизацию

У правителя есть три способа предотвратить установление радикального режима. По терминологии Григориадиса, это отказ от развития (тогда выплаты народу всегда будут на низком уровне), прибегнуть к модернизации (при этом выплаты могут стать наибольшими из возможных) или остановиться на централизации с промежуточным значением уровня выплат. Происхождение терминов понятно. Если государь пускает весь общественный продукт на свои удовольствия, то в развитие общества ему нечего вкладывать, взятые у общества средства омертвляются в тех же сокровищах. Хорошо, если у народа есть средства на развитие, а если все изъято в казну, этих средств не остается — норма же изъятия средств зависит от типа общества: коллективистское или индивидуалистское, речь о разнице между которыми пойдет ниже. Централизация обеспечивает некоторое развитие, но благодаря большим затратам на административный аппарат государь может быть не слишком щедрым в тратах госсредств на нужды общества. Модернизация означает, что государственные средства возвращаются в экономику, способствуя ее развитию. Соответственно рента государя в первом случае максимальна, а во втором — минимальна. Народ, естественно, всегда стремится получить максимум, как при модернизации, но что может предпринять государь, какие ограничения на его действия оказывают изменившиеся правила игры?

Если он выбрал модернизацию, то есть высокие выплаты народу, то отказаться от своих слов он уже не сможет, иначе привыкшие получать высокую долю общественного продукта подданные его не поймут. Наоборот, при недоразвитии государь в качестве меры устрашения может вообще отказать народу в выплатах из общественных фондов и таким образом купировать зарождающийся протест с помощью шантажа: дальше, мол, будет еще хуже. Поскольку подданные не теряют надежды, что когда-нибудь выплаты вырастут, они не склонны к революции. При централизации государь предотвращает революцию обещанием никогда не возвращаться к практике недоразвития с минимальными, а то и нулевыми выплатами. Фактически, как указывает Григориадис, это ситуация в РФ в период правления В.В. Путина и нынешняя ситуация в КНР. Видимо, предыдущие периоды — правление Б.Н. Ельцина у нас или культурная революция в КНР — у него ассоциируется с состоянием недоразвития.

Вот как разрешается игра с этими параметрами. Если подданные находятся в таком состоянии, при котором они не склонны к бунту — например, средств на выплаты из общественных фондов требуется меньше, чем на содержание ад-

министративного аппарата, — то правитель всегда выбирает наименее затратные для него возможности недоразвития или централизации. Выбор зависит от того, каков уровень его ренты в каждом рассматриваемом случае. Если же возникает риск революции, тогда перед государем два пути — недоразвитие и модернизация, выбор между которыми опять же зависит от уровня ренты. Когда этот уровень ниже критического, то есть выплаты народу довольно высоки, государь должен выбрать недоразвитие и наказать подданных за возможную нелояльность: сократить или совсем отменить общественные выплаты, аргументируя свои действия тем, что денег нет, но держаться надо. Получается своего рода шоковая терапия: при ухудшении ситуации в текущий момент народ живет надеждами, что в будущем все исправится и станет даже лучше, чем было, отчего начинает энергично трудиться, отгоняя мысли о бунте. Если же рента высокая, то государь вполне может позволить себе увеличить выплаты народу до того уровня, который Григориадис называет модернизацией, сократив свою ренту. А вот промежуточный сценарий централизации не удовлетворит подданных в обоих случаях — они обратят внимание, что доход государя велик непропорционально возникшим обстоятельствам; надежды на то, что в будущем справедливость восстановится, призрачны; стало быть, надо не затягивать пояса, но устроить революцию.

Помимо варьирования величины ренты, у правителя есть еще один инструмент — уровень административного контроля, то есть затраты на содержание репрессивного аппарата. Как ни странно, если возможности для такого контроля велики, государь выбирает централизацию, поскольку при этом получается оптимальное сочетание относительно высокой ренты и выплат народу из общественных фондов (последнее призвано снизить вероятность революции в будущем). Если же государь не до конца уверен в способностях силовиков сдерживать бунт, то ему надо выбирать недоразвитие: наказывать народ рублем и гасить недовольство обещанием в будущем увеличить выплаты. При слабом уровне контроля ему ничего не остается, как сокращать свою ренту, отдавая средства и экономическую инициативу в руки народа, то есть проводить политику модернизации.

Причина революции – в религии?

Базовый параметр всех этих игр — критический уровень потребности народа в выплатах из общественных фондов. У Григориадиса есть интересная интерпретация качественного определения этого уровня: он зависит от того, какая религиозная система присуща обществу. Эти системы он разделяет на две группы: коллективистские религии — православие, католицизм, ислам, и индивидуалистические — иудаизм и протестантство. При этом он предполагает, что структура религиозных организаций неизбежно отражается и в государственном устройстве. Так, в основе коллективистских религий лежит монастырское общежитие. Его характерная черта — приоритет вертикальных связей над горизонтальными: настоятель монастыря никак не зависит от рядовых монахов, его назначает епископ или патриарх, перед которым настоятель и несет ответственность. У монахов нет никакой собственности, они ничем не могут распоряжаться, лишь выполняют наложенное на них настоятелем послушание, а продукты их трудов идут монастырю как единому целому. Иначе говоря, в монастыре происходит централизованное управление общественной собственностью по утвержденному наверху плану с последующим распределением общественного продукта.

В индивидуалистических религиях все не так. Там нет общественной владения собственностью и единоначалия, соответственно и доля общественного продукта, подлежащего распределению между членами общины, невелика, и власть распределителя менее значима. С другой стороны, поскольку

у членов общества отбирают меньшую долю произведенного ими, общество менее зависимо от централизованного распределения ресурсов, нежели в коллективистском монастыре.

Если вернуться к проанализированным выше моделям, в коллективистских обществах потребность в общественных выплатах оказывается гораздо выше. Причина не в том, что члены таких обществ ленивы и хотят жить за чужой счет под покровительством самодержца. Просто-напросто общественные фонды забирают у них столько произведенного продукта, что выплаты из этих фондов становятся вопросом выживания. Однако в такой ситуации государю труднее купить лояльность народа: если выплаты и так велики, мероприятие становится весьма затратным. Именно поэтому, как считает Григориadis, в католических, православных или мусульманских странах революционные волнения с установлением радикальных режимов случаются гораздо чаще, чем в индивидуалистских — протестантских или иудаистских.

А что на практике?

Коллективистское общество, основанное на монастырском устройстве, было создано в Византии, где роль патриархии была огромна и, как отмечал Л.Н.Гумилев, повелитель ромеев был лишь одним из прихожан храма Святой Софии. Пользуясь своим влиянием, патриархия накладывала этические ограничения на произвол феодальной элиты, заставляя ее учитывать нужды простолюдинов при распределении общественного продукта в масштабах государства. Таким образом, именно там православная церковь стала посредником между государством и низшими слоями общества: она защищала бедных и угнетенных, при этом получая от государства немалую долю общественного продукта. Подобная симфония церкви и светской власти передалась по наследству в Киевскую, Владимирскую, а потом и Московскую Русь. При развитии системы монастырей в ордынский период, прежде всего Троице-Сергиевой лавры, как отмечает Григориadis, именно монастырская система организации хозяйства оказалась доминирующей и стала прообразом экономики Московского великого княжества, а потом и царства. И действительно, монастырское хозяйство зачастую оказывалось эффективнее княжеского, примером служит деятельность святого Иосифа Волоцкого (начало XVI века), который не раз спасал тысячи окрестных крестьян от голодной смерти монастырскими припасами. Ему же, как эффективному хозяйственнику, принадлежит и победа в споре со сторонниками бедной церкви — заволжскими старцами Нила Сорского: монастырь, по Иосифу, должен быть достаточно богатым, чтобы выполнять государственные функции, то есть аккумулировать, а потом распределять общественные богатства.

Пришедшие в ходе смуты к власти Романовы, пишет Григориadis, от этих православных идей отказались и стали фактически внедрять протестантские методы государственного управления с присущим этому вероучению индивидуализмом. В результате православные этические обязательства с правящего класса были сняты, монастырские земли конфискованы, что подорвало экономические возможности церкви, и она стала колесом государственной машины, утратив функции защитника бедных. Так сложилась двухслойная система общества — верхушка с протестантскими взглядами на жизнь и низы с традиционным православием, то есть склонные к коллективизму. Неудивительно, что в конце концов это привело к формированию радикального режима коллективистской советской власти — своего рода реваншу низов с православным самосознанием против чуждых протестантских нравов.

А как выглядит революция с точки зрения теории Григориadisа? Вот так. Поражения в Русско-японской и трудности



Первой мировой войны, приток разоряющихся крестьян в города в процессе предвоенной индустриализации резко увеличили надобность в общественных выплатах, однако царская администрация не могла их делать в должном объеме и в качестве альтернативы пыталась усилить административный контроль. Привести его в соответствие с потребностями в выплатах не удалось, и возникла опасность перехода государства в радикальный режим. Из-за возникшей политической неустойчивости положение царской власти в феврале 1917 года было нарушено достаточно случайными переборами с отовариванием хлебных карточек в Петрограде. Дальнейшие события — начавшийся распад страны, армии, крах экономики — потребовали еще сильнее увеличить общественные выплаты, уровень же административного контроля резко снизился. Это сделало переход в радикальный режим неизбежным, вопрос был лишь в том, кто станет изымать, а потом распределять общественный продукт — военная диктатура во главе с какими-нибудь революционным генералом вроде Л.Г.Корнилова, А.И.Деникина или А.В.Колчака, бонапартистская диктатура крупной буржуазии А.Ф.Керенского или невиданная ранее диктатура пролетариата. Последний вариант возглавленное В.И.Лениным коалиционное правительство большевиков с левыми эсерами и стало реализовывать в октябре 1917 года.

Сходным образом события развивались и при Иранской революции 1979 года. Шах пытался удержать ситуацию под контролем за счет сочетания больших общественных выплат в соответствии с мусульманской традицией и высокого уровня административного контроля. Однако в стране шла модернизация, и по мере развития промышленности и миграции людей из деревень в город потребность в выплатах росла гораздо быстрее, чем позволяли возможности экономики. Это и привело к установлению радикального исламского режима.

Похожие процессы наблюдались во время событий арабской весны 2011—2014 годов. Режимы в Тунисе, Египте, Ливии, Сирии отнюдь не отказывали народу в общественных выплатах, однако по мере развития общества имеющийся уровень стал казаться народу слишком маленьким, а нетрудовые доходы правительства чрезмерно высокими. Все перечисленные режимы попытались решить задачу за счет усиления административного контроля — в терминах Григориadisа, предприняли централизацию. И в полном соответствии с моделью потерпели крах, приведя страну в радикальное состояние. В Тунисе и Египте ситуацию быстро отыграли назад, с Ливией и Сирией этого сделать не удалось — события зашли слишком далеко.

А вот послевоенная Западная Европа сумела избежать перехода к радикальным режимам, и опять в соответствии с моделью Григориadisа: ни во Франции, ни в Италии не стали усиливать административный контроль, зато резко увеличили выплаты из общественных фондов, создав социально ориентированный капитализм, который сумел противостоять социалистическим странам с их также высоким уровнем социальной защиты.





Только подпоясаться

На протяжении многих веков вещи служили людям долго. Хорошие ножи, парадные платья, не говоря уж о мебели, передавались по наследству через несколько поколений.

Чем выше было социальное положение человека, тем больше у него было движимого имущества. Помните у Пушкина в «Евгении Онегине» описание поездки не слишком богатых дворян Лариных в Москву?

*Обоз обычный — три кибитки
Везут домашние пожитки,
Кастрюльки, стулья, сундуки,
Варенье в банках, тюфяки,
Перины, клетки с петухами,
Горшки, тазы et cetera,
Ну, много всякого добра.*

С другой стороны, смена местожительства и рода деятельности были событием, которое случалось нечасто, реже чем раз в поколение. Поэтому

даже нищий по нынешним меркам крестьянин, решившись бросить старый надел, тащил с собой телегу скарба, к которой была привязана корова. Впрочем, и кочевник, меняя место стоянки, гнал с собой стадо, которое его кормило, вез разобранную юрту и выюки с необходимым снаряжением.

Индустриальная эпоха все изменила. Сейчас большая часть людей работает по найму, и то, посредством чего они

зарабатывают деньги, им не принадлежит. Поэтому при смене нанимателя рабочему не надо тащить с собой контейнер с инструментом, на новом месте найдется не хуже.

В то же время общество потребления изменило отношение к личным вещам. Сейчас почти все вещи делаются в расчете на ограниченный срок эксплуатации. Так выгоднее для производителя. Поэтому тащить с собой, например, мебель при переезде не имеет смысла. А если люди живут на съемных квартирах, то зачастую пользуются мебелью, предоставленной квартирным хозяином. Почти как в гостинице.

Постепенно отходят в прошлое и такие вещи, как личные библиотеки, фонотеки и альбомы с семейными фотографиями. Все это хранится в цифровом виде, причем даже не дома, а на каких-нибудь серверах социальных сетей. То есть и компьютер или смартфон можно поменять в любой момент, не теряя своего цифрового архива.

Развитие общепита и производства полуфабрикатов может сделать ненужной и кухонную посуду. Фактически единственное, без чего не может обойтись в современном мире человек, это некоторое количество одежды. Но и одежда уже не переходит от бабушек к внукам, а рассчитана на один-два сезона, после чего начинает изнашиваться. Кроме того, людей постоянно заставляет менять одежду меняющаяся мода. Особенно тех, кого «по одежке встречают», кому жизненно необходимо продемонстрировать свой статус.

Если предположить, что дальнейшее развитие в этом направлении пойдет туда, куда уже идет развитие в смежных областях, следует ожидать распространения одноразовой одежды, которую не стирают, а просто выкидывают, когда загрязнится. Примерно такое общество описано в романе Станислава Лема «Возвращение со звезд». Там одежду формировали, абригивая что-то вроде неопрена из аэрозольных баллончиков прямо на тело.

Конечно, сейчас у многих есть еще и автомобиль. Но перегруженность мегаполисов автомобильными пробками приводит к тому, что во всех развитых и многих развивающихся странах государство активно борется с автомобилизацией, пропагандируя общественный транспорт.

С учетом всех налогов, оплаты парковки, оплаты платных дорог содержание автомобилей становится почти столь же затратным для типичного горожанина, каким лет сто назад было содержание конного выезда. Тогда выезд могли себе позволить только очень богатые люди, а остальные пользовались извозчиками. С появлением робоводителей, которые

ожидаются буквально в ближайшие годы, такси может стать существенно привлекательнее личного автомобиля. Ему не надо искать парковку ни около дома, ни около офиса. Вызвал его, доехал куда надо и отпустил. Даже сейчас, когда при этом приходится оплачивать еще и труд водителя, многие небедные люди уже предпочитают такси. А когда и такси, и личную машину будут водить одинаковые роботы...

В современной России основное препятствие для свободного перемещения людей — неразвитость рынка жилья. Трудно его продать и трудно купить. В странах Запада ситуация в этом плане намного лучше. Вероятно, все же основным направлением развития будут многоэтажные многоквартирные дома, похожие на привычную нам позднесоветскую застройку. Приватизация квартир в этих домах — типично постсоветское явление. Логичнее, чтобы дом, связанный в единое целое инфраструктурными сетями, имел одного владельца, а жильцы только арендовали в нем помещения. Квартиру, которую не покупаешь, а только снимаешь, сменить намного проще.

Вообще, в плане жилья интересен опыт Японии. Там на небольших островах, к тому же по большей части занятых горами, обитает примерно столько людей, сколько в огромной России. Естественно, японцы придумывают разные способы, чтобы уместить как можно больше людей на минимальной площади. Именно там впервые появились капсульные отели, в которых вместо номера предоставляется ячейка-сота, площадью ровно с кровать и высотой меньше метра. Там же построены дома, в которых для постоянного проживания предлагается квартира площадью чуть побольше вагонного купе.

Сейчас и в России распространились так называемые «апартаменты»: прямо в помещении бизнес-центра устраивается что-то вроде квартир, без всякой инфраструктуры вроде школ, детских садов и магазинов, характерных для жилых кварталов. Богатым бизнесменам, которые приобретают эти апартаменты, инфраструктура и не нужна. У них семья живет в коттедже, в охраняемом поселке за городом. А в городе им нужен временный ночлег, примерно как в вахтовом поселке нефтяников где-нибудь на севере Западной Сибири.

Но город все же не настолько враждебная человеку среда, чтобы там можно было работать только вахтовым методом. Поэтому люди победнее, не имеющие средств на содержание неработающей семьи в коттедже, будут жить в таких квартирах, хотя скорее в нормальных микрорайонах с инфраструктурой. Возможно, как и в США,



МЫСЛИ О БУДУЩЕМ

у нас тоже станет правилом менять квартиру при смене работы.

Впрочем, при этом возникает проблема с традиционным устройством семьи. Люди хотят жить не поодиночке, а вместе. Но как раз отсутствие необходимости вести домашнее хозяйство приводит к полному социальному равенству супругов. Поэтому получается, что муж работает в одном месте, а жена в другом и от продолжительных поездок на работу никуда не деться, даже если найти жилье точно посередине. А есть ведь еще интересы детей, которым надо найти школу получше.

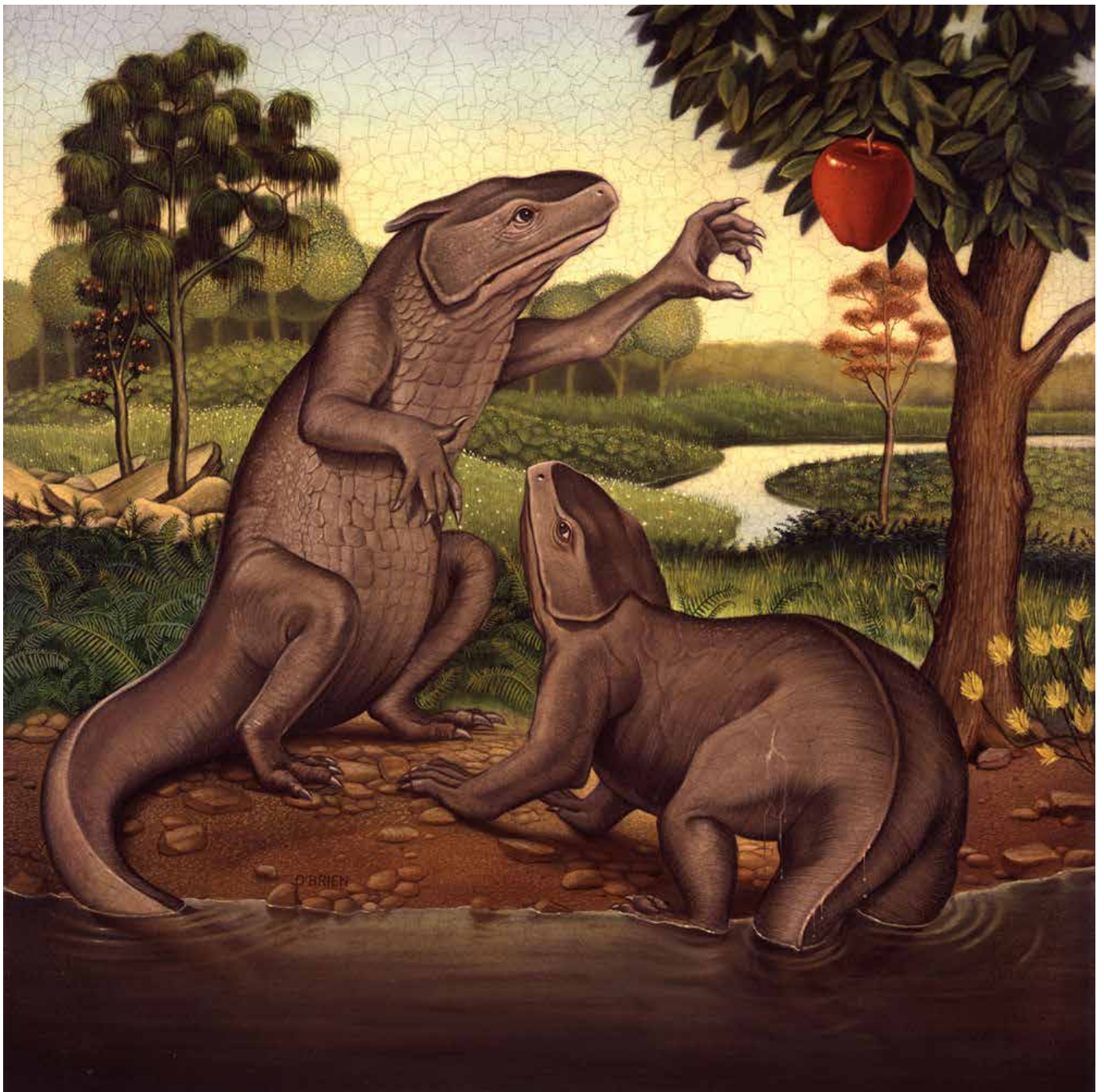
Таким образом, мы постепенно приходим к тому, что для переезда на новое место жительства, в другой город, а то и в другую страну современному горожанину будет достаточно сунуть в карман смартфон и в сумку ноутбук.

Можно даже, подобно перелетным птицам, следовать за временем года. Когда здесь у нас холодно или сыкотно, отправляться куда-нибудь в Таиланд или Гваделупу, а когда там сезон дождей — возвращаться в умеренные широты. Для такого образа жизни, правда, требуется не быть привязанным к рабочему месту. Так что это будет привилегией тех, кто может работать через Сеть.

Получается довольно антиутопическая картина — люди, имеющие достаточно высокооплачиваемую работу и высокий уровень жизни, но не имеющие никакой собственности. Этикие новые кочевники, меняющие место жительства каждый раз, когда на старом стало плохо кормиться.

Конечно, не все, кто задумывается о будущем нашей цивилизации, согласны с подобной картиной. Вот, например, С.М. Комаров в статье «Цивилизация старьевщика» («Химия и жизнь», 2013, 12) представляет концепцию британских экономистов, в рамках которой большинству людей придется отказаться от свободы перемещения ради того, чтобы вещи могли им служить дольше.

Виктор Вагнер



Адам и Ева. Картина Тима О'Брайена

Эусоциальность и феномен человека

С.А.Ястребов

Окончание. Начало в № 8—11 за 2016 год.

От клетки к социуму

Сумма доступных нам сейчас знаний, в общем, не оставляет сомнений, что одним из самых важных процессов в эволюции эукариот было слияние организмов. Оно шло на разных уровнях. Уже самая первая эукариотная клетка, скорее всего, возникла в результате симбиоза археи с бактерией. На следующем эволюционном этапе, который наступил довольно быстро, эукариотные клетки начали объединяться друг с другом. Интересно, что генетическая близость клеток, вступающих в союз, была при этом моментом хоть и важным, но

не решающим. В общем случае клетки, составляющие единый организм, могут быть как строго генетически одинаковыми (в типичном многоклеточном теле), так и вовсе не родственными друг другу (например, в лишайнике, где клетки гриба натуральным образом «порабощают» клетки зеленой водоросли). Преобладание в нынешней биоте организмов «первого типа», каждый из которых представлен потомками одной-единственной яйцеклетки, — не само собой разумеющийся факт, а поворот эволюции, требующий отдельного объяснения. Но так или иначе, не позже чем к началу палеозойской эры Земля безоговорочно стала миром многоклеточных эукариот — растений и животных.

На следующем эволюционном витке началось объединение целых организмов (изначально вполне самодостаточных) в системы следующего уровня — социальные. Довольно точные эквиваленты слова «социальность» — «общественность», или, в старинном языке, «общежительность». Любая социальность основана на обмене сигналами между особями, в результате которого у них формируется некоторое общее поведение. Например, социальные амебы обмениваются химическими сигналами в виде молекул циклического аденозинмонофосфата (цАМФ), под действием которых сползаются вместе и образуют грибообразное плодовое тело (см. «Химию и жизнь», 2016, 4, 42—47). Это один из простейших случаев социальности, часто рассматриваемый как ее элементарная модель. Но ясно, что канал для обмена сигналами между особями здесь очень узкий. Примерно так же обстоит дело у растений, сигнальные системы которых почти исключительно химические и передают мало информации. Тут, однако, вспоминается знаменитый роман Джона Уиндема «День триффидов», в котором хищные растения-мутанты научились общаться звуковыми сигналами, тем самым резко расширив информационный канал и создав сложное, организованное поведение. Нетрудно догадаться, какая группа организмов получила подобные возможности не в фантастике, а в реальности. Это — животные.

Качественно новым эволюционным достижением была не столько социальность животных как таковая, сколько ее высшая форма — эусоциальность, при которой «представители вида живут группами, состоящими из нескольких поколений, и члены группы действуют альтруистично по отношению друг к другу в соответствии с регулярным разделением труда» (Эдвард Уилсон. *Хозяева Земли*. СПб.: ИД «Питер», 2014). Животные, ставшие эусоциальными, фактически объединяются в суперорганизм, члены которого больше не являются самодостаточными (не могут существовать без поддержки товарищей по виду и сами вынуждены тратить ресурсы на такую поддержку), но взамен обретают новые возможности, принципиально недоступные одиночной особи. Согласно процитированному определению, человек разумный — эусоциальный вид. «В этом смысле люди вполне сравнимы с муравьями, термитами и другими эусоциальными насекомыми» (там же). Есть некоторые основания полагать, что эусоциальность создала человека разумного в большей степени, чем любая другая его биологическая особенность.

Муравьиными тропами

Наш краткий рассказ про эусоциальность будет преимущественно основан на работах Эдварда Уилсона, крупнейшего в мире специалиста по муравьям и глубокого мыслителя, фактически создавшего науку социобиологию. Уилсон — идеальный проводник по теме эусоциальности, независимо от того, согласны ли мы с его философскими взглядами (которые он решительно высказывает в нескольких последних книгах). И действительно, кто может разобраться во всем этом лучше, чем человек, посвятивший шестьдесят лет своей жизни изучению муравьев?



Итак, первое, что можно констатировать: эусоциальность часто дает ее обладателям огромный эволюционный успех. Во многих тропических лесах две трети насекомых — это муравьи. Скоординированная активность множества муравьев или термитов позволяет построить огромное защищенное поселение с собственным микроклиматом, организовать походы на фуражировку и даже создать аналог сельского хозяйства (и среди муравьев, и среди термитов есть виды, разводящие в гнездах строго определенные грибы по достаточно сложным технологиям). Ясно, что одиночным насекомым такие действия недоступны.

Тем удивительнее, что эусоциальность появляется в эволюции относительно поздно. В палеозое неизвестны никакие следы активности эусоциальных животных — судя по всему, такого феномена тогда просто не существовало. Насколько мы знаем, первыми на Земле эусоциальными существами стали термиты. Самые ранние известные остатки термитов относятся к началу мелового периода («Termites: evolution, sociality, symbioses, ecology», Springer Netherlands, 2000, 77—93). При этом меловые термиты очень похожи на современных — настолько, что неспециалист не смог бы их отличить, — и, что еще важнее, они обнаруживаются на нескольких разных континентах, которые в меловом периоде уже заведомо отделены друг от друга океаном. Единым целым эти континенты были только в триасе. Так что, скорее всего, первые термиты произошли от своих тараканообразных предков не в мелу, а значительно раньше. Специалисты помещают вероятное время их возникновения где-то между средним триасом и ранней юрой, в интервале 237—174 миллионов лет назад («Proceedings of the National Academy of Sciences USA», 2014, 111, 35, 12585—12590). Получается, что первые общественные насекомые заняли (или создали) одну из принципиально новых экологических ниш, открывшихся после пермо-триасовой «перезагрузки» биосферы (см. «Химию и жизнь», 2016, 11, 28—33).

Несколько позже, но тоже в мезозойскую эру, появляются общественные перепончатокрылые насекомые — осы (некоторые), муравьи, пчелы, шмели. На их развитие сильно повлияла так называемая «цветковая революция», когда голосеменные растения в большинстве сообществ массово сменились недавно возникшими цветковыми — родственниками привычных нам магнолий, буков, роз и других деревьев, трав и кустарников. Это произошло примерно в середине мелового периода, и как раз тогда же началась очень бурная эволюция муравьев, в итоге сделавшая их одними из самых заметных членов наземных экосистем («Proceedings of the National Academy of Sciences USA», 2005, 102, 21, 7411—7414). Конечно, это не случайное совпадение. «Цветковые» леса обладают более сложной структурой местообитаний, в которую разным насекомым, в том числе и общественным, было легче встроиться.

В масштабе эволюционного древа эусоциальность — в общем-то нечастое явление. На данный момент насчитано всего 18 независимых событий возникновения эусоциальности у

животных (не считая человека), 16 из которых относятся к членистоногим. Эусоциальность возникала один раз у термитов, 9 раз у перепончатокрылых (ос, пчел, муравьев), 3 раза у других насекомых и 3 раза у ракообразных («Proceedings of the National Academy of Sciences USA», 2014, 111, 35, 12585—12590). Во всех без исключения известных случаях необходимым предварительным условием для эусоциальности было защищенное гнездо, в котором постоянно живет и размножается группа особей одного вида. Эусоциальные морские ракообразные — десятиногие раки-щелкуны — умудряются создавать такое гнездо даже внутри тела другого животного, а именно губки. Только на основе постоянного гнезда может начаться разделение функций, при котором одни особи размножаются, а другие занимаются только добычей пищи, уходом за личинками или защитой от внешнего мира. И тогда группа превращается в сверхорганизм.

У позвоночных животных эусоциальность возникает очень редко. Самый известный пример эусоциального позвоночного — африканский грызун под названием голый землекоп *Heterocephalus glaber*. Голые землекопы ведут строго роющий образ жизни. Они создают подземное защищенное гнездо, в котором живет группа, представляющая собой расширенную семью с «маткой» (размножающейся самкой), ее двумя-тремя «мужьями» и несколькими десятками «рабочих» обоих полов, которые не размножаются, пока это делает «матка». Такой уровень эусоциальности практически не уступает тому, которого достигли термиты.

У голых землекопов есть еще два необычных признака. Во-первых, они практически не стареют (смертность не растет с возрастом) и могут жить до 30 лет и больше — для млекопитающих такого размера это уникальный случай. Во-вторых, они способны самостоятельно поддерживать постоянную температуру тела, то есть фактически не являются теплокровными животными. Обе эти особенности можно связать с эусоциальностью. Отсутствие старения, приводящее к огромному — раз в десять по сравнению с мышами и крысами — повышению продолжительности жизни, позволяет рабочим особям, не тратящим ресурсов на собственное размножение, заботиться подряд о многих поколениях новорожденных потомков матки. А температура в хорошо устроенном подземном поселении достаточно стабильна, чтобы физиологические механизмы терморегуляции можно было и отключить. И получается, что у этих зверей эусоциальность повлияла на физиологию серьезнее, чем у многих общественных насекомых.

Второй вид стопроцентно эусоциальных млекопитающих — дамарский землекоп *Fukomys damarensis*. Если голый землекоп живет в Восточной Африке, то дамарский — в Юго-Западной. Эусоциальность сложилась у этих двух близких видов, скорее всего, независимо, так же, как она несколько раз независимо возникла у близких видов ос и пчел.

Вот, по сути, и все эусоциальные позвоночные, не считая человека. Оговоримся, что к эусоциальности приближаются некоторые грызуны (прерийные полевки) и хищники (гиеновые собаки), но с голыми землекопами их по глубине приспособлений нельзя и сравнивать. В любом случае подавляющее большинство обладателей эусоциальности — это насекомые.

Эусоциальный мозг

Чем же отличается эусоциальность человека от эусоциальности любых других животных? Начнем с того, что в ней общего. Это — склонность объединяться в устойчивые группы на стоянках. Тут стоит привести длинную цитату из Эдварда Уилсона, она лучше любого перескажет своими словами:

«Стоянки *a priori* были важнейшей адаптацией на пути к эусоциальности: по сути, стоянки — это человеческие гнезда. Все без исключения животные, достигшие эусоциальности,

начинали со строительства гнезда и защиты его от врагов. Они выводили в нем потомство, покидали его, уходя на поиски пищи, и возвращались в него с добычей, которую делили с остальными обитателями. <...> Почему защищенное гнездо играет такую важную роль? Потому что в нем члены группы вынуждены собираться вместе. Им приходится уходить на разведку и поиски пищи, но в конце концов они всегда возвращаются».

Именно плотная «упаковка» разновозрастных и разнополых особей в компактном гнезде, которое нельзя покинуть без риска для жизни, вынуждает их совершенствовать систему взаимодействий друг с другом. В истории человечества таким «гнездом» мог быть и костер, вокруг которого собиралась группа степных охотников, и пещера, и рыцарский замок, и даже советская коммунальная квартира. Этот фактор действовал на человека с самого начала, так же, как он действует, например, на каких-нибудь социальных ос (кстати, именно от ос произошли муравьи).

И вот тут мы упираемся в принципиальные отличия человеческой эусоциальности от той, которая свойственна насекомым. Их, по существу, всего два: ограниченная способность к расселению и слишком крупный размер особей.

На расселение общественных насекомых очень сильно влияет их главное преимущество — крылья. Оплодотворенная муравьиная матка легко пролетает расстояние, которое для человека (с поправкой на размер тела) было бы эквивалентно нескольким сотням километров. После этого она обламывает крылья и основывает новую колонию на новом месте, где, вполне может не оказаться никаких конкурентов. Млекопитающим такие возможности недоступны, они способны расселяться только очень постепенно. А значит, у них гораздо выше напряженность конкуренции между соседними колониями. Это касается как голых землекопов, так и людей и имеет у них одни и те же последствия, а именно — сильную внутривидовую агрессивность. Показано, что голые землекопы отличаются «ксенофобией» и часто нападают на незнакомых — а значит, принадлежащих другому гнезду — особей своего вида («Behavioral Ecology and Sociobiology», 2000, 47, 5, 293—303). В отношении человека разумного тут можно обойтись без пояснений. Японский писатель-фантаст Хироси Мори недаром сказал устами одного из своих персонажей: «Нельзя уничтожить войну, не уничтожив человека». В самом этом утверждении можно (и нужно) усомниться, но вот в том, что склонность к войне запечатлена в нашей чисто биологической природе, особых сомнений нет.

Не менее важен размер тех особей, которые образуют колонию. Млекопитающие — гиганты животного мира. Типичное современное млекопитающее превосходит массой типичное современное насекомое примерно на три порядка, то есть в тысячу раз. Это не абсолютный закон (некоторые млекопитающие бывают меньше некоторых насекомых), но — повторимся — типичное соотношение именно таково. Что касается человека, то его размер очень велик даже по стандартам большинства млекопитающих: среди них на самом деле не так уж и много животных, вес которых превосходит килограмм, а тем более измеряется десятками килограммов. В эпоху динозавров, то есть в мезозое, таких зверей не существовало вовсе, но и в кайнозое их доля никогда не была особенно велика. Достаточно сказать, что две трети всех современных видов млекопитающих — это грызуны и летучие мыши.

Почему это важно? Очевидно, что чем крупнее животное, тем крупнее будут и его отдельные органы, в том числе мозг. Любой мозг состоит из более-менее однотипных нервных клеток — нейронов, размер которых у всех позвоночных примерно одинаков. Чем мозг больше, тем больше нейронов он вместит. А чем больше будет нейронов, тем больше между ними установится связей и тем сложнее может стать поведение. Причем решающее значение здесь имеют именно

абсолютные, а не относительные цифры. В мозге муравья примерно 250 тысяч нервных клеток, в мозге пчелы — около миллиона. При таком количестве нейронов поведение практически сводится к набору инстинктов (пусть и сложных). У обыкновенной серой крысы 200 миллионов нейронов, и это уже совсем другое дело: все мы знаем, как разнообразно поведение этих зверьков и как хорошо развита у них способность к обучению. А у современного человека нормальное число нейронов — 86 миллиардов. Эусоциальное существо с мозгом такого размера просто обречено стать разумным.

Опять же — почему? Есть серьезные основания считать, что самая ресурсоемкая область применения головного мозга крупных животных — это социальные контакты, то есть выстраивание системы взаимодействий с сородичами по виду. Основанное на этом представление, связанное в основном с именем английского антрополога Робина Данбара, получило название гипотезы «социального мозга». Наблюдения над разными видами обезьян показывают, что с ростом абсолютного размера мозга взаимодействия между особями очень быстро усложняются. А в сложной социальной системе, в свою очередь, индивиды с более крупным мозгом могут получить преимущество при естественном отборе, то есть заработает положительная обратная связь. Размер мозга голого землекопа, существа размером с крупную мышь, не достигает порога, за которым эта положительная обратная связь запустится. Размер мозга человека — по всей видимости, достигает. Примем во внимание, что и крупный размер, и эусоциальность — качества в целом довольно редкие (например, из всех современных насекомых эусоциальностью обладает только 2% видов). А их сочетание, судя по всему, реализовалось за всю историю Земли один-единственный раз. Вот результатом этого сочетания и стала наша цивилизация. Результат — неизбежный, зато само сочетание очень маловероятное.

Люди и селениты

Огромный мозг человека позволил ему реализовать в высшей степени неэкономичную эволюционную стратегию, сочетающую эусоциальность с универсальностью каждой особи. Любой здоровый человек потенциально способен не только размножаться, но и освоить любой предлагаемый наличным социумом род деятельности (разве что с небольшими ограничениями, вытекающими из случайной индивидуальной изменчивости). Причем эти способности сохраняются очень долго, фактически на протяжении большей части активной жизни. Кроме того, человек способен десятилетиями накапливать знания и формировать в итоге совершенно неповторимую структуру личности с уникальными навыками. Но нет сомнений, что поддержание социальной системы, состоящей из особей с такими свойствами, является во всех отношениях очень затратным делом. Не могла ли природа выбрать какой-то другой путь?

Здесь могут помочь мысленные эксперименты, поставленные научными фантастами. Например, в романе Герберта Уэллса «Первые люди на Луне» описана гуманоидная цивилизация, устроенная совершенно по иному принципу, чем наша. Уэллсовские селениты (жители Луны) готовят каждого члена общества к строго определенной профессии с самого рождения, используя для этого не только сложную систему воспитания, но и «смелые хирургические операции». Например, селенит-математик чисто физиологически неспособен заниматься чем-либо, кроме математики: у него сильно развит мозг (и даже определенные области мозга), конечности и внутренние органы уменьшены, а сильные и яркие переживания могут быть связаны только с математикой и ни с чем другим. Селенит-пастух, наоборот, хорошо физически тренирован, имеет глаза, защищенные «твердой



и угловатой роговой оболочкой», но не знает ничего, кроме технических понятий своего ремесла, и счастье может испытывать, только занимаясь пастушеской работой. «И так обстоит дело с селенитами всех сословий, — каждый представляет собой в совершенстве законченную составную часть общей машины».

Уэллс прекрасно знал биологию, и он не мог не понимать, что рисует довольно реалистичную картину. Эусоциальность почти всегда приводит к тому, что отдельные особи начинают специализироваться, отличаясь друг от друга физиологически и даже морфологически: чтобы оценить последнее, достаточно сравнить, например, рабочего термита с термитом-солдатом. Уэллсовские селениты вписываются в это правило. Примерно такого уровня специализации особей и стоило бы «из общих соображений» ожидать от эусоциальных существ с большим мозгом.

С этой точки зрения социум *Homo sapiens*, в котором каждая особь одновременно универсальна и уникальна, выглядит чудом. А ведь он существует уже несколько десятков тысячелетий. По эволюционным меркам это мало, но по меркам истории культуры — очень много. Более того, внутри человеческих обществ время от времени возникают очаги дополнительного «сброса специализации». Например, после так называемой катастрофы бронзового века (XII век до н. э.) начались события, которые известный философ и культуролог Михаил Константинович Петров проанализировал в статье с замечательным названием: «Пентеконтера. В первом классе европейской школы мысли» («Вопросы истории естествознания и техники», 1987, 3, 100—109). Гибель крупных империй Восточного Средиземноморья разрушила специализацию людей, основанную на кастовом делении, и породила мир, где каждый мужчина был универсальным матросом на борту столь же универсального небольшого корабля — пентеконтеры. По мнению Петрова, именно с этого и началось знаменитое «греческое чудо», создавшее в конце концов европейскую культуру.

Космическая рулетка

Насколько закономерны в нашей Вселенной такие явления, как жизнь и разум?

Кратко на это не ответишь. Современные научные знания не дают оснований поддерживать связанную с именем маркиза Пьера Симона де Лапласа позицию абсолютного детерминизма. В реальности существует не только необходимое. Существование жизни не противоречит никаким положениям физики или химии, но оно и не вытекает из этих положений. Обратим внимание, что такое утверждение верно далеко не для всех природных явлений: например, образование атомов, молекул, звезд при данных физических законах было неизбежно. Но про возникновение жизни этого сказать нельзя. Звездные системы необязательно порождают жизнь, как и жизнь (судя по всему) необязательно порождает разум. В этом смысле природа как бы обладает свободой воли.



Можно мысленно прочертить траекторию, соединяющую все ключевые моменты химической и биологической эволюции, начиная от формирования планетной системы (еще до всякой жизни) и заканчивая становлением цивилизации. Такие события, как возникновение первых клеток, многоклеточности или нервной ткани, будут на этой траектории промежуточными точками. Как же оценить вероятность, что жизнь на данной планете пройдет по ней от начала до конца?

Думается, что тут уместна вот такая аналогия. Представим себе игрока в рулетку, который все время ставит на красное с одним дополнительным условием: серия выпадений красного должна быть непрерывной. Пока раз за разом выпадает красное, человек остается в игре. Если хоть один раз выпало черное, игра прекращается и он выбывает. Какие шансы будут у такого игрока?

Это легко подсчитать. При одном испытании игрой в рулетку вероятность выпадения красного составляет $1/2$. Но уже при десятке испытаний вероятность постоянного выпадения красного станет меньше $1/1000$, а при сотне испытаний в знаменателе окажется вполне астрономическое 32-значное число. Вот оно-то и будет характеризовать соотношение тех, кто выиграл, и тех, кто проиграл.

Похоже, что жизнь в космосе сталкивается примерно с такой же игрой вероятностей. Для каждого отдельного фактора или события вероятность помешать развитию жизни может быть невысока. Настоящая проблема в том, что этих факторов и событий очень много. Планета не должна оказаться слишком близко или слишком далеко от звезды, не должна подвергнуться слишком сильному удару другого небесного тела, не должна быть целиком скована льдом из-за неудачного расположения континентов, не должна проявлять слишком высокую или слишком низкую вулканическую активность — продолжать в таком роде можно долго. Между тем никакого суммирования тут нет. Единичного события, хотя бы на краткое время выводящего условия на планете за пределы пригодных для жизни, будет достаточно, чтобы закрыть вопрос навсегда, даже если значения всех прочих переменных остаются «в норме».

Есть и еще одна проблема, связанная, скорее, с человеческим восприятием. Гадая, почему мы до сих пор не встретили инопланетных цивилизаций, люди очень часто основываются (больше подсознательно, чем сознательно) на представлении XVIII—XIX веков о том, что Вселенная практически вечна. Эту позицию четко выразил великий шотландский геолог Джеймс Геттон, писавший: «В истории Земли мы не видим никаких следов начала и никаких признаков конца». Но сейчас-то мы знаем, что это не так! Любая планетная система имеет конечный срок существования, в который развивающаяся там жизнь должна уложиться. И в сравнении с темпами эволюции самой жизни этот срок не так уж велик. Например, часть «жизненного цикла» Солнца, охватывающая промежуток от протозвезды до красного гиганта, должна занять около 10 миллиардов лет. Это всего-навсего вдвое больше, чем уже длится история Солнечной системы.

Кроме того, возникновение жизни было невозможно в первые несколько миллиардов лет после Большого взрыва, пока звезды первого поколения не достигли стадии сверхновых и не взорвались, разбросав по Галактике пригодные для «сборки» планетных систем и живых тел тяжелые химические элементы. Считается, что наше Солнце — звезда даже не второго, а третьего поколения. В древней Вселенной, включавшей только звезды первого поколения и состоявшей почти исключительно из водорода и гелия, никакой жизни быть не могло. Это дополнительно ограничивает максимальный срок, отпущенный на биологическую эволюцию.

С другой стороны, эволюция обычно идет очень неравномерно. Например, первые эукариоты появились только после разрушительной «кислородной революции» и, скорее всего, вследствие нее (см. «Химию и жизнь», 2016, 9, 28—32). До этого биосфера Земли в течение двух миллиардов лет была чисто бактериальной. Но и потом эволюция не очень-то ускорилась: за весь «скучный миллиард лет» в живой природе Земли не возникло, по сути, никаких качественных новшеств. Возможно, без них обошлось бы и дальше, если бы не катастрофическое оледенение, вызванное особенностями дрейфа континентов и приведшее к вынужденной перестройке всей биосферы (эпоха «Земли-снежка»). Сложись геологическая история Земли несколько иначе, самыми сложными организмами на ней до сих пор могли бы быть строматолиты — или, в лучшем случае, красные водоросли. Более того, не исключен сценарий, когда целая биосфера доживает до гибели в огне своего солнца (ставшего красным гигантом), так и не успев породить ни многоклеточных животных, ни высших растений.

Отсюда следует ясный вывод. Обычно (и чаще всего неявно) принимаемое «господами ксенологами» допущение, что время, нужное для развития цивилизации, пренебрежимо мало по сравнению с временем существования Вселенной, неверно. На самом деле эти времена сравнимы друг с другом. Первое, конечно, меньше, — однако не на порядки, а всего лишь в разы.

Эта логика сразу подсказывает возможное решение пресловутой загадки «молчания Вселенной» (*Silentium Universi*), или основного парадокса ксенологии, как предпочитали выражаться Стругацкие. Вполне вероятно, что наша цивилизация — просто первая в Галактике. Другие биосферы, если они и существуют, еще не успели дойти до этой стадии. Только и всего. Может быть, успеют в будущем — а может быть, и нет.

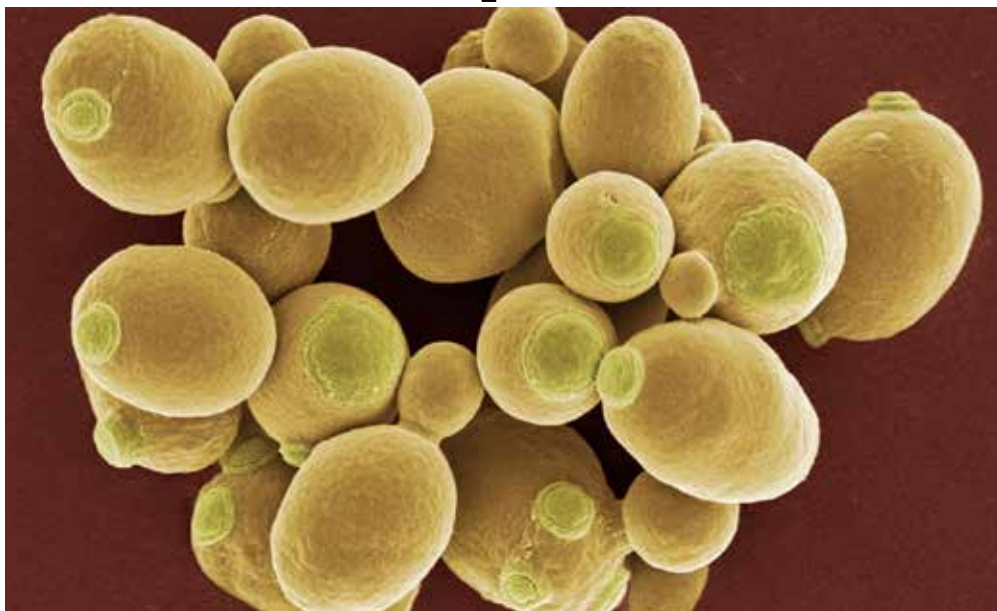
«Человек — не статический центр мира, как он долго полагал, а ось и вершина эволюции, что много прекраснее», — писал в середине XX века Пьер Тейяр де Шарден. Конечно, проверить это утверждение очень сложно, но современные научные данные не исключают, что Тейяр был в каком-то смысле прав. Человечество — острие эволюции жизни во Вселенной.



Записки одомашненных дрожжей

Кандидат биологических наук
Н.Л.Резник

*Можно ли одомашнить создание, о существовании которого даже не подозреваешь? Оказывается, можно. Именно это произошло с дрожжами *Saccharomyces cerevisiae*. Их способность превращать сахара в спирт и ароматные соединения люди начали совершенствовать за несколько веков до открытия этих микроорганизмов, хотя и значительно позже, чем появилось первое пиво. И этот процесс можно с полным правом назвать domestикацией.*



Доместикация или домашний арест?

Процесс одомашнивания животных и культурных растений описан достаточно подробно, история взаимодействия человека с микроорганизмами, участвующими в приготовлении продуктов, почти неизвестна. Штаммы дрожжей, которые используют для производства спирта, пива и хлеба, отличаются от своих лабораторных и диких собратьев, а также друг от друга. Однако эти различия могли возникнуть не только в ходе целенаправленного отбора ценных для человека признаков, но и в результате географической изоляции дрожжей и ограниченного их разнообразия в каждой области. Если бельгийские дрожжи, однажды попав на пивоварню, никогда ее не покинут, то со временем они поневоле станут отличаться от, скажем, британских. Так чему же промышленные дрожжи обязаны своими особенностями? К сожалению, пивовары и хлебопеки древности не оставили записок, однако можно прочесть дрожжевой геном, а лучше несколько.

Доместикация — это направленный отбор по нужным человеку признакам и адаптация к определенным условиям жизни, часто весьма далеким от природных. В каком бы направлении (урожайность, окраска меха, размер тела) этот отбор ни шел, он всегда приводит к характерным изменениям, хорошо известным на примерах многих одомашненных животных и растений. У них ярко выражены признаки, полезные людям, но не нужные их обладателям (во всяком случае, не в такой степени). У них нарушено половое размножение. Эти признаки позволяют существовать в среде, созданной человеком, однако в естественных условиях одомашненные виды чувствуют себя, в лучшем случае, некомфортно.

Доместикация оставляет характерные пометки в геноме: некоторые участки ДНК удаиваются, а другие теряются, меняется копияность генов, а иногда и целых хромосом. Иными словами, геном портится. Если генотипические и фенотипические особенности, характерные для одомашненных видов, обнаружатся и у промышленных штаммов дрожжей, это послужит доказательством их domestикации.

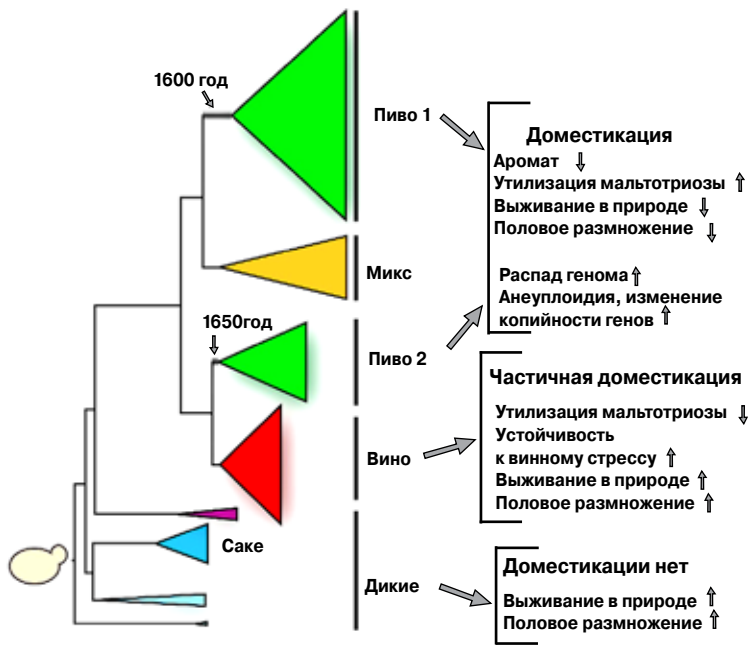
Дрожжевое древо

Такое исследование предприняли ученые из Бельгии и Соединенных Штатов под руководством Кевина Верстрепена, адъюнкт-профессора Католического университета Левена, и Стивена Маре из Гентского университета («Cell», 2016, 166, 1397—1410, doi: 10.1016/j.cell.2016.08.020). Они секвенировали и описали геномы 157 штаммов дрожжей *S. cerevisiae*, которые используют для производства теста, вина, пива, спирта, sake и биоэтанола, и сравнили их с дикими и лабораторными штаммами, собранными на разных континентах. Дрожжи могут существовать в диплоидном и гаплоидном состоянии; исследователи работали с диплоидными, чтобы оценить все особенности строения генома.

Анализ геномов показал, что промышленные дрожжи генетически отличаются от диких родичей и произошли от немногих предковых штаммов, которые адаптировались к созданной человеком среде. Исследователи составили филогенетическое древо промышленных дрожжей, которые разделяются на пять клад (рис. 1). (Клада у биологов — группа организмов, включающая общего предка и всех его прямых потомков.) Одна из них включает азиатские штаммы производителей sake, другая — преимущественно винные дрожжи. Есть одна смешанная кладка, объединяющая все пекарские штаммы и некоторые пивные, в основном те, которые используют для изготовления крепкого бельгийского эля. Выделяются также две большие группы пивных дрожжей, «Пиво 1» и «Пиво 2».

Спиртовые штаммы не образуют особой группы и разбегались по всему древу. Очевидно, они возникли в результате отбора, которым занимаются различные компании, продающие дрожжи для производства спирта. Кроме того, спиртовые дрожжи, в отличие от пивных или пекарских, повторно не используют, так что у них было меньше возможностей образовать особую группу.

Своим разнообразием промышленные штаммы отчасти обязаны географическим различиям. Большинство дрожжей



1
Доместикация промышленных дрожжей

для сакэ родом из Азии, у них один общий предок, и они в родстве с дикими и биоэтанольными штаммами из Китая. А североамериканские дрожжи для производства этанола родственны тем, которые используют в Бразилии для получения спирта из сахарного тростника. Клада «Пиво 1» распадается на три подгруппы: штаммы континентальной Европы (Бельгии и Германии), Великобритании и Соединенных Штатов. Пивные дрожжи Северной Америки, в отличие от биоэтанольных, явно произошли от британских штаммов, а не от местных. Клада «Пиво 1» рано обособилась от других групп и развивалась независимо. Клада «Пиво 2» возникла позже и связана с винными дрожжами, в нее входит пятая часть всех винных штаммов. Она объединяет дрожжи из Бельгии, Великобритании, Соединенных Штатов, Германии и Восточной Европы, но четкого географического подразделения внутри нее нет. Наличие двух больших, генетически различных источников пивных дрожжей говорит о том, что их одомашнивание происходило в Европе, дважды и независимо, причем одно из этих событий дало начало как винным, так и пивным дрожжам («Пиво 2»).

На каждой пивоварне для производства разных сортов пива обычно используют один и тот же штамм, поэтому дальнейшего дробления внутри пивных клад не произошло. Исключение составляют дрожжи для производства нескольких местных сортов пива, таких как бельгийский сайзон и британский стаут.

Пивные — домашние, винные — уличные

Оценивая фенотипические признаки дрожжей, исследователи обнаружили несомненное влияние домести́кации. Сильнее всего оно проявилось у пивных штаммов, и связано это со спецификой пивоварения.

Пиво варят круглый год, причем остаточные дрожжи не выбрасывают, а используют для сбраживания новой порции. Таким образом, пивные дрожжи долгое время и без перерывов находились в стабильной и сытной среде. Ученые подсчитали, что со времени начала отбора прошло не менее 75 тысяч дрожжевых поколений. Оказавшись в новых условиях, пивные дрожжи за ненадобностью утратили многие признаки, необходимые для выживания в суровой естественной среде.

Прежде всего, значительная часть пивных штаммов полностью распрощалась с половым размножением.

В природных условиях *S. cerevisiae* размножаются как бесполым путем, так и половым. В благоприятной обстановке они почкуются: на фото в начале статьи видны круглые шрамики, оставленные отпочковавшимися дочерними клетками. В стрессовой ситуации (холод, голод или недостаток влаги) дрожжи переключаются на половое размножение и образуют споры, которые позволяют пережить тяжелый период. В пивоварне, где дрожжи всегда при деле, они прекрасно обходятся без полового размножения, более половины штаммов «Пива 1» только почкуются, у остальных споры часто нежизнеспособны. Такая особенность в других промышленных кладах редка (не более 21%), а у диких дрожжей не встречается вовсе.

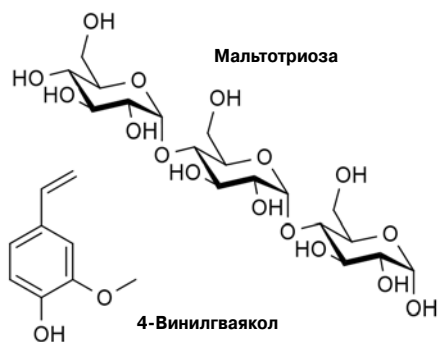
Спиртовые и винные штаммы не могут себе позволить отказаться от полового размножения. Чистые дрожжевые культуры виноделов стали использовать только с начала XX века, до этого они несколько тысяч лет обходились природными дрожжами. Винные дрожжи растут только в вине, а сезон виноделия короток. Значительную часть года они проводят на виноградниках и в кишечнике насекомых. Во время этих голодных периодов винные дрожжи почти не почкуются, но могут размножаться половым путем и даже скрещиваться с дикими дрожжами. Более того, лишь небольшая часть винных дрожжей в следующем сезоне вновь попадет в виноградное сусло, в то время как в пивоварении этот путь открыт триллионам клеток. Нет, такая жизнь явно не позволяет ограничиться почкованием. В результате на винных дрожжах влияние человека сказывается значительно слабее, чем на пивных. Благодаря половому размножению и скрещиванию с дикими видами, а также непродолжительному пребыванию в антропогенной винной среде они эволюционируют гораздо медленнее пивных.

Спирты, сахара и аромат гвоздики

Люди не задумывались над тем, могут ли дрожжи образовывать споры. Вот чтобы они быстро росли — это важно. (Размножение почкованием, конечно, быстрее полового.) А еще люди хотят получать вкусный, хорошо усваиваемый, долго хранящийся и успокаивающий благодаря присутствию этанола продукт. Прежде всего от дрожжей требуется синтезировать этиловый спирт, и в результате отбора они научились производить его в больших количествах и существовать в достаточно концентрированном спиртовом растворе. Пивные штаммы производят 7,5—10 объемных процентов этанола, а дрожжи, используемые для приготовления более крепких напитков — сакэ, спирта, вина и в особенности биоэтаноло, могут производить 14,5%-ный раствор. В природе таких условий нет, и эти качества не требуются.

Спирт образуется в результате расщепления сахаров, и дрожжи должны их активно усваивать. Пивные штаммы явно прошли отбор на интенсивное расщепление мальтотриозы, одного из основных сахаров пивного сусла (рис. 2). Эта способность зависит от специфического аллеля *AGT1* гена *MAL11*, который присутствует только в дрожжах «Пива 1» и некоторых штаммах смешанной клады. У винных дрожжей ген *MAL11* и даже локус *MAL1* полностью отсутствует.

Помимо спирта дрожжи синтезируют разные вещества, придающие продуктам приятный запах и вкус. Но некоторые ароматы, пусть и самые приятные, не всегда уместны. Одно из ароматических веществ, 4-винилгваякол (4-ВГ), пахнет гвоздикой, и этот запах нежелателен в сакэ и большинстве видов пива и вина. Синтез 4-ВГ контролируют два гена: декарбоксилаза фенилакриловой кислоты *PAD1* и декарбоксилаза феруловой кислоты *FDC1*. Оба располагаются рядышком в IV хромосоме и помогают обезвредить



2

Пивные дрожжи должны активно расщеплять мальтотриозу и не синтезировать 4-винилгваякол

токсичную фенилакриловую кислоту, которая встречается в стенках растительных клеток. Так что в природных условиях активность этих генов жизненно необходима, но большинство промышленных штаммов, особенно пивные и sake, утратило способность синтезировать 4-ВГ. Исследователи обнаружили в их геноме мутации, нарушающие функции *PAD1* и *FDC1*. Более того, разные сублинии несут разные мутации, которые независимо возникали в ответ на отбор против синтеза 4-ВГ. Анализ генома показал, что мутации в обоих генах произошли очень рано, в самом начале расхождения *S. cerevisiae* и родственного вида *S. paradoxus* от общего предка. Пекарские и биоэтанольные дрожжи сохранили гены *PAD1* и *FDC1* в целостности: в этих производствах 4-ВГ не помеха. Запах 4-ВГ исчезает в процессе выпечки, а биоэтанол не предназначен для внутреннего употребления, и аромат гвоздики никого не беспокоит.

Некоторые любители пива ценят пряный аромат. Нефильтрованное пшеничное пиво хефевайцен традиционно пахнет гвоздикой и содержит значительное количество 4-ВГ. Дрожжи хефевайцена входят в кладу «Пиво 1», но они мозаики, геном этого штамма собран из фрагментов представителей всех трех субклад, в основном бельгийско-германской. Небольшую часть генома они получили от винных дрожжей, однако именно эта часть содержит функциональные гены *PAD1* и *FDC1*. Ученые полагают, что дрожжи хефевайцена возникли в результате скрещивания между разными пивными и винными штаммами — получился гибрид, сочетающий типичную для пивных дрожжей способность ферментировать мальтотриозу и гены синтеза 4-ВГ.

В геномах промышленных штаммов ученые обнаружили все нарушения, свойственные одомашненным видам: полиплоидию и нехватку хромосом, перестройки, делеции и дупликации, изменения копийности генов. Например, многие гены, вовлеченные в переработку мальтотриозы, амплифицированы у пивных и sake-дрожжей, но зачастую потеряны у винных. Однако копийность генов, ответственных за базовый метаболизм углерода и азота, транспорт ионов и флокуляцию (способность дрожжей по окончании ферментации собираться в комочки и оседать на дно емкости, где происходило брожение), сохранилась.

Одомашнивание до открытия

Итак, дрожжи обладают всеми специфическими чертами доместичированного организма: расстроенным геномом, хозяйственно-ценными признаками, адаптацией к жизни в антропогенной среде и утратой полового размножения (рис. 1). Их разнообразие и отличительные признаки вызваны в большей степени одомашниванием, чем географической изоляцией. Вопрос в том, когда это одомашнивание произошло.



Люди варили пиво уже за три тысячи лет до нашей эры. Они делали вино и пекли хлеб, используя для брожения природные дрожжи, старую закваску или пивной осадок, но о существовании дрожжей не догадывались. В 1680 году дрожжи наконец разглядел и зарисовал Антони ван Левенгук. В 1837 году их увидел французский ученый Каньяр де Ла Тур и понял, что перед ним живые организмы и пиво создают именно они. Его гипотеза получила подтверждение только 1857 году, когда Луи Пастер доказал микробиологическую природу спиртового брожения. До этого брожение считали химической реакцией. В 1881 году датский микробиолог Эмиль Хансен, сотрудник фирмы «Карлсберг», впервые получил чистую культуру пивных дрожжей, что позволило заметно улучшить качество напитка. Эту культуру назвали *Saccharomyces carlsbergensis*. Только тогда пивовары, виноделы и пекари узнали, с чем они имеют дело, и смогли приступить к сознательному отбору. Однако анализ генома показал, что одомашнивание дрожжей началось много раньше (см. рис. 1).

Исследователи учли, что американские пивные штаммы произошли от британских, а британские колонисты появились в Америке в начале XVII века. Пивные дрожжи размножаются только почкованием и делятся примерно трижды в неделю, следовательно, за год сменяется примерно 150 поколений. Подсчитав частоту мутаций, ученые определили, что расхождение между субкладами «Пиво 1» произошло примерно в 1573—1604 годах. Интересно, что в те же годы домашнее пивоварение постепенно сменяется централизованным. Пиво стали делать при пабах, в монастырях, а затем на больших пивоварнях. Там пиво варили не как дома, от случая к случаю, а непрерывно. Кроме того, профессиональные пивовары должны были обращать особое внимание на качество своей продукции. Все это создало условия для неосознанного пока отбора, то есть доместикации, дрожжей. Заметную роль в одомашнивании сыграла изоляция — появились линии дрожжей, которые постоянно росли в созданных человеком средах, утратив связь с внешним миром. Субклада «Пиво 2» образовалась позже, в 1645—1671 годах, но все равно задолго до работ Пастера и Хансена.

Трудно подсчитать, сколько разных штаммов и в каком контексте было одомашнено, ограниченное количество клад промышленных дрожжей и их четкое отличие от диких родственников позволяет предположить, что современные промышленные дрожжи произошли от небольшого числа предковых штаммов или от их близкородственных групп.

Теперь, когда люди знают не только о существовании дрожжей, но и о функциях, который выполняют различные их гены, и особенностях геномов разных штаммов, у специалистов есть возможности продолжать отбор «с открытыми глазами» и получать новые промышленные дрожжи невиданного прежде качества.



Эгоистичный мозг и парадокс ожирения

*Карикатура неизвестного художника (1833):
король Луи Филипп рассматривает газету.
Мозг — властелин организма, все менее важные
структуры уступают ему привилегии.
Собственно, у них нет выбора*

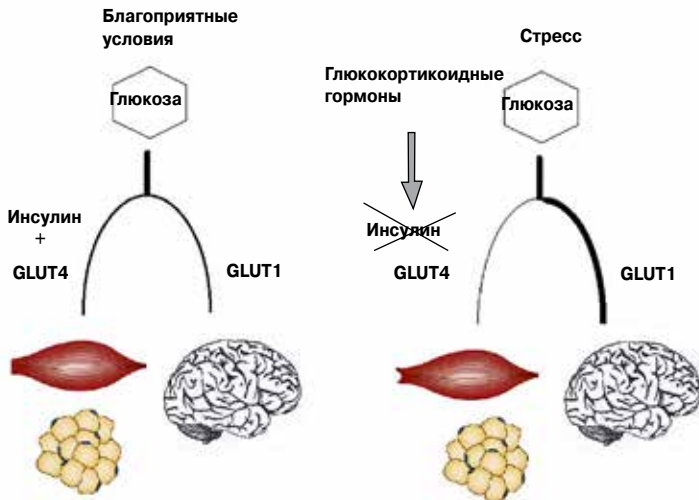


Кандидат
биологических наук
Н.Л.Резник

Некоторые люди, переживая психологический стресс, теряют аппетит и худеют, а другие, напротив, много едят и набирают вес. При этом не тучным, а худым личностям с высокой вероятностью угрожает смерть от сердечно-сосудистых заболеваний. Объяснить связь между стрессом, ожирением и патологиями сердечно-сосудистой системы помогает гипотеза эгоистичного мозга.

Жир жиру рознь

Ожирение — это плохо; мы давно усвоили, что избыточный вес приводит к развитию метаболического синдрома, сахарного диабета второго типа, сердечно-сосудистых заболеваний и многих других тяжелых недугов. Однако примерно десять лет назад клиницисты стали обращать внимание на то, что люди с избыточным весом чаще худощавых выживают при тяжелых почечных расстройствах, инфаркте, инсультах, сердечной недостаточности, сепсисе и диабете второго типа. Этот феномен получил название «парадокс ожирения».



Спрос и предложение

Итак, стресс. Психологический. Соседи — хамы, с работы уволили, за квартиру платить нечем, с родственниками постоянные скандалы. Увы, никого не затруднит продолжить этот список. И вот, когда человек теряет уверенность в своей будущей физической, ментальной и социальной безопасности, его мозг лихорадочно анализирует обстановку и ищет выход из сложившейся ситуации. Такое состояние называют сверхбдительным. Разрешиться стрессовая ситуация может тремя путями: человек найдет из нее выход, или приспособится, или не сможет ни того ни другого. Это самый плохой вариант, при котором человек рискует серьезно заболеть и даже умереть, особенно если стресс принимает хронический характер. В этом случае мозг застревает в сверхбдительности, а она требует сил. Недаром авторы исследования определяют стресс как состояние повышенной мозговой потребности в энергии. И мозг эту потребность удовлетворяет, причем грабительским способом.

В 1998 году Ахим Питерс выдвинул теорию эгоистичного мозга, основанную на экспериментальных данных более чем 12 тысяч исследований. Согласно этой гипотезе, мозг занимает особое иерархическое положение в человеческом организме и забирает столько энергетических ресурсов организма, сколько ему требуется, причем забирает активно, потому и эгоист.

Мозг, как и все остальные органы, питается глюкозой. Но только большинство клеток поглощают глюкозу через специальный глюкозный транспортер GLUT4, работу которого регулирует инсулин, а мозг и клетки иммунной системы — через транспортер GLUT1, от инсулина не зависящий (рис. 1). У этих транспортеров разное назначение: GLUT4 обеспечивает хранение избытков глюкозы в мышечных и жировых клетках, а GLUT1 — постоянное поступление энергии в жизненно важные органы.

При стрессе мозгу не хватает обычной порции глюкозы, и он резко увеличивает потребление. Например, во время одного умеренного и довольно короткого лабораторного стресса (испытуемым пришлось очень быстро сортировать карточки) количество поглощенной им глюкозы возросло на 12%. Эти излишки мозг получает, отбирая глюкозу у других органов. При стрессе, как мы помним, мозг активирует ось ГГН, синтезируется гормон кортизол, который в том числе подавляет секрецию инсулина в бета-клетках поджелудочной железы. Без инсулина клетки мышц не могут извлечь глюкозу из крови, и она вся достается мозгу — ему, чтобы поесть, инсулин не нужен.

Когда Ахим Питерс опубликовал свою гипотезу, ей неожиданно нашлось подтверждение — забытая работа 1921 года, принадлежащая йенскому патологоанатому Марии Кригер. Во время Первой мировой войны она исследовала тела умерших от истощения солдат. Если мозг потребляет энергию активно, то при голодании вес будет терять только тело, если же пассивно, то похудеют и тело, и мозг. Кригер сообщала,

1

При стрессе мозг отнимает глюкозу у других органов. По его команде усиливается секреция глюкокортикоидных гормонов, подавляющих синтез инсулина. Без инсулина глюкоза не попадает в мышечные и жировые клетки и вся достается мозгу

В зависимости от места залегания жир делится на подкожный и висцеральный. С подкожным все ясно, это ему мы обязаны жировыми складками и потерей модельных очертаний. Висцеральный жир скапливается вокруг органов брюшной полости. Определить его содержание в организме — большая проблема, иногда он даже на фигуре не сказывается, и люди с избытком висцерального жира могут выглядеть стройными.

В 1980-х годах шведский эндокринолог Пер Бьернторп обнаружил, что избыток висцерального жира связан с высоким уровнем глюкокортикоидных гормонов, а женщины, пребывающие в таком состоянии, часто испытывали психологический стресс: страдали от безработицы или безденежья, пережили развод, провели какое-то время в тюрьме.

Известно, что стресс активирует ось «гипоталамус — гипофиз — надпочечники» (ГГН). Гипоталамус отдает команду гипофизу, тот выделяет адренокортикотропный гормон, влияющий на кору надпочечников, а она, в свою очередь, синтезирует глюкокортикоидные гормоны, в том числе кортизол. Бьернторп утверждал, что хронический стресс, влияя на ось ГГН, приводит к накоплению висцерального жира, которое ассоциировано с сердечно-сосудистыми заболеваниями

Сообщения Бьернторпа появлялись регулярно, однако им не особенно верили, пока уже в XXI веке ученые не выяснили, что хронический стресс приводит к увеличению массы висцерального жира у нечеловекообразных обезьян. Другие исследования показали, что у участников программ по смягчению стресса при стрессовых воздействиях снижался уровень кортизола и они реже умирали от сердечно-сосудистых заболеваний, чем участники контрольных групп. Так наконец связались в один узел стресс, висцеральный жир, кортизол и смертность от сердечно-сосудистых заболеваний. А вот большое количество подкожного жира, которое часто скапливается при длительном стрессе, с высокой смертностью не связано. Очередную попытку разрешить парадокс ожирения предприняли нейроэндокринолог Брюс Мак-Ивен, профессор Рокфеллеровского университета, и профессор университета Любека Ахим Питерс («Neuroscience and Biobehavioral Reviews», 2015, 56, 139—150, doi: 10.1016/j.neubiorev.2015.07.001).

что у истощенных людей внутренние органы (сердце, почки и печень) теряют примерно 40% массы, а мозг — только 2%. Это серьезный аргумент в пользу активного питания мозга. Современные исследования с использованием новейших методов, в том числе магнитного резонанса и спектроскопии, подтверждают эту гипотезу.

Когда стрессированный, сверхбдительный мозг лишает другие органы глюкозы, им приходится использовать другие источники энергии. Долго искать не приходится — глюкозу заменяют свободные жирные кислоты из подкожных жировых запасов. Тем более что во время психологического стресса активируется симпатическая нервная система (СНС), которая стимулирует выделение свободных жирных кислот из адипозной ткани. Эти кислоты попадают в верхнюю и нижнюю полые вены, а оттуда в коронарные артерии и системную циркуляцию, поэтому питают сердце и скелетные мышцы. Чем меньше глюкозы достается мышцам, тем больше жирных кислот они поглощают. Если стресс затягивается, подкожная жировая прослойка тает.

С висцеральным жиром ситуация иная. При стрессе он также по команде СНС отдает свои жирные кислоты, однако они попадают не в полые вены, а в портальную вену печени. В печени жирные кислоты превращаются в кетоновые тела (бета-гидроксибутираты), которые по кровеносной системе поступают в мозг и подпитывают его энергетически. Психологический стресс увеличивает концентрацию бета-гидроксибутирата в сыворотке более чем на 400%.

В то же время и активность СНС, и сигналы глюкокортикоидных гормонов, к которым висцеральные адипоциты частично чувствительны, ослабляют в этих клетках экспрессию гена *GLUT4*, а экспрессию *GLUT1* усиливают. Клетки получают возможность потреблять глюкозу и превращать ее в жир, чем активно пользуются, потому что при хроническом стрессе должны адаптироваться к постоянному требованию свободных жирных кислот. В результате висцеральные адипоциты растут и множатся, висцеральный жир разрастается как энергетическое депо для мозга. Так активное питание мозга при хроническом стрессе приводит к потере подкожного жира и аккумуляции висцерального.

Турбулентные потоки

Теперь попробуем разобраться, как распределение жиров связано с риском развития сердечно-сосудистых заболеваний.

Глюкозу в мозг доставляет кровь. При стрессе активированная СНС ускоряет сердцебиение. В результате в мозг поступает больше крови и энергии. Однако усиленное кровоснабжение имеет побочное действие — поток жидкости в сосудах теряет свою ламинарную плавность и становится турбулентным. Такой поток неравномерен и снабжает мозг энергией хуже, чем ламинарный. Чтобы проталкивать его по сосудам, требуется более высокое давление. Поэтому организм старается сохранить ламинарный ток крови, чтобы питать мозг с наименьшими затратами энергии.

Между клетками эндотелия, выстилающими внутреннюю поверхность сосудов, расположены механорецепторы — они фиксируют механическую нагрузку, создаваемую протекающей кровью, и преобразуют механическую силу в химический сигнал. Если давление жидкости возрастает и ламинарное течение грозит перерасти в турбулентное, механорецепторы стимулируют синтез оксида азота, расширяющего просвет сосудов. Это один из способов нормализовать скорость потока и избежать турбулентности.

Если достичь этого не удалось, клетки эндотелия по сигналу механорецепторов поглощают липопротеиновые частицы. Со временем вокруг частиц образуются фиброзные капсулы, которые выпирают в просвет сосуда и влияют на течение крови,

восстанавливая ламинарность. Таким образом артериальные сосуды могут адаптироваться к умеренному стрессу.

Если же стресс затягивается, поддерживать ламинарность потока все труднее. Сосуды постоянно расширены, поток крови сильный. В таких условиях фиброзные капсулы истончаются и рвутся, что приводит к образованию и отрыву тромба. При другом сценарии эти капсулы могут разрастаться, превращаясь в атеросклеротические бляшки. Бляшки сужают просвет сосудов и нарушают мозговое кровообращение, повышая риск развития атеросклероза и неизбежных осложнений.

По данным эпидемических исследований, люди, чувствительные к стрессу, чаще заболевают атеросклерозом и умирают от его последствий. Причем среди них должны преобладать люди худощавого сложения, потерявшие подкожный жир и накопившие висцеральный.

Участь стрессоустойчивых

Горемык, которые не могут адаптироваться к хроническому стрессу, примерно треть. Остальные к нему привыкают. Это значит, что они бурно реагируют только на первый из повторяющихся однотипных стрессорных факторов, например скандал на работе, а их отклик на последующие ежедневные скандалы гораздо слабее как по времени, так и по изменениям работы нейроэндокринной, сердечно-сосудистой и метаболической систем.

За способность адаптироваться к стрессу отвечает эндоканнабиноидная система, механизм этот довольно сложен, мы его сейчас разбирать не будем. Но в результате адаптации секреция глюкокортикоидов и активация СНС существенно ослаблены. Это значит, что сигналы, усиливающие кровоток и его турбулентность, поступают реже, поэтому для людей с высокой стрессоустойчивостью риск смертности от сердечно-сосудистых заболеваний меньше, даже если они живут в неблагоприятных условиях. Однако, избавившись от одной проблемы, они приобретают другую. Ослабленный ответ СНС и оси ГГН приводит к тому, что мозг уже не может влиять на синтез инсулина и таким путем отнимать глюкозу у остального тела. А поскольку дополнительная энергия при стрессе ему все равно нужна, недостаток глюкозы он восполняет, заставляя человека больше есть. У стрессоустойчивых людей в критических ситуациях просыпается аппетит, и тут они рискуют перебрать калорий. Излишки откладываются в виде подкожного жира.

Есть несколько линий доказательств того, что низкая восприимчивость к стрессу связана с увеличением массы тела. Согласно эпидемиологическим данным, устойчивые к стрессу люди рискуют расплыться в течение десяти лет. Экспериментальные исследования свидетельствуют, что корпулентные особы слабо реагируют на ментальный и психологический стресс, а после еды их чувствительность к инсулину практически не меняется — это значит, что мозг не отбирает у тела глюкозу. Во время психосоциальных потрясений полные люди менее тревожны и печальны и лучше себя чувствуют физически.

Человек, который, испытывая стресс, ограничивает свой аппетит, поступает опрометчиво, поскольку недокармливает мозг и плохо соображает. Слишком серьезная нехватка

Индекс формы тела (ИФТ) связывает индекс массы тела (ИМТ), обхват талии (ОТ) и рост (h).

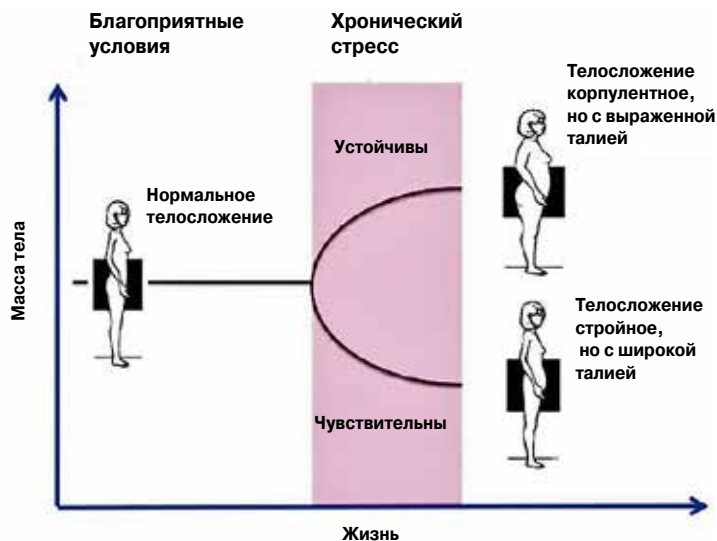
$$\text{ИФТ} = \text{ОТ} / \text{ИМТ}^{2/3} \times h^{1/2}, \text{ где } \text{ИМТ} = m/h^2.$$

Массу измеряют в килограммах, линейные показатели — в метрах. Тогда размерность ИФТ — $m^{11/6} \text{ кг}^{-2/3}$. Неудивительно, что обычно ее опускают.

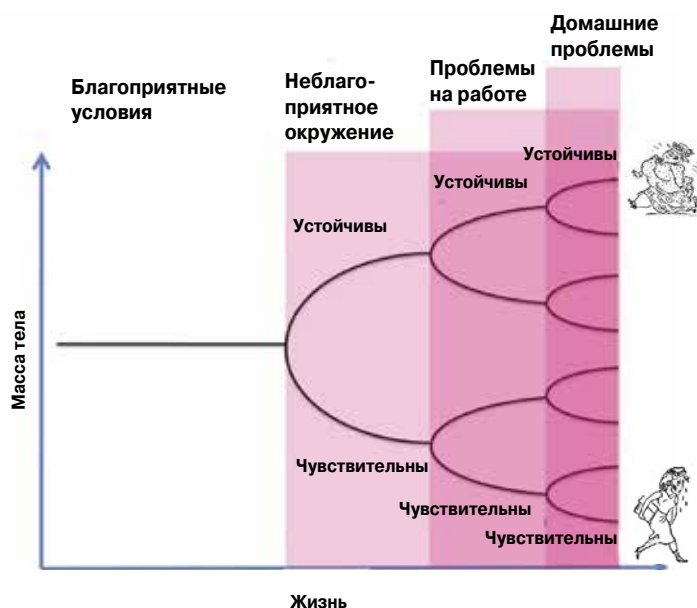
энергии для мозга приводит к нездоровому похуданию. А еще замечено, что еда после перенесенного стресса, особенно богатая углеводами, необязательно сладкими, заметно повышает настроение. Таким образом, люди, подверженные стрессу, рискуют приобрести излишний вес и корпулентное телосложение.

Фигура и судьба

Итак, у нас намечилось три основных типа фигуры, отражающих условия жизни человека (рис. 2). Первый фенотип принадлежит субъекту, живущему в исключительно благоприятных условиях. У него достаточно денег, его все любят, он успешен на работе и исполнен чувства собственного достоинства. Такой человек хорошо сложен, его сердечно-сосудистая система в порядке.



2 Телосложение человека зависит от внешних условий и устойчивости к стрессу



3 Жизнь полна разнообразных стрессов, к одним человек устойчив, к другим нет

Человек, который испытывает стрессы, но устойчив к ним, набирает вес и сложение имеет корпулентное: подкожный жир распределен равномерно. Избыточная масса тела по-разному может влиять на риск смерти от сердечно-сосудистых



заболеваний невысок. И наконец, люди, живущие в условиях постоянного стресса, к которому чувствительны, остаются стройными, но накапливают большое количество висцерального жира. Поэтому у них, по выражению авторов статьи, широкая талия, хотя ее можно было бы назвать отвисшим животиком. Люди такого телосложения чаще страдают от депрессии и риск умереть от сердечно-сосудистых заболеваний для них высок.

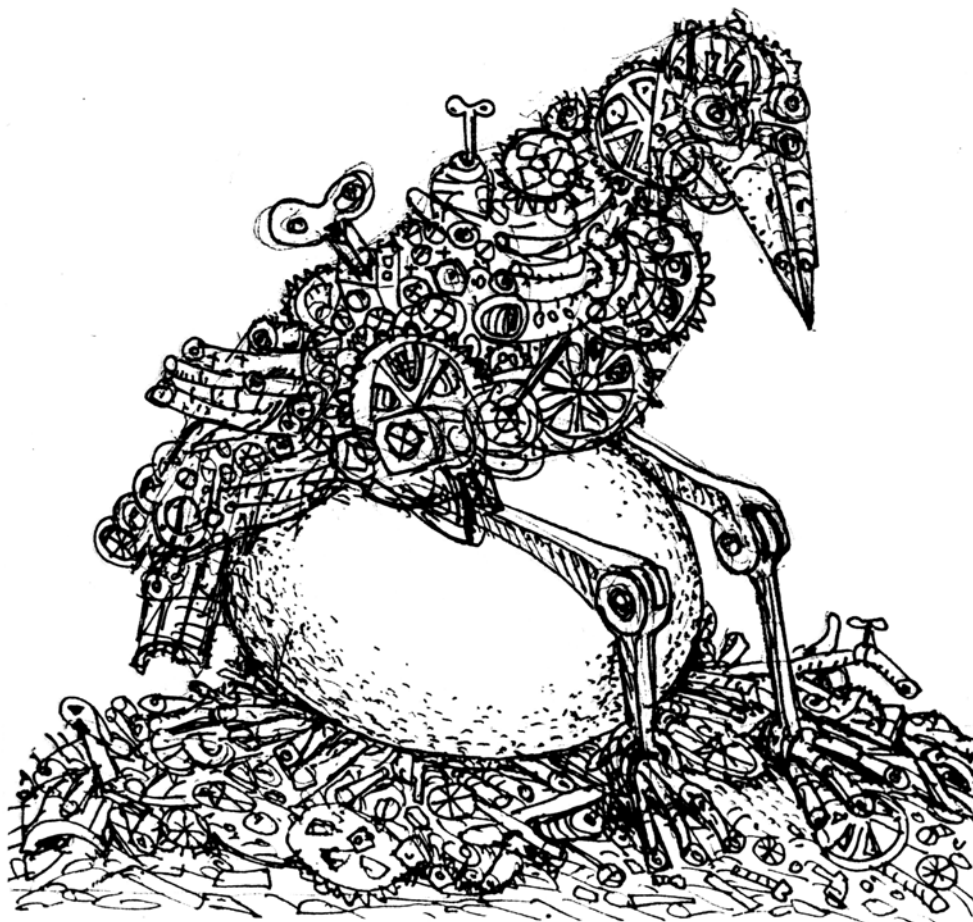
Эти выкладки нашли подтверждение в исследованиях Брюса Мак-Ивена и его коллег, которые сравнивали устойчивость людей с разными типами телосложения к хроническим стрессам. Именно стройные особы с широкой талией переносили такие стрессы хуже всех.

Однако, оглядевшись вокруг, мы увидим, что фенотипов не три, а значительно больше. А все потому, что жизнь разнообразна и стрессовых факторов в ней много. И если кто-то научился стойко переносить домашние неурядицы, это не значит, что он также невозмутимо выдержит регулярные неприятности в другой сфере жизни. На каждую новую угрозу человек будет реагировать по-своему: к чему-то приспособится, к чему-то нет. В результате мы получим целую линейку фенотипов. Эту идею Мак-Ивен и Питерс проиллюстрировали рисунком, показывающим возможную реакцию на разные стрессы (рис. 3). Итоговые фенотипы читатели при желании могут вообразить сами.

Чтобы как-то классифицировать это разнообразие и оценивать риск смертности, исследователям нужен критерий. Традиционно используемый индекс массы тела — отношение массы в килограммах к квадрату роста в метрах — для этого не годится (см. «Химию и жизнь», 2014, 1). Он не позволяет определить, насколько человек тучен и сколько в нем висцерального жира; большой индекс массы тела может иметь атлет с развитой мускулатурой.

Американские медики Нир и Джесси Кракауер предложили новый показатель — «индекс формы тела», который описывает риск, связанный с накоплением висцерального жира («PLoS ONE», 2012, 7, e39504, doi: 10.1371/journal.pone.0039504). Он учитывает соотношение индекса массы тела и обхвата талии. Индекс формы тела довольно точно предсказывает риск смертности в Соединенных Штатах и Британии. При пропорциональной фигуре он низок (меньше единицы), при корпулентной с выраженной талией — от единицы до двух, а при худощавом сложении с широкой талией может превышать два с половиной. Индекс формы тела позволяет выявить опасный фенотип и обратить на него особое внимание, то есть научить таких людей стойко переносить стрессы, а еще лучше — улучшить им среду обитания, чтобы они меньше беспокоились и лучше себя чувствовали.





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

**оплатить труд журналистов, редакторов,
художников и корректоров вы можете
по адресу:**

**[http://www.hij.ru/buy_subscribe/
kiosk_onpayvznos.php](http://www.hij.ru/buy_subscribe/kiosk_onpayvznos.php)**

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



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

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

Популяционная генетика,

или Зачем жалеть котиков



— Знал бы прикуп — жил бы в Сочи, — пробурчал Коля, с грустью глядя в свои карты. Мы играли в преферанс, и ему нещадно не везло.

— Неисповедимы игры судьбы, — засмеялась я, — карты — они ведь как гены, что досталось, с тем и живи.

— О нет, опять... — закатила глаза Оксанка.

В углу над своими кубиками лялякает Маргоша, очень симпатичная смесь генов моих друзей. Она пока не задается вопросом, почему она именно такая, какая есть, и какими превратностями судьбы ей достались ее пол, ее внешность, ее карие глаза. А вопрос «почему» здесь и задавать не очень корректно — судьба перетасовала свои карты и вытянула Маргошу.

Но если рассматривать не одного человечка, а целую нацию или популяцию, то можно проследить некоторые правила, по которым играет природа. Ими занимается популяционная генетика — раздел генетики, изучающий закономерности наследственности и изменчивости на уровне популяций. Ее считают одной из основных составляющих современной эволюционной синтеза — сегодняшней теории эволюции, которая конечно же не «опровергает Дарвина» (как считают некоторые люди), а дополняет его теорию всем, что мы узнали после него.

Популяция — это совокупность особей одного вида, длительно занимающая определенное пространство и воспроизводящая себя в течение большого числа поколений. Как разделить человечество на популяции — и стоит ли вообще это делать, — вопрос тонкий: с одной стороны, межнациональных браков сейчас намного больше, чем век назад, с другой — до полной панмиксии (свободного скрещивания разнополых особей в популяции) мы еще далеки, и вероятность зачать ребенка от своего соотечественника все же выше, чем от жителя другого континента.

В основе популяционной генетики лежит закон, сформулированный в 1908 году английским математиком Годфри Харолдом Харди и немецким врачом Вильгельмом Вайнбергом. Давайте рассмотрим его подробно.

Допустим, у нас есть популяция диплоидных организмов (то есть таких, у которых во всех клетках, кроме половых, содержатся две копии генома, и между этими копиями возможны мелкие различия). Пусть некий локус представлен двумя аллелями — **A** и **a**, p — частота встречаемости аллеля **A**, q — аллеля **a**. При

ряде допущений (бесконечно большая популяция, панмиксия, отсутствие мутаций, перекрытия поколений, дрейфа генов, естественного отбора — скажем прямо, непростое условие! — а также обмена с другими популяциями) частоты встречаемости аллелей постоянны со сменой поколений и соответствуют уравнению

$$p^2 + 2pq + q^2 = 1.$$

Это и есть закон Харди — Вайнберга. Доказать его легко: если p — отношение количества аллелей **A** к сумме аллелей **A** и **a**, а q — отношение количества аллелей **a** к той же сумме, то $p + q = 1$. Возведем обе части уравнения в квадрат: $(p + q)^2 = 1^2$. Раскрываем скобки и получаем закон Харди — Вайнберга.

В квадрат возводили не просто так — все три слагаемых здесь имеют прямой биологический смысл: p^2 — частота встречаемости гомозигот по аллелю **A** (**AA**), q^2 — по аллелю **a** (**aa**), $2pq$ — частота встречаемости гетерозигот **Aa**. Почему это так, здесь разбирать не будем, а самые пытливые пусть почитают про условную вероятность.

На графике (внизу слева) показана зависимость частот встречаемости доминантных и рецессивных гомозигот и гетерозигот от частот встречаемости аллелей. Если $p = q$, то получаем расщепление в соотношении 0,25:0,5:0,25, или, что то же самое, 1:2:1 — вспомните менделевский горошек.

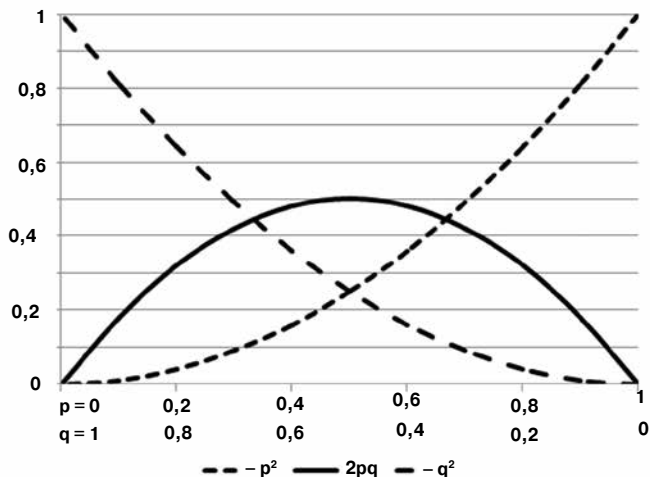
Похожее уравнение можно вывести, если аллелей больше двух, — например, для системы групп крови АВО. Четыре группы крови определяются тремя аллелями, то есть каждая из двух копий гена может принимать одно из трех значений — **A**, **B** и **O**. (Два первых варианта кодируют два фермента, которые производят антигены крови — вещества, вызывающие иммунную реакцию при переливании «не той» группы, а третий фермента не кодирует, потому и обозначен 0.) Здесь будет уже три частоты встречаемости: для аллеля **A** — p , для **B** — q , для **O** — k . Для трех вариантов аллелей уравнение Харди — Вайнберга будет выглядеть так:

$$p^2 + 2pq + q^2 + 2qk + k^2 + 2kp = 1.$$

Зная распределение групп крови в популяции, можно рассчитать, подчиняется ли оно этому уравнению. Возьмем усредненные значения по всему миру. Это довольно смелое допущение, потому что от нации к нации эти данные сильно варьируются: например, все перуанские индейцы — обладатели первой группы крови, у них нет даже иллюзии выбора. У других народов, как правило, интрига есть: от родителей можно унаследовать различные комбинации. Поэтому бывает очень обидно, когда генотип твоей мамы — **AO**, папы — **BO** и у тебя был шанс попасть в 5% избранных людей с четвертой группой крови **AB**, а досталась такая банальная первая (**OO**). Ну не будем о личном.

Итак, если выразить экспериментальные данные через частоты встречаемости аллелей, выходит такая таблица. Обратите внимание, что I и II группа крови может получиться двумя сочетаниями генов.

Генотип (группа крови)	Частота встречаемости (экспериментальные данные)	Частота встречаемости, выраженная через частоты встречаемости аллелей
0 (I)	0,41	p^2
AA, A0 (II)	0,32	$q^2 + 2pq$
BB, B0 (III)	0,22	$k^2 + 2kp$
AB (IV)	0,05	$2qk$



Мы получаем систему из четырех уравнений с тремя переменными: $p^2 = 0,41$; $q^2 + 2pq = 0,32$ и т. д. Из первых трех уравнений находим p , q и k , подставляем найденные значения в четвертое уравнение, и, если оно оказывается верным, значит, закон выполняется. В нашем примере так и есть — как, впрочем, и у перуанских индейцев, у которых $p = 1$, $q = 0$, $k = 0$ и уравнение Харди — Вайнберга схлопывается просто в $p = 1$.

Несмотря на то что необходимые допущения требуют нереальной, идеализированной ситуации, этот закон применим во многих случаях. Возьмем, например, дальтонизм — не такая уж страшная напасть: едва ли кто-то отречется от любимого, узнав, что тот не может отличить красный от зеленого, да и погибнуть из-за этого сложно, если не садиться за руль. Так что естественный отбор здесь почти не действует. Болезнь сцеплена с полом, ген находится на X-хромосоме. Поэтому если частота встречаемости гена дальтонизма в популяции равна p , то доля мужчин-дальтоников тоже будет p (X-хромосома у них одна). Женщины же должны достаться гены дальтонизма на обеих X-хромосомах, иначе болезнь не проявится, поэтому доля больных женщин должна составлять p^2 . Наблюдения это подтверждают: например, доля мужчин, страдающих невосприимчивостью цветов красно-оранжевого спектра — протанопией — равно примерно 0,013, женщин — 0,002.

Более грустный случай — гемофилия, тоже сцепленная с полом болезнь. Женщины с несвертываемостью крови встречаются намного реже, чем женщины-дальтоники, потому что страдающие от этой болезни мальчики часто не доживают до зрелости и не заводят детей. В силу вступает естественный отбор, направленный против рецессивных гомозигот и тем самым нарушающий закон Харди — Вайнберга.

Дж. Мэйнард Смит в своей книге «Математические идеи в биологии» рассчитал, каким будет распределение частот, если отбор все-таки присутствует и направлен, как это часто бывает, против рецессивных гомозигот. В этом случае частоты встречаемости уже не останутся постоянными: особи с генотипом aa гибнут и q с каждым поколением уменьшается. Для примера Смит взял воображаемую популяцию, в которой $p = 0,001$, $q = 0,999$ и всего 1% рецессивных гомозигот умирает, не успев размножиться (см. таблицу). Здесь видно, что частота p «хорошего» аллеля A за 231 поколение увеличивается в десять раз, примерно за столько же времени — еще в десять, а потом процесс постоянно замедляется, так как частота q «плохого» аллеля падает и гомозигот, против которых идет отбор, становится все меньше и меньше. Короче говоря, естественному отбору трудно уничтожить «плохой» аллель полностью.

Интересна и трагична история еще одной знаменитой болезни — серповидноклеточной анемии, широко распространенной в африканских странах. Кстати, она поясняет, почему «плохой» и «хороший» применительно к аллелям лучше писать в кавычках. Болезнь передается по аутосомно-

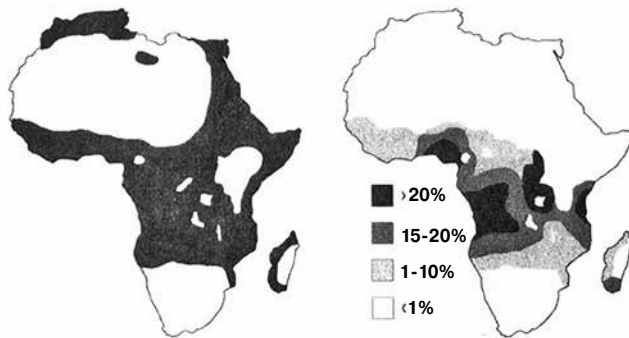
p	Кол-во поколений
0,001	0
0,01	231
0,1	482
0,5	791
0,9	1811
0,99	11052
0,999	101283

рецессивному типу, то есть проявляется у людей, гомозиготных по рецессивному признаку. Казалось бы, естественный отбор должен был давно вымести этот аллель из популяции, что и происходит на других континентах — в США этой болезни подвержен всего 1 из 500 чернокожих детей. Но в Африке все не так просто. Гетерозиготы — здоровые люди, несущие «больной» аллель, — оказались более устойчивыми к малярии, чем гомозиготы с обоими здоровыми аллелями. Больные люди, сами того не желая, жертвуют собой во имя поддержания в популяции гена, который убивает их, но спасает в два раза больше



соотечественников. Здесь идет отбор в пользу гетерозигот: малярия убивает доминантных гомозигот, серповидноклеточная анемия — рецессивных.

«Genetics», 2004, 166, 4, 1591–1599, doi: 10.1534/genetics.166.4.1591



Слева — распространение малярийных комаров в Африке, справа — доля носителей аллеля серповидно-клеточной анемии

Каждый из нас, сам того не подозревая, несет в своих генах какую-нибудь рецессивную гадость, прикрытую здоровым доминантным геном. Например, амавротическая идиотия, ведущая к слепоте и смерти, встречается всего у одного из 40 000 человек. Несложно посчитать, что если $q^2 = 1/40\,000$, то $q = 1/200$, $p = 1 - q = 199/200$, $2pq = 0,01$. То есть каждый сотый человек несет в себе скрытый ген этой болезни! К счастью, вы можете сильно уменьшить вероятность рождения больного ребенка, если вашим избранником будет не близкий родственник, а какой-нибудь папуас. Если же в вашей семье есть наследственные заболевания, не мешает проверить, не носитель ли вы нехорошего гена, — в наш развитый век необязательно жить в Сочи, чтобы знать прикуп.

Ну да что мы всё о болезнях да о болезнях. Давайте поговорим об инцесте. При близкородственном скрещивании возникает опасность, что оба родителя получили одну и ту же вредную мутацию от общего предка. Мэйнард Смит вводит понятие коэффициента родства — это характеристика пары особей, которая выражает вероятность того, что два гена, каждый из которых случайным образом выбран из некоего аутосомного локуса одной из особей, окажутся идентичными. Чем выше степень родства родителей — тем хуже для потомков. При последовательном скрещивании между братьями и сестрами в ряде поколений происходит «гомозиготизация» — все больше и больше локусов становится гомозиготными. Геном обедняется, сильно повышается вероятность получить болезнь по аутосомно-рецессивному типу. Результаты мы каждый день видим на картинках в соцсетях: именно так выводят породы животных — скрещивают между собой обладателей особо ценных (для заводчика) признаков, и чем более редки признаки, тем вероятнее, что это будут родственники. Именно так котики приобретают особо умильную внешность, а вместе с ней — пучок болячек и низкий иммунитет. Неужели это лучше, чем столь ненавидимые многими ГМО?..

— Маргоша, а ты подчиняешься закону Харди — Вайнберга?
— Не-не-не-не-не! — запротестовала маленькая бунтарка и почему-то закивала.



Омела *Amyema cambagei* (слева) паразитирует на дереве *Casuarina cunninghamiana* (справа) и очень похожа на своего хозяина

Притворяшки

Растения могут многое. Они, например, в совершенстве овладели искусством мимикрии и своим притворством способны обмануть даже человека.

Есть два основных типа растительной мимикрии. Один обеспечивает защиту от травоядных, прибегающие к нему растения приобрели сходство с другим видом, невкусным или несъедобным. Другой тип позволяет привлечь полезных животных, например опылителей, не давая им ничего взамен. В этом случае невкусное растение притворяется тем, чьи цветки полны нектара. Оба типа мимикрии работают благодаря опыту, который приобрели животные в результате общения с моделью, то есть с объектом, которому подражает имитатор, и позволяют растению бессознательно управлять поведением животных («Current Biology», 2016, 26, R784—R785).

Великолепный пример защитной мимикрии демонстрируют разные виды пассифлоры (*Passiflora*), по-русски страстоцвета. У пассифлоры изумительной красоты цветки, за что ее разводят как комнатное растение. А у нее на родине, в Центральной и Южной Америке, пассифлору нещадно поедают лишенные чувства прекрасного гусеницы бабочек-геликонид. Однако



1 Нектарные желёзки на листе *Passiflora pardifolia* напоминают кладку бабочки



2 Фи, какая грязь! Белые пятна на листьях медуницы имитируют птичий помет

листья пассифлоры покрыты желтыми пятнышками — нектарными желёзками, напоминающими кладки бабочек (рис. 1). Бабочка воспринимает чужую кладку как табличку «Столик зарезервирован» и не откладывает яйца на занятый лист. Так растениям удается избежать поедания. А нектар из этих желёзок выделяется очень сладкий.

А вот еще одно растение, медуница лекарственная *Pulmonaria officinalis*. Ее листья богаты витаминами, и весной даже люди едят их как салат. Кроме того, цветоводы ценят их за белые пятна, некоторым они кажутся красивыми. Между



3 Ежовник обыкновенный *Echinochloa crus-galli* на рисовом поле

тем медуница пытается с помощью этих пятен защититься от крупных травоядных — притворяется, что ее листья испачканы птицами (рис. 2). Вдруг такое грязное растение есть не захотят?

Человека медунице не обмануть, а многим растениям из рода *Echinochloa* (ежовник) это удастся. Эти сорняки, растущие на рисовых полях, так здорово притворяются рисом, что крестьяне с трудом различают их при прополке (рис. 3).

Во многих случаях мимикрия растений служит насущным целям размножения. Вот, например, южноафриканская орхидея *Disa ferruginea* (рис. 4). Она нуждается в опылителе, однако привлечь насекомых не может, поскольку не производит нектар. Вместо того чтобы наладить его синтез, она притворяется другим растением, *Kniphofia uvaria*, которое охотно посещают бабочки. У книфофии, которая, кстати, не орхидея вовсе и принадлежит к другому семейству, асфodelовых,



4

Орхидея *Disa ferruginea* (в центре) притворяется то *Tritoniopsis triticea* (слева), то *Kniphofia uvaria* (справа)

оранжевые цветки. У дисы, растущей по соседству, тоже. Бабочки, порхая от цветка к цветку, иногда ошибаются и садятся на имитатора. В других местах эта безнектарная орхидея растет среди *Tritoniopsis triticea* из семейства ирисовых. Это растение опыляет другой вид бабочек, и цветки у него красные, а не оранжевые — красные они в этом случае и у дисы. Успех мимикрии обусловлен не только сходством с моделями, но и их численным преобладанием над орхидеей. Иначе бабочки, слишком часто натываясь на цветки без нектара, перестали бы опылять и модель, и имитатора.

Некоторые насекомые, спасаясь от хищников, прикидываются какой-нибудь частью растения — листом, шипом, веточкой. Цветки европейских орхидей рода *Ophrys* напоминают самок насекомого-опылителя, причем не только видом, но и запахом, который привлекает самцов: пытаясь спариться с красавицей, они опыляют орхидею. Таким образом, растительные молекулы действуют на обманутых насекомых как половые феромоны (рис. 5). Вот это мимикрия!

Иногда растение прибегает к мимикрии ради достижения нескольких целей сразу. Австралийские омелы, по-видимому, защищают себя от поедания и обеспечивают размножение.



5

Цветок *Ophrys insectifera* так похож на самку роющей осы, что поверили три самца сразу

Омелы — паразитические растения, которые поселяются на деревьях и пьют их соки. В Австралии они чрезвычайно напоминают своих хозяев. Это сходство, скорее всего, возникло несколько раз у разных видов и может быть важной эволюционной чертой австралийских омел. Каждый вид паразитирует на определенном хозяине, благодаря чему и возможна мимикрия.

Самая яркая пара — *Амуета саббей*, растущая на деревьях семейства казуариновых (рисунок в начале статьи). Когда растения не цветут, различить их практически невозможно.

Казуарины — цветковые растения. Их длинные мягкие стебли, собранные в метелки, напоминают оперение казуаров, в честь которых семейство и получило свое название. А листья омелы формой и размером очень напоминают эти стебли.

У исследователей есть два объяснения, до конца не доказанных, но весьма правдоподобных. Первая версия заключается в том, что омела таким образом защищается от травоядных. Ее нежные листья не содержат токсинов и гораздо вкуснее веточек казуарины, поэтому любое растительноядное без колебаний предпочтет омелу. От гусениц внешним сходством не спастись, поскольку они, выбирая корм, ориентируются в основ-



ЗЕМЛЯ И ЕЕ ОБИТАТЕЛИ

ном по запаху. Остаются позвоночные травоядные, лазающие по деревьям. Исключим специализированных животных, таких как коала, и вот они, основные потребители омелы, — щеткохвостые поссумы *Trichosurus*. Там, где численность этих ночных травоядных сокращается, омелы становятся заметно больше, а когда поссумов завезли в Новую Зеландию, тамошние омелы сильно пострадали. Так что *Trichosurus* действительно угрожают омелам, и растения прячутся среди веток хозяина в надежде, что животное в темноте их не заметит.

Альтернативная гипотеза объясняет мимикрию омел приспособлением к пищевому поведению птиц. Птицы разносят семена, и для паразита жизненно важно, чтобы они попали именно на хозяина, а не на дерево другого вида. Поэтому в качестве переносчика омел интересуют именно те птицы, которые кормятся на казуаринах вне зависимости от того, растет ли на них омела. Это заодно повысит вероятность, что семена паразита попадут на незараженное дерево. Некоторые орнитологи согласны с этой гипотезой.

Возможно, механическая защита от травоядных оказалась бы дешевле и эффективнее. Однако растения продолжают притворяться, а значит, дело того стоит.

Н. Анина

Мимикрия — подражательное сходство одного организма с другим. Она подразумевает наличие конкретной модели (объекта для подражания). Иногда в качестве примера мимикрии приводят насекомоядные растения — непентесы. Их ловчие кувшинчики представляют собой видоизмененные листья, которые окраской и формой напоминают цветки и тем привлекают насекомых (о них см. «Химия и жизнь», 2016, 1). Однако таких цветков, по образцу которых созданы кувшинчики непентесов, в природе не существует, поэтому данный случай, строго говоря, нельзя считать мимикрией.

Мимикрию также не следует путать с **маскировкой**, делающей объект менее заметным на фоне окружающей среды. Растениям она тоже свойственна. Так, в Новой Зеландии растет дерево *Pseudopanax crassifolius*. Выглядит оно вполне обыкновенно, однако его проростки, едва показавшиеся из земли, имеют листочки коричневые в крапинку и чрезвычайно узкие («Plant Signaling & Behavior», 2010, 5, 9—13). Специалисты полагают, что так юное растение пряталось от птицы моа, которая запросто могла его выдернуть и целиком проглотить. Крапчатые листья псевдопанакса делают его практически незаметным на земле, покрытой опавшими сухими листьями.

Об антифризах — белках и не только

Кандидат химических наук
А.И.Курамшин

Жизнь в полярных широтах сложна и полна ужасов. Соленая морская и океанская вода не замерзает до -2°C , такой холод вполне может погубить живое существо. Однако некоторые животные, неспособные регулировать температуру собственного тела, приспособились к этим температурам. Например, отдельные виды рыб весьма счастливы жизнью, которую ведут в туннелях и дырах, образующихся в плавающих островах из морского льда. Выживать в таких экстремальных условиях им, как и многим другим обитателям полярных широт, помогают сформировавшиеся в ходе эволюции вещества — белки-антифризы, о которых и пойдет речь.



Фото: Грэм Монгмерри
Eric Heupel (www.flickr.com)

Впервые эти вещества были открыты при изучении антарктических рыб в конце 1960-х годов. С тех пор минуло полвека, и оказалось, что многие другие биологические организмы вырабатывают сходные по структуре соединения, не дающие ледяным кристаллам образоваться в их теле. Рыбы, с изучения которых все началось, выдерживают охлаждение только до $-1,9^{\circ}\text{C}$, а наземные организмы могут выживать в такие холода, по сравнению с которыми -2°C кажутся жарой. Более эффективные, чем у рыбы, белки-антифризы найдены у многих представителей флоры и фауны, а рекордсмены по холодостойкости — проживающие на Аляске жуки *Dendroides canadensis*, личинки которых подолгу сохраняют жизнеспособность при температуре -60°C и даже переживают кратковременную заморозку до -100°C (рис. 1).

Несмотря на значительные различия в строении этих соединений, появляются новые и новые свидетельства в пользу того, что все природные «незамерзайки» работают по близкому и не особо сложному механизму. Он интересен не только специалистам по животному и растительному миру Арктики и Антарктики: знание того, как работают природные антифризы, уже используется на практике.

Кровь не леденеет

Белки-антифризы привлекают внимание медиков и производителей замороженных полуфабрикатов в первую очередь биологической совместимостью, а также и тем, что принцип действия этих веществ кардинально отличается от антифризов, применяющихся, например, для защиты двигателей автомобилей. Главный компонент верного зимнего друга автолюбителя — этиленгликоль — понижает температуру замерзания воды за счет коллигативных эффектов: при добавлении его к раствору увеличивается неупорядоченность жидкой системы, и температура замерзания понижается.

1
*Личинка жука *Dendroides canadensis* выживает при отрицательных температурах благодаря белкам-антифризам*

По такому же принципу понижают температуру таяния соли, входящие в состав противогололедных реагентов. Именно из-за растворенных в морской воде солей ее температура замерзания «уходит в минуса» и в среднем составляет -2°C .

В 1960-е годы исследователи, изучавшие кровь антарктических рыб, пытались определить соединения, понижающие ее температуру замерзания. Тогда предполагалось, что морозостойкость обитателей полярных широт тоже связана с коллигативными эффектами, поэтому исследователи искали многоатомные спирты (полиолы) и другие низкомолекулярные соединения, близкие по строению к антифризам, используемым в технике. Представления того времени о физической химии растворов позволяли с уверенностью исключить белки из списка потенциальных антифризов — их концентрации в крови и иных биологических жидкостях полярных животных слишком малы, чтобы они могли понижать температуру замерзания по тому же механизму, что полиолы и соли. Вместе с тем выделенные из крови этих рыб низкомолекулярные вещества также не могли объяснить, почему кровь не замерзает.

Загадку смог разгадать специалист по биологии полярных рыб Артур Деврис (Arthur DeVries), опубликовавший результаты своего исследования в 1969 году («Science», 1969, 163, 3871, 1073—1075, doi: 10.1126/science.163.3871.1073). Он впервые установил, что необычный выделенный из крови полярных рыб гликопротеид — биомолекула, в которой углеводный фрагмент связан с полипептидной цепью, — не дает их крови превратиться в лед (рис. 2).

Вскоре к исследовательской группе Девриса присоединился Джон Дюман. Темой его работы была идентифика-



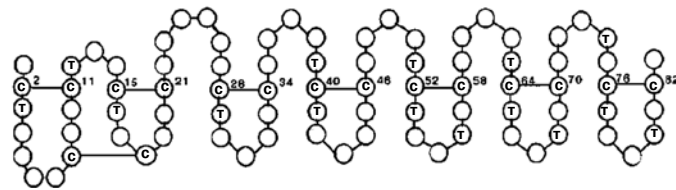
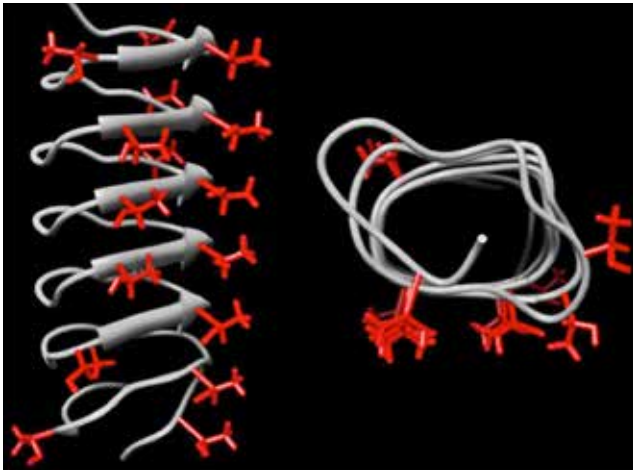
kestreil360 (www.flickr.com)



ЖИВЫЕ ЛАБОРАТОРИИ



wikipedia.org

3
Зимняя камбала *Pseudopleuronectes americanus*«Plant Molecular Biology»,
2002, 50, 3, 353—344

PNAS USA, 2013; 110, 5, 1617—1622

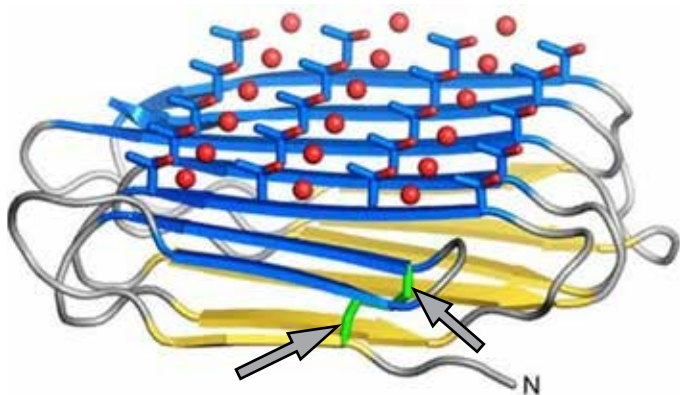
4
Белок-антифриз DAFP-1 жука *D. canadensis*. С и Т — остатки цистеина и треонина. Этот белок не гликозилированный, углеводных групп у него нет. Снизу третичная структура того же белка. Все остатки треонина смотрят в одну сторону — эта сторона и будет взаимодействовать с ледяными кристаллами

ция веществ, понижающих температуру замерзания крови организмов, которые обитают на другом полюсе Земли, в арктических регионах. Дюману посчастливилось обнаружить белок-антифриз зимней камбалы *Pseudopleuronectes americanus* (рис. 3). Этот белок, в отличие от того, который обнаружил Деврис, не содержал углеводного фрагмента («Nature», 1974, 247, 5438, 237—238, doi: 10.1038/247237a0). Обнаружение второго белка-антифриза на какое-то время озадачило ученых — такими разными по строению оказались две биомолекулы, отвечающие за одинаковые свойства.

Защитив диссертацию и начав собственную научную карьеру, Дюман переключился на изучение морозостойчивых насекомых, которыми он и занимается по сей день. Один из самых интересных объектов в этой области — уже упомянутый жук *Dendroica canadensis*: его организм вырабатывает наиболее мощные белки-антифризы. В первичной структуре (то есть попросту в аминокислотной последовательности) одного из этих белков регулярно встречаются остатки треонина и цистеина, причем цистеины образуют дисульфидные мостики, укладывая белок зигзагом. Вторичная структура белка-антифриза — β -складчатая, а третичная обеспечивает равномерное распределение гидроксильных групп треонина по одной плоской стороне белка (рис. 4). Детальное строение этих белков различается не только у разных подвидов *D. canadensis*, но даже у насекомых, относящихся к одному биологическому виду. Дюман и его коллеги смогли обнаружить около 30 различных подтипов белков-антифризов, строение которых обеспечивает наиболее эффективную работу в различных отделах организма жука (или его личинки), от пищеварительной и кровеносной системы до покровных тканей.

Питер Дэвис, биохимик из канадского Университета Королевы Марии, изучающий соотношение «структура — свойства» белков-антифризов, отмечает, что строение этих белков зависит от того, к какому царству принадлежит организм, вырабатывающий антифризы, и от примерного времени, когда животное или растение (или их эволюционные предки) смогли «создать» белки, защищающие от холода. В настоящее время среди них известны белки и со спиральной, и со складчатой вторичными структурами, и простые, и сложные, с глобулярной или фибриллярной третичной структурой.

Тем не менее у них, по словам Дэвиса, есть общие структурные мотивы. Обычно одна из поверхностей белков-антифризов плоская, довольно часто гидрофильная, в некоторых случаях на ней располагаются регулярно повторяющиеся



5
Кристаллическая структура белка-антифриза жука *Rhagium inquisitor* со связанными молекулами воды. Гидрофильные фрагменты треонина обозначены стержневыми моделями, вода – сферами, дисульфидные связи между остатками цистеина показаны стрелками

группы (рис. 5). Именно благодаря этой поверхности и понижается температура замерзания — с ней связываются зарождающиеся кристаллики льда, а она ограничивает их дальнейший рост.

От теории к практике

Еще в 1971 году Деврис предположил, что белки-антифризы могут препятствовать росту кристаллов льда («Science», 1971, 172, 3988, 1152—1155, doi: 10.1126/science.172.3988.1152). Это предположение блестяще подтверждается при изучении формы кристаллов, образующихся в присутствии белков-антифризов. Обычно кристаллы льда формируются в виде призм с шестью прямоугольными гранями и двумя шестиугольными основаниями, причем площадь оснований меньше площади боковых граней. Белки-антифризы рыб связываются с прямоугольными гранями ледяной призмы, не позволяя новым молекулам воды присоединяться к ним. Доступными для молекул воды остаются только шестиугольные грани-основания, что значительно замедляет рост кристаллов.

Для подтверждения этого механизма Дэвис и его коллеги проводили направленный мутагенез, изменяя определенные участки различных белков-антифризов, и убедительно доказали, что за связывание льда отвечает именно плоская гидрофильная поверхность белка. В настоящее время исследователи считают, что они вплотную подошли к пониманию взаимодействий белка и кристаллов льда на молекулярном уровне.

Как поясняет Дэвис, механизм, который в настоящее время предложен для белков-антифризов рыб, возможно, применим ко всем белкам, собирающим на одной из своих поверхностей воду и кристаллы льда. Предполагается, что он напоминает механизм образования слоя квазижидкой воды на ледяных кристаллах, только вместо квазижидкой воды с кристаллом льда взаимодействуют гидрофильные фрагменты белка.

Хотя такой слой белка, имитирующий поведение квазижидкой воды на поверхности кристалла льда, пока невозможно наблюдать непосредственно, Дэвис с коллегами, используя кристаллографическое исследование белков и их квантово-химическое моделирование, собрали достаточно свидетельств в пользу такой модели. Дэвис заявляет, что большим прорывом было бы детальное изучение кристаллических структур надмолекулярных ассоциатов белков-антифризов со льдом. По его словам, результаты компьютерного моделирования свободных белков очень хорошо согласуются с результатами их исследования с помощью рентгеноструктурного анализа, однако для окончательного вывода необ-

ходимо получить еще и кристаллические структуры белков, связанных с водой.

Белки-антифризы интересны не только с точки зрения эволюционной и молекулярной биологии, они уже нашли практические применения. Так, в некоторые сорта мороженого фирмы «Unilever» добавляют «лед-формирующий белок» — так в списке ингредиентов называют белок-антифриз. Он нужен не для того, чтобы понизить температуру замерзания мороженого (и конечно же не для того, чтобы получить десерт со вкусом рыбы), здесь эксплуатируется другой талант белков-антифризов — способность ограничивать размеры кристаллов. Даже при небольшой добавке такого белка текстура мороженого сохраняется после очень глубокой заморозки, кристаллики льда не хрустят на зубах. Продукты питания, содержащие белки-антифризы, продаются в США и Австралии с начала 2000-х годов, а в 2009 году «Unilever» получил и разрешение Евросоюза. Разумеется, в промышленных количествах эти белки выделяют не из обитателей полярных широт, а из генетически модифицированных дрожжей.

Применение белков-антифризов сдерживается страхом потенциальных потребителей перед ГМО. Так, по словам Дэвиса, одна из интересных задач, которые можно было бы решить, — выведение устойчивых к низким температурам лососевых рыб. Идея проста: нужно внедрить в геном рыбы или даже растения ген, отвечающий за синтез белка-антифриза. Это позволило бы продлить время выращивания растений, а также выращивать сельхозкультуры или промысловую рыбу в гораздо более холодных регионах. В настоящее время у исследователей достаточно информации, чтобы получить ГМ-лососа, столь же устойчивого к холоду, как эндемичные для Арктики и Антарктики рыбы. Кстати, быстрорастущая генно-модифицированная семга AquaAdvantage от компании «AquaBounty Technologies» уже признана безопасным пищевым продуктом в США и Канаде. Однако пока нет уверенности в том, что у владельцев рыбохозяйств и потребителей будет пользоваться спросом морозостойчивый лосось.

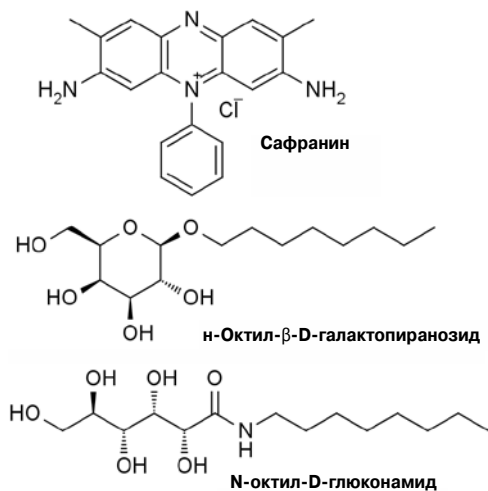
Криоконсервация: чем заменить природные антифризы?

Другая возможная область применения белков-антифризов — криоконсервация органов, предназначенных для трансплантации. Однако здесь эти биомолекулы зарекомендовали себя не так хорошо, как многие надеялись. При контакте с биологическими тканями, подвергающимися криосохранению, белки-антифризы больше вредят им, чем защищают от повреждений. Проблемы возникают при разморозке донорского органа. Как поясняет специалист по химии биополимеров из Университета Уорвика Мэтью Гибсон, внешняя часть органа начинает оттаивать быстрее внутрен-



Фото: Eric Heupel (www.flickr.com)

Печальный глаз зимней камбалы.
Может быть, ей холодно?



6

Низкомолекулярные природные антифризы

ней, это приводит к диспропорции в поглощении энергии в различных участках органа, в результате может начаться быстрое повторное образование кристаллов льда, которые и повреждают донорский орган. Способность белков-антифризов блокировать подход воды к боковым граням ледяных призм в данном случае играет злую шутку: кристаллы растут только со стороны оснований, образуются тонкие и острые ледяные иголки, которые протыкают клеточные мембраны и вызывают некоторые другие проблемы.

Гибсон с коллегами пытаются найти материалы, способные ингибировать кристаллизацию льда, не понижая температуру заморозания воды и не формируя кристаллы льда с опасной формой. В поисках подобных соединений исследователи решили испытать ряд синтетических полимеров, способных связывать воду.

Исследование, проведенное в группе Гибсона, привело к неожиданному результату. Оказалось, что поливиниловый спирт — продукт крупнотоннажного производства, к тому же разрешенный к применению в ряде стран в качестве пищевой добавки, — тоже ингибирует кристаллизацию воды при низких температурах («Polymer Chemistry», 2010, 1, 1141—1152, doi: 10.1039/C0PY00089V). Механизм антифризной активности поливинилового спирта еще менее изучен, чем механизм работы белков-антифризов; загадочности добавляет и то обстоятельство, что синтетические полимеры не образуют регулярных третичных структур, подобных белкам. Единственное, о чем с уверенностью говорят полимерщики из Уорвика, — увеличение молекулярной массы полимера приводит к возрастанию его антифризной активности.

Предположение, что для поливинилового спирта размер имеет значение, опровергается рядом работ, в которых показано, что ингибировать рост кристаллов льда могут и низкомолекулярные вещества, правда, опять же способные связаться с водой (рис. 6). В 2012 году Роберт Бен из Университета Оттавы обнаружил, что понижение температуры заморозания воды и замедление ее кристаллизации могут вызывать низкомолекулярные поверхностно-активные вещества — октилгалактопиранозид и октилглюконамид («Chemical Science», 2012, 3, 1408—1416, doi: 10.1039/C2SC00885H). В 2016 году химики из Нью-Йорка наблюдали ингибирование роста кристаллов льда сафранином — красителем, который используют в биохимических исследованиях для подкрашивания клеточных ядер («Journal of American Chemical Society», 2016, 138, 40, 13396—13401, doi: 10.1021/jacs.6b08267). Исследователи предполагают, что механизм работы низкомолекулярных антифризов немного иной, чем у высокомолекулярных, — малые молекулы с гидрофильными фрагментами просто размещаются на кристалле льда и нарушают устойчивость



ЖИВЫЕ ЛАБОРАТОРИИ

границы раздела между слоем квазижидкой воды, окружающей кристалл, и обычной жидкой водой, что также не дает льду расти. Заметим, что коллигативные эффекты, характерные для других низкомолекулярных соединений — солей и многоатомных спиртов, в данном случае, так же, как и для белков, не играют особой роли.

Не белками едиными

С 1969 года, когда Артур Деврис обнаружил первый белок, защищающий полярных рыб от холода, началась гонка, целью которой были аналогичные или похожие белки других биологических видов. В 1960—1970-е годы все упорно искали только белки, возможно, поэтому открытия природного антифриза, не имеющего белкового строения, пришлось ждать несколько десятилетий.

Такое вещество выделил из организма морозоустойчивого жука *Upis cerambyoides* все тот же Джон Дюман («Proceedings of the National Academy of Sciences USA», 2009, 106, 48, 20210—20215, doi: 10.1073/pnas.0909872106). В его лаборатории несколько месяцев пытались очистить выделенный из личинки жука белок, но все попытки получения чистой фракции оказывались неудачными. Как выяснилось затем, вещество, которое пытались чистить как белок, вовсе не было белком, а представляло собой гликолипид — вещество, содержащее углеводный и липидный фрагменты. (Поскольку к липидам относят любые гидрофобные молекулы, октилгалактопиранозид с октилглюконамидом вполне можно считать синтетическими гликолипидами.)

После открытия гликолипидного антифриза в 2009 году Дюман и его коллеги смогли выделить ингибирующие рост льда гликолипиды из одного вида растения, шести видов насекомых и одной лягушки, поэтому можно предположить, что эти вещества также часто используются в природе для защиты от холода. В отличие от белков-антифризов гликолипиды-антифризы, скорее всего, обеспечивают защиту клеточных мембран. Как полагает Дюман, некоторые виды выработали особый способ борьбы с низкими температурами: хотя их внеклеточная жидкость и замерзает, гликолипиды препятствуют проникновению льда через мембрану и фатальному для организма замерзанию внутриклеточной жидкости. Если это предположение подтвердится, то антифризы природного происхождения для криоконсервации органов будет логичнее искать среди гликолипидов.

В эти зимние дни, поднимая воротник, как парус декабря, стараясь побыстрее попасть из дома на работу, с работы домой, чтобы поменьше оставаться на морозной улице, не забудьте, что есть немало организмов, для которых температура, обычная для наших декабрьских и январских морозов, — не повод для потягивания и анабиоза. Сохранять активность, жить и оставлять потомство при низких температурах этим организмам помогают антифризы природного происхождения — белки и гликолипиды.



Врачи и освоение Арктики

В.А.Острогорская

В прошлом номере мы опубликовали статью об освоении Арктики российскими мореплавателями. Все арктические экспедиции проходили в исключительно сложных условиях, поэтому так велика была роль врачей — участников экспедиций. Как, впрочем, и в любом опасном путешествии...

Враг № 1

Мне, врачу, кажется важным рассказать о некоторых медиках, участвовавших в арктических плаваниях.

Но сначала — об их постоянном противнике, болезни, которая унесла жизни многих полярников, от которой погиб Георгий Седов, а корабль Васко да Гамы в 1495 году потерял на пути в Индию более 100 из 160 членов экспедиции. Это цинга (скорбут, лат. *scorbutus*), заболевание, развивающееся из-за дефицита витамина С. Историки медицины подсчитали, что с 1600 по 1800 год от цинги на кораблях в дальних плаваниях умерло около миллиона моряков — больше, чем погибло во всех морских сражениях того времени.

В первую очередь цинга характеризуется ломкостью сосудов с появлением на теле характерной геморрагической сыпи и кровоточивостью десен. Причина — нарушение синтеза важной составляющей соединительной ткани, коллагена: в его синтезе как раз и участвует витамин С. Коллаген — важный компонент сосудистой стенки. Из-за разрушения коллагеновой сети ослабевают прикрепление надкостницы к костям и фиксация зубов в лунках, что приводит к их выпадению. Поднадкостничные кровоизлияния вызывают боли в конечностях. Кроме того, снижается иммунитет, а также развивается анемия (уменьшение содержания гемоглобина в эритроцитах).

Сейчас всем известно, что витамин С содержится в свежей пище, особенно в некоторых фруктах и овощах. Моряки же в старину во время кругосветных плаваний питались в основном солониной и



сухарями. Меньше умирали от цинги на тех судах, где в рационе были цитрусовые. Доктор медицины Эдинбургского университета Джеймс Линд, главный врач Морского госпиталя Госпорта, провел исследование на больных матросах, в котором доказал, что цитрусовые могут победить цингу. Всего у Линда было 20 больных цингой моряков. Полностью выздоровели те матросы, которым давали лимоны. В 1753 году доктор Линд опубликовал «Трактат о цинге». Сейчас эту работу зачастую называют первым клиническим исследованием в истории медицины.

Однако его открытие не заинтересовало Адмиралтейство Великобритании. Только в 1795 году морское начальство вспомнило о простом способе борьбы с цингой и обязало каждое судно иметь на борту запас лимонов. Но за эти 40 лет от скорбута погибли как минимум еще сто тысяч британских моряков. Кстати, немецкие, шведские, испанские и голландские моряки страдали от цинги

гораздо реже британцев, поскольку в рацион немцев и шведов на кораблях входила квашеная капуста, а испанцы и голландцы запасались лимонами и апельсинами. Знаменитый капитан Джеймс Кук прямо в плаваниях варил матросам для профилактики цинги еловое пиво с сахаром. На российских кораблях со времен Петра Первого моряков кормили, как на голландском флоте, поэтому старались включать в рацион квашеную капусту, лимонный сок и клюкву (Литке Ф.П. Четырехкратное путешествие в Северный Ледовитый океан в 1826—1829 годах. СПб., 1828).

Замечательное описание цинги дал французский врач-хирург Пьер-Мартин де Ламартиньер, который сам перенес эту болезнь, участвуя в датской экспедиции Северной торговой компании 1653 года: «У меня заболело горло, и я с трудом мог глотать, так как железы сильно распухли; это сопровождалось сильным повышением температуры и зудом во всем теле; десны мои рас-

пухли, и из них обильно сочилась кровь; зубы расшатались... тело невероятно ослабло, сделалась изнурительная лихорадка, дыхание стало отрывисто, а изо рта шел дурной запах, и при этом чувствовалась сильная жажда». Ламартиньер приводит подробное описание лечения, которое помогло ему и его больным спутникам. Он «пил, вместо подкисленного питья, водку с водой, приготовил также лакричный сироп, которого выпивал через час по столовой ложке, и не ел ничего, кроме свежей рыбы, часто полоща рот то водкой, то уксусом, чтобы укрепить десны, а зубы чистил розовым медом. Большая часть людей на нашем корабле, — писал Ламартиньер, — заболела той же болезнью, что и я; их я лечил теми же средствами и столь удачно, что через пятнадцать дней я выздоровел, а также и все мои пациенты».

Не менее подробно описана цинга у Петра Людовика Ле Руа (Le Roy). Француз по происхождению, он родился в 1699 году в Везеле и жил в Германии. В 1731 году его пригласили в Россию на должность наставника при сыне Бирона. Ле Руа был назначен экстраординарным академиком на кафедре новой истории, но в 1748 году его уволили со службы в Академии, и вскоре он покинул Россию. Он написал книгу по рассказу двух участников северных приключений — кормщика Алексея Химкова и его сына матроса Ивана Химкова. Сочинение Ле Руа было переведено с немецкого на русский и издано в 1760 году в Риге и Митаве под названием «Приключения четырех российских матросов, к острову Шпицбергену бурей принесенных, где они шесть лет и три месяца жили».

Ле Руа писал, что «цинга есть такая болезнь, которую обыкновенно одержимы бывают мореплаватели, причем примечено, что она имеет свое действие тем сильнее, чем ближе подъезжаешь к полюсу». Для лечения цинги, по мнению Алексея Химкова, который не раз зимовал на Шпицбергене, «...долж-

но: 1) есть сырое и мерзлое мясо, разрезавши его на мелкие кусочки; 2) пить совсем теплую оленью кровь, как скоро его убьешь; 3) делать сколько можно движения телу и 4) есть сырой ложечной травы (Cochlearia) по столько, сколько можно будет» (это местное растение, напоминающее вкусом кресс-салат).

Следует отметить, что методы лечения цинги, описанные у Ле Руа, действительно эффективны, за исключением, пожалуй, рекомендации постоянно двигаться, которая, однако, встречается и в других источниках. Так, например, в «Географических очерках России» (1866) отмечено: «Чтобы не подвергнуться болезни, мореходы стараются как можно меньше спать...» Рекомендация пить сырую оленью кровь также заслуживает внимания, как весьма действенный способ профилактики цинги, давно используемый лопарями и другими населяющими Крайний Север народами. Этот феномен отмечен, например, в работе «Краткое описание образа жизни самоедов и лопарей, народов, обитающих в Сибири: О их вере, о жертвоприношении, о присяге, о учителях веры, о женитьбе, о родинах младенцев, о нравах, о жилищах, о одежде; о болезнях и врачевании оных, о погребении и о проч.» А в «Архангельском сборнике», или «Материалах для подробного описания Архангельской губернии, собранных из отдельных статей, помещенных в разное время в Архангельских губернских новостях» (1863), о питании саамов сказано: «Хлеб печется из ржаной муки, покупаемой в Коле, с примесью толченой сосновой коры, или заболони. Эта примесь, по мнению лопарей, предохраняет их от цинготной болезни». Большой вклад в изучение обычаев народов русского Севера и народных методов лечения цинги также внес руководитель одной из первых академических экспедиций на Кольский Север, доктор медицины, академик Санкт-Петербургской академии наук Иван Иванович Лепёхин (1740—1802), который много путешествовал по побережью Белого моря.

Однако только в XX веке было достоверно установлено, отчего люди болеют цингой. В 1937 году американский биохимик венгерского происхождения Альберт Сент-Дьёрдь фон Нейгирополт синтезировал аскорбиновую кислоту (витамин С), за что ему присудили Нобелевскую премию по физиологии или медицине. Профессиональная деятельность Сент-Дьёрдьи практически всегда была связана с исследовательской работой в области метаболизма клетки и окислительных процессов. Работая в Кембриджском университете, в лаборатории физиолога Фредерика Гоулленда Хопкинса, Сент-Дьёрдьи полу-



ИСТОРИЯ СОВРЕМЕННОСТИ

чил из апельсинов, лимонов, капусты, а также надпочечников животных восстанавливающее вещество, катализатор клеточного окисления — аскорбиновую кислоту, идентичную витамину С, и выделил его кристаллы. Клинические исследования подтвердили, что недостаток витамина С в рационе вызывает у людей цингу (скорбут), отсюда и название аскорбиновой кислоты.

Врач на борту

Практически в каждой полярной морской экспедиции был врач. Врачи не только лечили заболевших на судах, проявляли чудеса героизма, спасали жизни. Они были в этих экспедициях представителями «ученого сословия», часто — единственными. Отправлялись в далекие и близкие поездки на материк, изучали заболеваемость местного населения на Дальнем Севере, лечили, оперировали, а заодно узнавали местные народные методы борьбы с различными заболеваниями, в том числе с цингой. Поражает широкая образованность многих из них. Врачи собирали ботанические и зоологические коллекции, проводили микробиологические исследования, оставили интересные дневники и научные описания. Имена многих из них названы острова; иные так и не вернулись домой.

В экспедиции Толля работал судовой врач Герман Вальтер (1864—1902), орнитолог и бактериолог, участник морских экспедиций за Северным полярным кругом. Он учился в Тартуском университете, где и получил степень доктора медицины. Герман Вальтер умер в экспедиции от цинги и похоронен на острове Котельный. В его честь назван мыс на острове Котельный, залив на Таймыре, плато на Новосибирских островах.

Одна из экспедиций «Комсомольской правды» называлась «Арктика-2010», она была посвящена 165-летию Русского географического общества. Отряд «Новосибирский» под руководством Екатерины Колесниковой восстановил место захоронения Германа Вальтера. Была выкопана новая могила в вечной



Герман Вальтер

мерзлоте, в месте, которое не подмывается морем, останки перенесли туда и установили памятник, на открытии которого присутствовали потомки доктора, отыскавшиеся в Германии, и посол Эстонии.

После смерти Вальтера врачом экспедиции стал Виктор Николаевич Катин-Ярцев (1876—1928), студент Военно-медицинской академии в Санкт-Петербурге. За участие в работе марксистской организации «Союз борьбы за освобождение рабочего класса» после девятимесячного заключения в одиночной камере Петропавловской крепости он был выслан в Якутию. Но все же получил разрешение на работу в полярной экспедиции, а по возвращении сдал экзамены за полный курс обучения медицине. В дальнейшем он был призван на Русско-японскую войну, после чего стажировался в европейских клиниках по оториноларингологии. В дальнейшем работал в России, преподавал, писал. Похоронен на Литературных мостках знаменитого Волкова кладбища в Петербурге.

Участник нескольких экспедиций Леонид Михайлович Старокадомский (1875—1962) в 1899 году окончил с отличием Военно-медицинскую академию, служил на флоте. При вскрытии тела погибшего матроса по неосторожности заразился трупным ядом, и ему по локоть ампутировали левую руку; по ходатайству командования был оставлен на службе. В 1909 году защитил докторскую диссертацию. Выполнял хирургические операции (одной рукой!); собрал значительные коллекции морских и наземных животных, а также растений, вел дневники. Неоднократно издавалась его книга «Пять плаваний в Северном Ледовитом океане». Старокадомский наблюдал и описал заболевания, которые могут развиваться именно в арктической экспедиции, — обморожения, снежную слепоту, цингу,



Л.М. Старокадомский



Эдуард-Николай Егорович Арнгольд

влияние полярного дня и полярной ночи на психику и состояние нервной системы, — и средства борьбы с ними. Он автор свыше 130 публикаций по вопросам морской гигиены, гидробиологии полярных морей, а также ряда статей в Большой Советской энциклопедии.

Вот цитата из его книги: «Самое страшное на зимовке — безделье. Праздность понижает жизнедеятельность и стойкость организма, неизбежно вызывает уныние и тоску. Упадок духа, апатия в сочетании с ослаблением мышечной деятельности способствуют появлению цинготных заболеваний. Наша экспедиция в этом смысле находилась под постоянной угрозой. Недостаток свежей провизии, совершенно неудовлетворительные гигиенические условия создавали благоприятную почву для появления цинги. Единственное и наилучшее средство предупреждения заболевания — заставить людей как можно больше времени проводить на открытом воздухе, а главное, работать, двигаться. Зимовочное расписание было составлено именно с таким расчетом, чтобы весь экипаж корабля постоянно был чем-нибудь занят. Значительная часть суток отводилась на работы вне корабельных помещений, на свежем воздухе. Некоторое количество сгущенного молока, сушеных яиц, консервов, бульона, шоколада и какао получили в свое распоряжение судовые врачи. Эти продукты предназначались для выдачи больным и нуждавшимся в усиленном питании. Надо иметь в виду, что мясные консервы быстро приедаются, а самый запах и вид их становится неприятным и вызывает отвращение. Но у нас выбора не было. Подавляющее большинство исправно питалось консервами без сетований и жалоб, лишь втайне мечтая о зажаренном кусочке свежего мяса».

Врачи вместе с командой переносили все опасности плаваний и зимовок. Старокадомский пишет: «Сперва лед подавался сравнительно легко, но потом канал заполнился кусками битого льда, перемешанного с шугой и мелодым льдом. Маневрировать стало



Жюльетта Жан-Сессин

труднее — нельзя было давать задний ход. Под напором льда опять лопнул штуртрос (тяга, идущая от штурвала к рулю. — *Примеч. ред.*). Огромное ледяное поле, в несколько миль в поперечнике, начало разворачиваться около другого такого же громадного поля, упирившегося дальним своим концом в остров. Ледяные поля сближались. Канал, в котором находился "Таймыр", стремительно суживался. Ледокол очутился в ловушке. Путь назад был отрезан. Сжатие нарастало. Корабль сдавило льдами, накренило на левый борт. Напором льда вдавило левый борт ниже ватерлинии. Корабль получил тяжелые повреждения». Именно Старокадомского назван один из островов архипелага Северная Земля.

Военный врач Эдуард-Николай Егорович Арнгольд (1873—1920) участвовал в экспедиции на ледоколе «Вайгач». Его врачебный и экспедиционный опыт описал в своей книге Старокадомский. Выпускник Военно-медицинской академии, доктор Арнольд начинал службу врачом на судах Тихоокеанского флота. На «Вайгаче» также занимался исследованиями по микробиологии, собрал большую коллекцию морских и наземных животных, а также растений. Во время стоянок оказывал врачебную помощь местному населению. Ранее считалось, что он умер от туберкулеза в 1920 году, но есть данные, что он был в 1918 году расстрелян революционными матросами. Его именем назван один из островов архипелага Северная Земля.

Жюльетта Жан-Сессин (1886—1913(?)), невеста Владимира Русанова и врач его арктической экспедиции, геолог по образованию и студентка медицинского факультета Сорбонны, вероятно, погибла вместе с другими участниками экспедиции. Именем Жюльетты Жан-Сессин названы (В.А.Русановым в 1911 году) бухта и ледник между заливом Кривошеина и Архангельской губой на западном побережье северного острова Новой Земли и озеро на острове Колосовых в шхерах Минина (в 1957 году гидрографом В.А.Троицким).



Памятник шахтерам в Лонгйире

Иосиф-Франц Иосифович Тржемесский (1878—1918(?)) родился в Ковенской губернии. Окончил Императорскую военно-медицинскую академию в Санкт-Петербурге со званием лекаря и получил первое назначение — младшим врачом 15-го флотского экипажа. Участвовал в Русско-японской войне, будучи врачом на крейсере «Дмитрий Донской». Крейсер, на котором Тржемесский сумел благополучно выйти из Цусимской битвы, но до Владивостока не дошел, был атакован японцами и затонул.

Тржемесский отправился в Арктику в качестве представителя Морского ведомства и врача в экспедиции Отто Свердруп на судне «Эклипс», так как после войны был прикомандирован к Главному гидрографическому управлению. В этой экспедиции Тржемесский находился с мая 1914 года по октябрь 1915-го. О его деятельности подробно рассказано в книге Свердруп и в отчете самого Тржемесского, который опубликован в этом издании. За «отлично-усердную службу и труды, понесенные в экспедиции» для поисков лейтенанта Брусилова и геолога Русанова, Тржемесского наградили орденом Святого Владимира 4-й степени. По итогам экспедиции Иосиф Иосифович подготовил отчеты, опубликованные в «Морском враче», «Записках по гидрографии» и «Ежегоднике Зоологического музея Императорской Академии Наук». Вернувшись из Арктики, Тржемесский продолжил службу на Балтийском флоте.

Коган Евгений Евгеньевич (1882—1942) — военврач, начальник экспедиции по поиску пропавшего корабля под командованием Брусилова. В 1904 году, еще студентом четвертого курса

Императорской Военно-медицинской академии, был командирован в крепость Порт-Артур, где пробыл всю осаду крепости в составе персонала плавучего госпиталя «Монголия». С 1907 года военврач 9-го флотского экипажа. В 1913—1914 годах служил врачом на кораблях «Бакан» и «Анадырь» Гидрографического управления Морского министерства России.

В 1914 году Е.Е.Коган был начальником экспедиции на судне «Герта», направленной на поиски лейтенанта Седова. В 1917 году уволен в отставку в звании полковника по приказу Керенского, как бывший защитник Порт-Артура. Имел ученую степень доктора медицины, полученную в Военно-медицинской академии.

Арктика сегодня

Мир меняется, но Арктика остается холодной и опасной для человека, несмотря на то что сегодня Северный морской путь суда ледового класса проходят практически без проблем. В 2010 году создан международный проект «Северный морской коридор», который предполагает организацию в северной части Европы единой транспортной системы портов и инфраструктуры, обеспечивающей благоприятные условия для морских перевозок. При этом предполагается, что российский порт Мурманск станет портом-хабом — центральным звеном всей системы.

Уже туристические маршруты забрасывают заболелвших Севером на кораблях ледового класса, самолетах и вертолетах не только на Нордкап, самую северную точку Европы, очень популярное у туристов место, но и на Шпицберген, и даже на Северный полюс. На Шпицберген стремятся туристы

со всего мира, чтобы познакомиться с удивительной природой арктической зоны. Добывать там уголь слишком дорого, да и месторождения истощились, только в поселке Баренцбург российские шахтеры добывают его понемножку — это не имеет хозяйственного значения, но обеспечивает «присутствие» России на Шпицбергене. Сам архипелаг принадлежит Норвегии, но, согласно «Шпицбергенскому трактату» 1920 года, граждане 39 стран имеют право «проживать, работать и вести свой бизнес на архипелаге, имеют равные права на рыбную ловлю, охоту, на занятия каким бы то ни было видом морской, промышленной, горнодобывающей или торговой деятельности. Жители архипелага Шпицберген должны следовать норвежскому законодательству».

Оставленные как память шахтерские вагонетки на тросах, протянутых через высокие мачты, и несколько скульптурных изображений чумазых и усталых шахтеров в касках и с фонарями напоминают о прежних временах в главном и практически единственном административном центре Шпицбергена — Лонгйире. Сюда можно прилететь на самолете или приплыть на круизном лайнере. Симпатичный городок, состоящий из одной улицы. Одно-двухэтажные домики, выкрашенные в веселые цвета. Около домиков несчетное количество снегоходов, которые служат зимой местным жителям основным средством передвижения.

Здесь есть магазины с таким же ассортиментом продуктов и товаров, как где-нибудь на Елисейских Полях. Ну, конечно, еще и местные сувениры: теплые свитеры, шапки, игрушечные пушистые арктические животные. Сколько здесь симпатичных белых медведей всех размеров — от брелока для ключей до огромных, стоящих на улице и приглашающих зайти в магазин! Но имейте в виду: медведи до сих пор опасны для человека. Об этом предупреждают треугольные значки, установленные на всех углах, — не автомобиль берегись, как в Москве, а медведя.

«Они нигде и везде», — сказала нам девушка-экскурсовод. Медведь может внезапно появиться перед вами на до-



СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

роге или, еще того хуже, за спиной. Поэтому каждая экскурсия там начинается с инструктажа: что мы будем делать, если встретим медведя. На этот случай у каждого гида имеются заряженное ружье и ракетница. Убивать медведей нельзя, значит, гид стреляет из ракетницы. После этого, скорее всего, медведь удивится и уйдет — он тоже не захочет неприятностей. Местные жители умеют стрелять, и даже покурить на крыльцо выходят с оружием. «Разрядите ружье, когда заходите в почтовое отделение» — написано на двери почты. Если вы пришли со своим ружьем в ресторан, официант отнесет его на время вашего обеда в специальную комнату.

На улицах Лонгйира не встретишь гуляющую собаку или кошку. Зато можно увидеть оленя, меланхолично выискивающего у себя под копытами ягель — газонную траву они не едят. Или семейка полярных гусей проществует важно.

В Лонгйире пользуется успехом ресторан «KROA». Это слово означает «на самом краю света» — интересно, что перевод на вывеске дан по-русски. О времени, когда на Шпицбергене было много русских шахтеров, здесь еще напоминают бюстик Ленина среди бутылок в баре и водка «Ельцин» в меню напитков.

В Лонгйире есть все, что нужно для жизни: комфортабельное жилье со всеми удобствами, школа, детский сад, больница, библиотеки, большой культурный центр, несколько отелей и даже Свальбардский международный университет (Свальбард — норвежское



На краю света пишат по-русски



Лонгйир. Снегоходы ждут зимы

название Шпицбергена), настолько популярный, что недавно пришлось построить новое здание студенческого кампуса. Он основан в 1993 году. Там готовят специалистов по актуальнейшим на Севере специальностям на факультетах: биологическом, геологическом, геофизическом и технологическом по гляциологии, технологии строительства в условиях вечной мерзлоты, физической географии Шпицбергена и др. Медицинского факультета нет. Врачи приезжают работать на Шпицберген с материка. Есть и Полярный музей, рассказывающий о природе, полезных ископаемых, животном мире и жизни коренных народов за полярным кругом, а также об освоении Арктики! Туристам на Шпицбергене предложат катание на собачьих упряжках, экскурсии на разного рода катерах вдоль берегов архипелага, знакомство с ледниками и птичьими базарами.

Но и сам по себе Шпицберген удивительно красив: горы со снежниками, простор холодного моря, незабываемое небо. Вы смотрите на этот пейзаж, допустим, через окно ресторана отеля «Radisson», а перед вами завтрак — «шведский стол» с ананасами и арбузами, паштетами и шпротами. Неужели здесь бродили первые полярники? Неужели здесь Русанов чуть не погиб, провалившись в трещину на леднике?

Еще одно место туристического паломничества — Нордкап. Зимой здесь народу не так много — два автобуса, которые добрались сюда со снежным конвоем. Это значит, собрали несколько автобусов и машин, которые следуют один за другим, а впереди идет грейдер. А самостоятельно нельзя — штраф 20 тысяч евро. Потому что спасательные работы, если что не так пойдет, здесь очень дороги. Зимой туристы быстренько фотографируются у памятного знака

и бегут в здание музея — пить кофе и есть горячие вафли с вареньем и медом. Поверьте, мы ведь там и летом были, так даже летом, когда туристы стоят здесь в майках, им в спину дышит жутким холодом Северный Ледовитый океан, зловеще и неприветливо дышит.

А в музее — экспозиция, посвященная конвою времен Второй мировой войны. Она рассказывает обо всех странах, которые участвовали в военных операциях на Севере. У нас об этом мало знают, а в каждом маленьком поселке на побережье Северной Норвегии есть памятник погибшим героям норвежского сопротивления или маленький музейчик, рассказывающий об этих событиях. Тут поневоле вспомнишь Пришвина: «Что-то есть такое, почему Норвегия нам дорога и почему можно найти для нее уголок в сердце».

И в век высоких технологий люди приезжают туда туристами, на работу или учиться, участвуют в научных экспедициях. Они мерзнут, потому что там и сейчас холодно, с трудом переносят полярный день и особенно полярную ночь, удирают от медведей, любят северным сиянием, ищут и добывают полезные ископаемые, строят дома и лечат людей. И далеко не везде на Севере так хорошо с комфортабельным жильем, питанием и связью, как на Шпицбергене. Но сердцу не прикажешь.

Одного я так и не могу понять: почему гуси в Лонгйире переходят улицу точно по пешеходному переходу?..





Граница



НАНОФАНТАСТИКА

Жаклин де Гё

Обычно Рочев с утра первым делом отправлял на Землю отчет о суточной добыче, потом шел на кухню за кофе и бутербродами.

Но сегодня из базы данных вместо цифр и диаграмм высочила сначала дата — 31 декабря, — а потом голографический Дед Мороз, радостно развернувший транспарант: «Дорогие вахтовики, в Новый год фирма дарит выходной даже вам!»

Рочев пару секунд ошарашенно смотрел на голограмму. Целый свободный день... и что с ним делать?

Он влез в комбинезон и вышел на крыльцо.

С пасмурного неба сыпался мелкий снег.

Между мерзлыми кочками темнела стывшая вода.

Ряд плотно насаженных, не по-земному высоких колючих кустов разделял инопланетное болото на две части, обозначая границу между участками разных корпораций. На противоположной стороне виднелась диспетчерская фирмы-конкурента — точно такая же станция, как у Рочева, только флаг норвежский. И точно так же в пятидесяти шагах от нее торчала наблюдательная вышка, увенчанная стационарным роботом-соглядатаем, — договоры о неприкосновенности чужой промысловой территории давно уже возвели в ранг закона и за их соблюдением следили очень строго.

Норвежец стоял под флагом и смотрел на падающий снег.

Рочев улыбнулся, нажал на браслет. Над головой вспорхнула надпись-мыслеобраз:

«Тоже выходной?»

«Ага».

«Что делать будешь?»

Норвежец, не задумываясь, выдал:

«Готовить!»

«Точно!» — подумал Рочев.

Он помахал соседу, вернулся в дом и до самых сумерек топтался на кухне, переругиваясь одновременно с синтезатором пищи, плитой и кухонным комбайном. Наконец работа была завершена.

На тарелках красовались соленые грузди, сочные помидоры и неизменные бутерброды с колбасой и сыром. Под колечками лука серебристо блестя селедка. В духовке доспевало жаркое. А в центре стола стояла огромная салатница с оливье.

Рочев полюбовался натюрмортом, вышел на крыльцо, за-виртуалил над болотом северное сияние.

Выглянул норвежец:

«Уже?»

«Ага. Целый тазик оливье настрогал».

«Что такое оливье?»

Рочев в картинках изобразил процесс приготовления и конечный продукт.

«Круто, — уважительно просигналил норвежец. — Вкусно, наверное».

Рочев даже расстроился.

«Я бы отнес тебе попробовать, — написал он в морозном воздухе, — но уволют же, черти. Да еще граница эта, с шипами в три ряда — не продерешься...»

Громкий треск прервал беседу.

Оцепенев, диспетчеры смотрели на ковыляющий к станции Рочева здоровенный куст. На том месте, где он только что рос, в границе зияла обширная брешь.

У крыльца куст остановился, приветливо махнул шипастой веткой.

Над головами людей синхронно вспыхнуло:

«Этого не может быть!»

«Почему? — удивился куст. — Моя планета, где хочу, там и хожу, ваши конторы не указ. Давай свой оливье. Отнесу».



Николас Кристофилос, неизвестный крупный физик

16 декабря 2016 года исполняется 100 лет со дня рождения Николааса Кристофилоса (1916—1972) — руководителя небольшой афинской инженерной компании, который однажды поспорил о приоритете открытия с сотрудниками знаменитой Брукхейвенской национальной лаборатории и выиграл спор.

В XX веке выдающиеся открытия делали, как правило, профессиональные исследователи, получившие хорошее образование, работающие в крупных, прекрасно оборудованных научных центрах, регулярно обсуждающие результаты с коллегами. Однако из этого правила есть исключения: редко, но бывало, что научный результат нобелевского уровня получал человек «со стороны», работающий в одиночку и никак не связанный с официальной наукой. Наиболее известные примеры — служивший на Дальнем Востоке советский сержант Олег Александрович Лаврентьев (1926—2011), независимо от Виталия Лазаревича Гинзбурга предложивший использовать для создания водородной бомбы дейтерид лития, и мелкий греческий предприниматель Николаас Кристофилос, который придумал, как сделать ускорители, разгоняющие заряженные частицы до огромных энергий.

Инженер-электрик Николаас Кристофилос родился в Бостоне. Родители его были греческими эмигрантами и вернулись на родину, когда Николаас был еще ребенком. Он окончил Афинский политехнический университет в 18 лет, а после Второй мировой войны стал владельцем маленькой фирмы, обслуживающей лифты. Однако его интересы не ограничивались бизнесом: Кристофилос активно интересовался проблемами современной физики и кое-что читал на эту тему. Достаточно, чтобы понять, что прогресса в понимании устройства мира поможет достичь изучение реакций между частицами, обладающими большой энергией. А для этого частицы нужно разогнать до больших скоростей в специальном устройстве — ускорителе.

Идею создания ускорителей заряженных частиц выдвинули в 1922 году независимо друг от друга инженер-электрик компании «Вестингауз» Джек Слегян (кстати, потомок выходцев из России) и Лев Владимирович Мысовский, работавший в ленинградском Радиовом институте. В 1926 году немецкий физик норвежского происхождения Рольф Видероз попытался построить ускоритель, но потерпел неудачу. Большого успеха добились в 1929 году американец Роберт Ван де Грааф и немного позже англий-

ские исследователи Джон Кокрофт и Эрнест Уолтон. Облучая образец лития разогнанными протонами, Кокрофт и Уолтон получили ядра новых элементов (гелия и др.), тем самым впервые искусственно вызвав ядерную реакцию. За эту работу они в 1951 году получили Нобелевскую премию по физике.

В первых устройствах частицы разгоняли с помощью очень сильного электрического поля. Но вскоре стало понятно, что этот путь тупиковый и лучше сделать так, чтобы частицы многократно проходили через не слишком сильное электрическое поле. А для этого их нужно пустить по кругу.

Данную идею реализовали в 1930 году американские исследователи Эрнест Орландо Лоуренс и Милтон Ливингстон. Они изобрели циклотрон — ускоритель, в котором частицы под влиянием магнитного поля двигаются по кругу и на каждом обороте дополнительно ускоряются. С помощью циклотрона Лоуренс и Ливингстон смогли разогнать протоны до энергий в 1 мегаэлектронвольт (1 МэВ = 1 000 000 эВ). Лоуренс получил Нобелевскую премию в 1939 году.

Успехи Лоуренса и Ливингстона вдохновили Л.В. Мысовского и его младших коллег — братьев Игоря Васильевича и Бориса Васильевича Курчатовых, и они принялись выбивать ассигнования на строительство советского циклотрона. Он был запущен в 1937 году в Радиовом институте и сильно продвинул вперед советскую ядерную физику.

Однако возможности традиционных циклотронов также были ограничены: 20—30 МэВ и не более того. Начали искать пути преодоления этих ограничений. Первым в 1944 году нашел решение советский физик Владимир Иосифович Векслер (1907—1966), в 1945 году — американский физик Эдвин Макмиллан (1907—1991), а в 1946 году — мелкий греческий предприниматель Николаас Кристофилос. При этом никто из них ничего не знал друг о друге.

В 1921 году московские комсомольцы поймали на улице беспризорника Волододу Векслера и отправили в коммуны в Хамовниках. Вскоре бывший беспризорник проявил незаурядные способности, прежде всего в области радиотехники,



Николас Кристофилос

и вообще в области экспериментальной физики. По комсомольской путевке его направили учиться в Московский энергетический институт, после окончания которого В.И. Векслер работал в разных организациях и в 1936 году перешел в Физический институт АН СССР.

Интересы В.И. Векслера лежали в области изучения частиц высоких энергий. Их основной источник — космические лучи, но исследовать их трудно: нужно устраивать экспедиции в горы, а серьезные приборы туда не очень-то затащишь. Кроме того, интенсивность (число частиц) космических лучей очень мала, хотя энергия каждой отдельной частицы и велика.

Для широкомасштабных исследований нужен был стабильный источник большого числа частиц высоких энергий. Ускоритель Радиового института позволял получать много частиц, но энергия каждой была существенно ниже, чем в космических лучах, поскольку наращивание энергии частиц в циклотроне приводило к рассогласованию фазы ускоряющего электрического поля и пролета частиц. Так В.И. Векслер заинтересовался ускорителями.

Этой же проблематикой занимался и Эдвин Макмиллан, руководивший строительством самого крупного по тем временам циклотрона в Беркли (Калифорния). Но по мере продвижения работы к завершению его все чаще посещали мысли о том, что нужно искать другие решения.

Того же мнения придерживался и Николаас Кристофилос в Афинах. И конкретные предложения у него были очень похожие. Он даже написал работу на эту тему, но, перед тем как отправить ее в печать, зашел в библиотеку и наткнулся на статью Макмиллана. (Можно представить, как это было досадно.) Основная идея, выдвинутая Векслером, Макмилланом и Кристофилосом, — автофазировка: постепенное изменение частоты разгоняющего частицы электрического поля или изменение напряженности магнитного поля, заставляющего частицы двигаться по кругу.



В 1946 году под руководством Эрнеста Лоуренса в Калифорнии был построен первый ускоритель нового поколения — синхротрон. Он разгонял ядра дейтерия до энергий в 200 МэВ. Советский синхротрон, постройкой которого руководил В.И.Векслер, появился годом позже. А в 1949 году в СССР, также под его руководством, началось проектирование самого мощного в мире синхрофазотрона, который был запущен в Объединенном институте ядерных исследований (Дубна). Он разгонял частицы до 10 гигаэлектронвольт (1 ГэВ = 1000 МэВ).

Однако Кристофилос смотрел дальше. Он быстро понял главный недостаток предлагаемой конструкции: значительный рост энергии разгоняемых частиц оказывался возможным лишь ценой увеличения размеров камер, в которых двигаются частицы, за всякие разумные пределы. И нашел выход.

Звездный час Кристофилоса наступил в 1949 году, когда он придумал, как можно создавать ускорители с камерами приемлемых размеров, способные разгонять частицы до энергий в сотни гигаэлектронвольт. Дело в том, что раскручиваемый в ускорителе пучок заряженных частиц рассеивается в двух плоскостях: в плоскости кольца ускорителя и перпендикулярно ей. С каждым из этих рассеиваний можно бороться с помощью магнитного поля. Но вот беда: конфигурация поля, препятствующего рассеянию в плоскости кольца, способствует рассеянию в плоскости, перпендикулярной кольцу, и наоборот.

Идея Кристофилоса заключалась в том, чтобы разделить кольцо на отдельные сектора и в разных секторах воздействовать на движущиеся частицы магнитными полями разной конфигурации, навязывая им тем самым высокочастотные колебания. В результате рассеяние частиц резко снижалось. Позже его идея получила название «сильная фокусировка».

Кристофилос изложил свои соображения в письме, которое направил в Радиационную лабораторию Калифорнийского университета в Беркли, но ему не ответили. Тогда он решил запатентовать идею, и это ему удалось.

В 1952 году появилась статья американских физиков Эрнеста Куранта, Милтона Ливингстона и Хартланда Снайдера из Брукхейвенской национальной лаборатории, которые независимо от Кристо-

филоса, но позже него сформулировали принцип сильной фокусировки. И тогда греческий физик-любитель едет в Соединенные Штаты, встречается с авторами статьи и убеждает их в своем приоритете. В США Кристофилосу дают понять, что обслуживание лифтов — не самое подходящее занятие для физика, способного выдвигать такие идеи. Ему делают лестные предложения от разных организаций, и через некоторое время Кристофилос получает американское гражданство и становится высокопоставленным сотрудником Ливерморской лаборатории — мощного государственного исследовательского центра США, насчитывающего несколько тысяч сотрудников. Созданная в 1952 году по инициативе Эрнеста Лоуренса и отца американской водородной бомбы Эдварда Теллера Ливерморская лаборатория (сегодня она носит имя Лоуренса) официально считается главной научно-исследовательской и опытно-конструкторской организацией, обеспечивающей национальную безопасность США.

Здесь невозможно не провести параллели с историей О.А.Лаврентьева. В 1953 году он был отстранен от участия в советском ядерном проекте и через некоторое время отправлен в Харьков, где почти до конца жизни работал в должности старшего научного сотрудника со степенью кандидата наук. «На что вы надеетесь, ведь вашего покровителя [руководителя атомного проекта Л.П.Берии] больше нет», — сказал Лаврентьеву работник отдела кадров. Намекая, очевидно, что собственными силами сержант-физик не мог взлететь так высоко и теперь должен вернуться на подбащее ему место...

Среди сотрудников Ливерморской лаборатории Кристофилос приобрел репутацию автора оригинальных идей. Так, он предложил использовать для связи с подводными лодками сверхдлинные радиоволны (морская вода содержит много катионов и анионов и обычные радиоволны очень сильно поглощает). Для реализации этой идеи была построена гигантская горизонтальная антенна длиной более 50 миль. Некоторое время эта связь работала, но затем антенну демонтировали по требованию природоохранных организаций.

Другая идея Кристофилоса заключалась в том, чтобы выводить из строя электронику систем управления летящих на США ракет с помощью атмосферных ядерных взрывов. Эта идея была проверена в ходе эксперимента «Аргус», проводившегося Министерством обороны США, и показала свою эффективность.

В 1960 году в Брукхейвенской национальной лаборатории США запустили синхрофазотрон, разгоняющий частицы до энергий 20 ГэВ. В основу этого устройства положены идеи Кристофилоса. Но СССР сдаваться не собирался и начал строительство синхрофазотрона в Протвино под Серпуховым. Этот ускоритель, запу-

щенный в 1967 году, разгонял частицы до энергий 75 ГэВ, а ускоритель в Швейцарии, начавший работу в середине 1970-х, — до 400 ГэВ. В 1983 году в СССР стали проектировать ускоритель, разгоняющий частицы до 3 тераэлектронвольт (1 ТэВ = 1000 ГэВ). Его планировали построить в Протвино, однако после 1991 года проект закрыли из-за недостатка средств.

Самый мощный в мире ускоритель — Большой адронный коллайдер, расположенный на границе Франции и Швейцарии, запущен 10 сентября 2008 году. БАК разгоняет частицы до энергий 6,5 ТэВ, после некоторой доработки планируется получать частицы с энергиями до 14 ТэВ. Длина замкнутой окружности, по которой двигаются заряженные частицы, составляет 27 км. Четвертого июля 2012 года на Большом адронном коллайдере было зарегистрировано рождение ранее неуловимого бозона Хиггса, а 14 июля 2015 года группа, работающая на детекторе LHCb, заявила об открытии пентакварков (см. «Химия и жизнь», 2015, 9).

Увы, даже самая современная техника может выходить из строя по очень неожиданным причинам. В апреле 2016 года Большой адронный коллайдер был временно остановлен из-за того, что куница перегрызла обмотку трансформатора.

В последние годы жизни Николас Кристофилос (так же, как и Олег Лаврентьев) работал над проблемой управляемого термоядерного синтеза. Однако эта проблема не решена до сих пор. Он любил музыку, особенно Бетховена, с которым у него был общий день рождения. В детстве учился играть на пианино и до конца жизни, когда находил время, музицировал.

Умер Николас Кристофилос 24 сентября 1972 года от сердечного приступа, в возрасте 55 лет. А накануне, как обычно, допоздна оставался в лаборатории. Вот что сказано о нем в некрологе, опубликованном в «Physics Today» (январь 1973 года, с. 109): «Многие из его идей были противоречивыми, и защита их, казалось, требовала больше изобретательности и неустанных усилий, чем могли обеспечить даже его огромное присутствие духа и энергия».

Кандидат биологических наук
С.В.Багоцкий

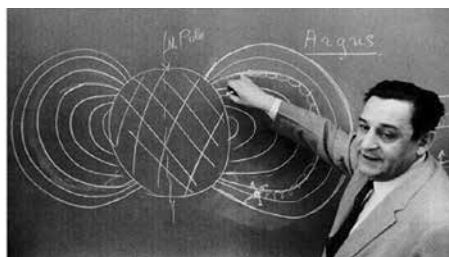


Фото из журнала «Лайф»: Кристофилос объясняет концепцию «Аргуса»

Тесто

Что такое тесто? С тех пор как люди научились растирать зерна в муку, они делают тесто. Белки разрушенных зерен в воде растворяются и набухают, образуя клейкую, эластичную массу. Недаром славянское слово «тесто» первоначально означало «то, что давится, сжимается». Муку разводили водой, добавляли масло и варили мучную кашу, на Руси она называлась «саламата». Если воды мало, то получается крутое тесто на лапшу. Его надо раскатывать не толще полутора миллиметров, благо пластичность теста позволяет это сделать, иначе в сваренном виде оно будет очень плотным и невкусным. Но не питаться же нам одной лапшей да кашей! И люди научились разрыхлять тесто, чтобы его можно было не только варить, но и жарить, и выпекать. Сейчас способов разрыхления и разновидностей теста столько, что требуется классификация. Ею мы и займемся.

На дрожжах. Чаще всего тесто делят на дрожжевое (кислое) и бездрожжевое (пресное). Дрожжевое тесто можно также назвать ферментированным. Дрожжи сбраживают содержащиеся в муке сахара, в результате образуются спирт и углекислый газ, пузырьки которого разрыхляют тесто. На Руси дрожжевое тесто умели готовить уже в IX веке. Для закваски использовали хмелевые дрожжи (см. «Химия и жизнь», 2016, 9), пивную и квасную гущу или остатки теста прошлой выпечки.

Вместе с дрожжами развиваются молочнокислые бактерии, которые сбраживают сахара с образованием молочной кислоты. В результате тесто приобретает характерные вкус и запах, за что его и называют кислым.

Из кислого теста чего только не пекут! Если тесто очень крутое, получатся баранки, если полужидкое — блины, оладьи и караваи. Тесто для каравая замешивают с большим количеством яиц и выпекают в высокой форме, заполнив ее на две трети.

Дрожжевое тесто, в свою очередь, делят на простое (мука, вода, соль и дрожжи) и сдобное, с сахаром, яйцами и маслом. Если на сдобу и другие добавки приходится больше половины веса теста, оно называется кондитерским, если в нем преобладает мука — хлебным.

О муке. Мука отличается содержанием клейковины (глутена): это смесь белков, придающих тесту эластичность. В так называемых сильных сортах пшеницы клейковины более 35%, такое тесто эластично, не расплывается и хорошо поднимается. «Сильная» мука хороша там, где нужно плотное тесто: слоеное, заварное и дрожжевое. Из «слабой» муки, в которой меньше 25% клейковины, тесто получается липким, а изделия расплываются. Она подходит для бисквитов, пряников и песочного теста.

Зачем нужна опара? Есть два основных способа приготовления дрожжевого теста: смешать все компоненты сразу или предварительно сделать опару — полужидкое тесто из воды, муки, дрожжей и небольшого количества сахара. Когда опара подойдет, к ней добавляют остальную муку, масло, яйца и прочие ингредиенты. К этому способу прибегают, когда в состав теста входит много сдобы. В кулинарных книгах часто пишут, что опара позволяет сберечь дорогие продукты, если дрожжи оказались плохими. Это правда, но не вся. Истинная причина заключается в том, что в плотном, жирном тесте дрожжам тяжело расти. Чтобы они активно делились и выделяли углекислый газ, их надо сперва поместить в более комфортную среду — полужидкую опару.

Сначала опара раздувается, отходит от стенок посуды, ее поверхность покрывается лопающимися пузырьками. Когда количество пузырьков уменьшается и опара начинает опадать, к ней можно добавлять оставшиеся компоненты.

Зачем тесто обминают? Когда замешанное тесто увеличится в объеме в полтора-два раза, его обминают. Процесс повторяют дважды, а то и трижды. При этом тесто освобождается от избытка углекислоты, дрожжи и молочнокислые бактерии более равномерно распределяются в его толще, а набухшая в воде клейковина растягивается и образует мелкоячеистую сетку. После обминки скорость брожения возрастает. Очень важно, чтобы тесто хорошо перебродило, но при этом не перестояло, иначе его вкус испортится. Тесто готово, когда оно увеличилось в объеме в два с половиной раза и приятно пахнет спиртом, его поверхность выпуклая, при надавливании пальцем выравнивается медленно.

Сода и аммоний. С дрожжевым тестом много возни, и подходит оно несколько часов. Поэтому широко распространено пресное тесто, которое делают с искусственными разрыхлителями. Самый известный из них — сода; при нагревании она разлагается, выделяя углекислый газ. Этот процесс идет гораздо быстрее, чем ферментативное брожение.

Простейшее «содовое» тесто — вафельное. Его готовят из муки, яичных желтков и большого количества воды, которой больше, чем муки и желтков, вместе взятых. Яичный желток улучшает не только вкус теста, но и его структуру, это хороший эмульгатор.





Чтобы придать тесту пористость, его хорошенько взбивают в два приема: сначала замешивают жидкость, соль, соду, желтки и половину муки, а спустя 10—2 минут добавляют оставшуюся муку и взбивают еще несколько минут, и в процессе выпечки тоже периодически взбивают венчиком, чтобы осадок не образовывался.

Когда тесто оказывается на вафельнице, пузырьки воздуха расширяются, влага быстро испаряется и разрыхляет тесто, а сода выделяет углекислый газ. Благодаря этому вафли получаются пористые.

На другом полюсе вязкости — пряничное тесто. Дрожжами его не разрыхлить, поскольку они не могут развиваться при таком избытке меда, сахара и патоки и малом количестве воды: ее в восемь раз меньше, чем всех прочих ингредиентов. Столь вязкое тесто даже сода не поднимет, поэтому в него добавляют второй химический разрыхлитель — углекислый аммоний.

Мед и патока не дают пряникам черстветь, а чтобы они хранились еще дольше, тесто иногда делают заварным: муку заваривают в сахарно-медовом сиропе при температуре около 70°C, потом охлаждают и хорошенько перемешивают. При такой температуре крахмал, содержащийся в муке, частично клейстеризуется, вот почему изделия из заварного теста дольше сохраняют мягкость.

Сода и масло. Соду и углекислый аммоний используют также для разрыхления песочного теста. Его отличительная особенность — высокое, около 26%, содержание масла, большое количество сахара и яиц и почти полное отсутствие жидкости. Масло тоже хороший разрыхлитель, обволакивая частицы муки, оно не дает клейковине выйти в раствор, поэтому чем больше в тесте жира и меньше воды, тем тесто рассыпчатей. И действительно, песочное тесто эластичностью не отличается. Чтобы его замесить, масло растирают с сахаром и разрыхлителями до пластичного состояния. Если масло расплавить, тесто станет крошиться, а при выпечке из него будет выступать жир.

Масло служит разрыхлителем и для пресного слоеного теста: тонкие слои, разделенные жировыми прослойками, не слипаются. Чтобы тесто получилось более эластичным и хорошо набухло, в него добавляют лимонную кислоту.

Сдобное пресное тесто отличается от песочного меньшим количеством масла (13%) и сахара. Зато в нем присутствует жидкость — вода, молоко, сметана или кефир, — придающая тесту вязкость. Сдобное тесто необязательно сладкое. Разрыхляют его содой и пищевой кислотой, причем перемешивать его надо очень быстро, иначе углекислый газ, который образуется при реакции кислоты и соды, улетучится, и объем изделия не увеличится. Если тесто замешивают на кефире, кислоту добавлять не надо.

Яичные белки. Бисквиты пекут из теста, состоящего из муки, сахара и яиц в соотношении 1:1:2. Из-за большого количества взбитых яиц тесто получается пористым. Его разрыхляют взбитые белки и водяные пары, которые образуются при выпечке. Если четвертую часть муки заменить крахмалом, он впитает яичную влагу, она не улетучится при выпекании, бисквит получится с ровными порами и не будет крошиться. Впрочем, свежий бисквит крошится всегда, поэтому ему дают постоять после выпечки не меньше 8 часов.

Из бисквитного теста делают кремовые торты и пирожные, а также кексы. Они без крема, и потому в тесто добавляют до 20% масла. Такое тяжелое тесто одними белками не разрыхлить, и снова приходит на помощь углекислый аммоний. Выпечка из масляного теста дольше хранится и более рассыпчата.

Силой пара. Пары воды, которые образуются при выпечке, — разрыхлитель чрезвычайно мощный. В заварном тесте они образуют обширные пустоты, но для этого нужно, чтобы тесто было плотным, эластичным и при нагревании не пропускало пар. Муку замешивают в кипящей воде с маслом и солью, при этом мучной крахмал клейстеризуется и уплотняет тесто еще до выпечки. Яйца добавляют, когда тесто остынет до 60—70°C, иначе белки свернутся. Готовые изделия разрезают, и пустоты заполняют кремом.

Без муки и разрыхлителя. Тесто делают не только из пшеничной муки, но также из муки других злаков или бобовых. Иногда к ней добавляют значительное количество примесей. В миндальном тесте например, миндаля или других орехов в четыре раза больше, чем муки, также очень много белков и сахара, а разрыхлителя нет. Такое тесто при выпечке расплывается, покрываясь блестящей корочкой в мелких трещинках. Объем готового изделия увеличивается, но незначительно.

И наконец, бэзе. В его состав мука не входит, только сбитые в пену белки с сахаром, тем не менее бэзе относят к кондитерским изделиям из теста. Его называют воздушным тестом. Оно очень пористое и легкое, сахар придает пене прочности. Во время выпечки пузырьки воздуха расширяются, и изделие увеличивается в объеме в два—три раза. Бэзе надо пропечь хорошенько, чтобы влага полностью испарилась, иначе оно получится вязким и плотным. Выпечка занимает 30—40 мин, а чтобы изделия не подгорели, температуру в духовке делают относительно низкой, 110—130°C.

Н. Ручкина





Когда снежинки станут разными

Агата Бариста

Леша Балестин был гениальным ребенком. Так считали не только его родители, обе бабушки и дедушка, папин папа. Об этом шептались воспитательницы в садике, это был вынужден признать не один детский психолог, и, возможно, именно это имел в виду друг семьи, знаменитый писатель Николай Нуар, когда, послушав Лешу, крякнул и процитировал: «Вот та молодая шпана, что сотрёт нас с лица земли».

Конечно, будучи литератором, Николай Нуар изъяснялся привычно метафорически. Определение «шпана» менее всего подходило Леше, который в свои семь выглядел ангелочком, слетевшим с итальянской фрески, — ореол кудрявых волос, большие темные глаза, чаще всего устремленные куда-то вверх — в дали, недоступные остальным, гранатовый ротик, сложенный задумчивой складкой. Но когда этот ротик открывался и начинал говорить, взрослым становилось не по себе. Лешина манера осмысления окружающего мира настолько отличалась от общепринятой, что производила впечатление чуть ли не ущербного косноязычия, однако — непостижимым образом — через какое-то время у слушателя возникало ощущение предельной точности сказанного.

До пяти лет диковинно лепетавшее дитя водили по специалистам, большинство склонялось к гибкому диагнозу «расстройство аутического спектра».

На шестом году жизни Леша наконец заговорил связно и впервые прочел свое стихотворение, затем еще одно, и еще, и еще... семья выдохнула с облегчением. С мальчиком все в порядке, просто он родился Поэтом. Бог не просто поцеловал Лешу в темечко, но к тому же уважительно пожал ему руку. Стало ясно, что в то время как сверстники складывали пирамидки из колечек и башенки из кубиков, Леша возводил пирамиды из гипербол и башни из метафор.

Бабушки уверовали первыми и принялись истово записывать чуть ли не все, что произносил чудо-ребенок в их присутствии. Та бабушка, что была без дедушки, начала выкладывать стихи внука в Сеть.

«Мальчик, который взорвал Интернет» — не прошло и месяца, как Алекс Балестин был причислен к виртуальному пантеону подрывников, но известность принесла не только сладкие плоды славы. Тернии в виде болезненной заинтересованности различных неуравновешенных личностей не замедлили явиться. Самый прискорбный случай выглядел



ФАНТАСТИКА

так: некая дама предпенсионного возраста пробралась в детский сад и перепугала всю подготовительную группу, включая воспитателя Валерию Павловну, заявлениями о том, что Леша — новоявленный антихрист и пришел в наш мир, чтобы его разрушить. При этом дама норовила упасть перед Лешей на колени в порыве благодарности, поскольку все происходящее вокруг давным-давно возмущало ее до глубины души, посему она горячо приветствовала грядущий Апокалипсис.

Безумицу увезла полиция, несколько воспитателей окружили Лешу, без конца уверяя, что все закончилось, бояться больше нечего, страшную тетеньку забрали дяди полицейские.

— Я не испугался, — успокоил их Леша. — Было красиво.

Валерия Павловна вскинула бровки:

— Что же ты красивого увидел, Лешенька?

— Она красиво засохла, — пояснил Леша. — Как цветок. Бровки приподнялись еще выше, и Леша отвернулся.

...Руки — тонкие, в темных пятнышках, похожих на гречневую крупу, глаза в совиных кругах осыпавшейся туши, коричневые, с желтыми прожилками юбки, разметавшиеся по ковру... на эту картинку призрачно накладывалась другая: истончившиеся стебли, листья без капли влаги, нежные полупрозрачные лепестки в мельчайших морщинках — его нельзя было выбрасывать, мамин восьмимартовский засохший букет, таким значительным оказалось его посмертное существование. Будто умирая, растения хотели избежать всеобщей для живого судьбы, извернуться, сбежать в другую реальность, и из этого стремления постепенно вымучивались-выкручивались их новые совершенные изгибы.

Слов для этого не было — пока.

Спустя какое-то время Алекс Балестин достанет два воспоминания, нанижет их на общую ось, которую ясно увидел еще тогда, когда незнакомка ползла за ним по ковру, пытаясь ухватиться за клетчатый край выбившейся из джинсов рубашки. Он станет перемещать образы, сминать, растягивать их, удерживая при этом единый центр, и будет манипулировать так, пока в получившемся конструкте нельзя будет сдвинуть ни единой буквы. Вот тогда можно будет рассказать об этом дне и освободить место для новых построений.

Когда пришла пора, Лешу записали в гимназию — старейшую в городе, с языковым и естественно-научным уклоном и, что немаловажно, с прекрасно охраняемой территорией. В престижном заведении училось немало детей, чьи родители также испытывали неудобства, связанные с публичностью. Сыну рядовых инженеров попасть в эту школу было так же нелегко, как верблюду (пусть даже верблюжонку) пройти через игольное ушко, однако директриса гимназии оказалась большой поклонницей таланта Алекса Балестина.

В отличие от его классного руководителя.

Первая учительница Леши оказалась скорее его антагонистом. Клавдия Васильевна обладала недюжинным опытом, имела звание заслуженного педагога, и ее нешуточно раздражало то обстоятельство, что все водят хороводы вокруг мальчишки, случайно догадавшегося, за какие ниточки нужно дергать, чтоб окружающие воспринимали его поэтические куличики всерьез. Клавдия Васильевна и сама имела тайную страничку в Интернете, где под псевдонимом Элина Солнечная публиковала жизнеутверждающие рифмованные советы не грустить и не хмуриться, дарить улыбки окружающим, верить в светлое будущее и особо рекомендовала читателям любоваться всем первым — первыми лучами солнца, первыми цветами, первой листвой — как зеленой весенней, так и желтой осенней, первыми росинками, дождинками, снежинками, льдинками и прочими чудесными природными явлениями.

Узнав, что один из ее новых учеников не без успеха подвизается на поэтическом поприще, Элина Солнечная сочла своим долгом ознакомиться с сочинениями Алекса Балестина.

Причина поднятой шумихи осталась ей непонятна. В стихах Балестина, по-детски неровных, вещи никогда не назывались своими именами, слова не выстраивались в предсказуемую логическую цепочку и были сцеплены друг с другом скорее ассоциациями, нежели привычным порядком. Приходилось неоднократно перечитывать строки, прежде чем наступало относительное понимание, что, собственно, имелось в виду. Это была не настоящая поэзия с ее классической стройностью и ясностью, а современные выверты, которые заслуженный педагог не жаловала. Однако, считая себя человеком строгим, но справедливым, Клавдия Васильевна не собиралась выказывать свою неприязнь; в конце концов, считала она, неразумное дитя было больше игрушкой в руках взрослых, нежели самостоятельной фигурой.

Раздавая листочки со стихами, которые надлежало выучить для школьного утренника, именно Балестину Клавдия Васильевна поручила зачитать одно из лучших творений Элины Солнечной. Ему достался светлый лирический стих о том, что фантазия природы не имеет границ, все меняется и не стоит грустить при виде опадающих листьев — ведь скоро над землей закружатся первые снежинки, а потому надо улыбнуться встречному прохожему, дабы передать ему частичку тепла своей души.

На генеральной репетиции Клавдия Васильевна была неприятно удивлена: Балестин ежесекундно запинался и бессмысленно переставлял местами такие, казалось бы, простые и запоминающиеся слова как листочки, дождинки, слезинки и снежинки. На строчке, объясняющей, что улыбка подобна солнечному лучу, он и вовсе замолчал.

— «Улыбкой одари как солнечным лучом...» — подсказала Клавдия Васильевна, но молчание длилось и длилось. — Ну? В чем дело, Балестин? Неужели так сложно выучить несколько четверостиший? Уж от тебя, звезды нашей, никак не ожидала.

— Сложно. — Балестин уставился в пол. — Там... пустота.

— Где пустота?

— Там. — Он пошелестел листком со стихами.

Загомонившие было первоклассники примолкли и стали прислушиваться к разговору.

Клавдия Васильевна совершила над собой усилие и заговорила нарочито мягко. Медовые интонации всегда появлялись в ее голосе, когда надо было скрыть от окружающих истинные чувства.

— Ну что тут может быть сложного? Вот смотри. В первом четверостишии рассказывается о грусти, что возникает при виде пасмурной погоды...

— У меня не возникает, — сообщил Балестин, подняв и тут же опустив свои ангельские ресницы. — Мне нравится.

Нравится ему. Пушкин ты наш, в раздражении подумала Клавдия Васильевна.

— Хорошо, Балестин, ты у нас особенный. А другие грустят. Класс, всем грустно осенью?

— Да-а-а-а... — раздался протяжный нестройный хор.

— Видишь? Осенью всем грустно, и это нормально. Понятно?

Балестин по-прежнему глядел в пол.

— Далее автор описывает красоту осени и советует не грустить. Что опять непонятно?.. «Как лист увядший падает на землю...»

— ...На душу.

— Что? — не поняла Клавдия Васильевна.

— Падает на душу. Так лучше.

— Душа, дружок, у нас будет дальше: «Как лист увядший падает на землю, так грусть пускай уходит из души». Класс, всем все понятно?

Снова раздалось хоровое «Поня-а-атно...»

Один Балестин угрюмо безмолвствовал, изображая партизана на допросе.

— В конце стихотворения воспеваются жизнь и бесконечное разнообразие природы: «Пускай приходят зимы с холодами, неповторима как снежинка жизнь твоя».

— Может, повторима...

Клавдия Васильевна снисходительно усмехнулась. С таким упрямством ради упрямства она успешно справлялась уже лет двадцать.

— Ну что же ты, Балестин? Мы в понедельник об этом говорили, на «Окружающем мире». А ты в это время где был? В облаках витал? Спал? Не бывает одинаковых снежинок.

— Может, иногда бывает.

— Не бывает. Наука говорит, что это невозможно.

— А папа говорит, если сто миллионов обезьян посадить за компьютеры, то они начнут колотить по клавишам, и через сто миллионов лет какая-нибудь обезьяна случайно напишет «Войну и мир».

Произнося эти слова, противный мальчишка почему-то вначале перевел взгляд на листок, который держал в руке, а потом ясными глазами взглянул прямо на Клавдию Васильевну, и она почувствовала, как кровь приливает к лицу. По медовой поверхности начало расплываться дегтярное пятно.

— При чем здесь обезьяны?

— Может, и снежинки раз в сто миллионов лет бывают одинаковыми.

Клавдия Васильевна решила поставить в дискуссии точку.

— Не бывают. Дневник мне на стол, Балестин.

К сожалению, нельзя было вклеить строптивцу большую жирную двойку, в первом классе оценок не ставили. Но Клавдия Васильевна с удовольствием подмахнула размашистым почерком замечание на полстраницы, где родителям было сообщено и о препирательстве с учителем, и об отказе участвовать в школьном празднике, и о рассеянности и невнимательности на уроках.

Клавдия Васильевна перечитала замечание и почти наяву услышала, как где-то далеко удовлетворенно вздохнула отомщенная Элина Солнечная.

— Можно-можно, — рассеянно сказал отец. — Только смотри, особо не расслаивайся, кое-кто все вкусы слопает, и привет.

Громов нахмурился с подозрением:

— На кого это ты намекаешь?

— Допустим, на себя, — ответил отец. — А что это ты так разволновался?

Взрослые засмеялись и вышли.

Леша забрался с ногами на стул и принялся изучать дикувинную штуковину — арт-объект, как назвал его Громов.

Камешки были разноцветными — зеленоватые, красные с белыми прожилками, серые в черную крапинку. Отверстия в них не были проделаны рукой человека, такие камни с дырочками находят на берегу моря и называют «куриными богами». Леша взялся за свинцовое основание и начал поворачивать объект, пока не добрался до глиняного человечка.

Действительно, круглое лицо было обрамлено выступающим обручем, в этом — при горячем желании — можно было распознать намек на космический шлем. На месте носа у человечка были две дырочки, вместо глаз — выпученные горошины, небрежно прочерченная линия рта косо уходила влево. Что касается общего вида, то тут представлялось возможным двоякое толкование: не то неизвестный художник на самом деле пытался изобразить скафандр, не то человечек просто-напросто был пухлым обжорой и вообще проглотил больше, чем смог прожевать.

Леша склонялся ко второму варианту.

— Пузан! — сказал он, толкнув фигурку в брюшко. — Робин-Бобин-Барабек!

Полюбовавшись человечком, Леша вновь стал вращать основание, пока фигурка не описала несколько полных кругов, и при движении ему почудилось, будто он примечает систему в том, как расположены предметы между проволочными линиями. Это чем-то напоминало стихи, где среди неброских фраз, служащих основой, Леша тоже прилаживал слова-ракушки и слова-перышки. Он даже невольно зашевелил губами — казалось, еще немного, и получится сказать вслух что-то важное...

Приблизив лицо так близко, что проволоки стали подобны толстым прутьям, он обнаружил, что внутреннее пространство по вертикали пронизывает стержень, тоже свитый из проволоки и усеянный черными бусинками-перчинками.

Леша, полураскрыв рот, вглядывался в темный блеск.

Бусинки были зрячими, и они уставились на Лешу в ожидании.

Это ожидание никак нельзя было обмануть. Он привычно распахнул разум, чтобы принять знаки, на сей раз заключенные в чередовании проволочных линий и расположенных между ними предметов, и чтобы, как всегда, сложить полученные образы в определенную систему.

Стихи на этот раз пришли совсем издали. Слова казались знакомыми, но если б кто-то заглянул сейчас в комнату, то вряд ли опознал бы хоть что-то из человеческого языка в глухом торопливом бормотании, совсем не похожем на детскую речь. Но никто не заглянул. Из гостиной доносились звяканье столовых приборов о тарелки, взрывы хохота и перекрывающий их бас Николая Нуара — писатель в красках живописал свою поездку в Германию, где готовился к выходу трехтомник его сочинений.

Леша уяснил, что нынешнее стихотворение особенное,

когда стержень, усеянный бусинами, замерцал мягким зеленым светом и начал вращаться по часовой стрелке.

Леша отпрянул.

Желтые обои позеленели, по стенам и потолку побежали тени. Вслед за стержнем пришли в движение и внешние проволоки. Двигались они хитрым способом — вращалась только середина проволочной конструкции, а основание и верх непостижимым образом оставались на месте.

— Оптическая иллюзия, — произнес вслух озадаченный Леша и потянулся пальцем, чтобы проверить, действительно ли это так.

Но палец наткнулся на что-то невидимое, упругое, и одновременно показалось, будто невидимые мышки пробежались в голове. Такое было ощущение — легкие лапки, перебегающие от воспоминания к воспоминанию.

— Включена защита от внешних воздействий, — объяснил голос внутри Лешинной головы. — Балестин, отключить, дружок?

Голос принадлежал его учительнице, Клавдии Васильевне. Леша чуть было не свалился со стула от неожиданности и долго соображал, приоткрыв рот, но потом догадался, что разговаривает та штуковина, что стоит перед ним на столе.

— Не надо, пусть будет, — сказал он, подумав. — А ты кто?

Штуковина тоже подумала и сообщила:

— Я — Исполнитель.

Леша неуверенно оглянулся на дверь. Может, это Громов замыслил шутку с передатчиком и гости за столом покатываются со смеху вовсе не от шуток дяди Коли? Но записать для розыгрыша голос его школьной учительницы — это было слишком даже для Громова.

— Исполнитель? А что ты исполняешь?

Исполнитель заново перебрал лапками его мысли и нашел подходящее объяснение:

— Исполняю желания.

— Чьи?

— Твои, Балестин, звезда Интернета... — После небольшой запинки голос Клавдии Васильевны задумчиво произнес: — Негативная реакция на звуковые вибрации наставника... Коррекция...

И продолжил дальше голосом Нины Елистратьевны, детсадовской нянечки:

— Желания я исполняю, Лешенька. Уж такая ты умничка, такая разумничка, код прочел, право имеешь приказывать. Исполню, если надобно будет.

Штуковина оказалась вовсе не арт-объектом, а как бы джинном. А он, Леша, кем-то вроде Аладдина. Леша сглотнул слюну и замирающим от предвкушения голосом сказал:

— Надобно. Мне надобно. — Потом уточнил: — Все-все исполнишь?

— Ой, не все, Лешик, не все. Только в пределах планеты, космос не потяну. Много времени под земляным холмом провела, хозяйского догляду за мной не было, обновлений не получала... разладилась маленько. Не слышу ведь хозяев, совсем не слышу. Нет их здесь. Никого нет. Один ты меня услышал, зайчик, так что приказывай, а я уж постараюсь.

— ...Ну, давай... конфету, что ли... «Мишку на Севере»...

На самом деле, конфету Леша не так чтобы сильно хотел. Это было желание на пробу.

Джинн на какое-то время затих — наверное, выяснял в Лешинном сознании, не надо ли ему предоставить тушу полярного медведя, облитую шоколадом.

Вращение проволочек приостановилось, затем они за-

дрожили и вновь пришли в движение, причем движение это происходило в разных направлениях и немного напоминало анимационное изображение атома из познавательного мультфильма «Приключения Микрончика». Предмет на столе больше не напоминал перевернутую елку, а приобрел сферическую форму. Камешки, ракушки, перышки мелькали пестрыми размытыми пятнами. Только человек каким-то чудом оставался неподвижен и таранился на Лешу черными горошинами.

С еле слышным жужжанием воздух перед Лешей сгустился, помутнел, через какое-то время на поверхность стола упала конфета «Мишка на Севере».

Проволоки остановились.

— Кушай, Лешенька, кушай, зайчик, — скрипуче пригласил джинн.

Чтобы довести эксперимент до конца, конфету надо было попробовать. Леша вздохнул — пожалел, что вместо сладкого не пожелал чипсов со вкусом сыра, но фантик развернул и конфету съел. Она оказалась точно такой же, как настоящая.

Теперь, пожалуй, можно было загадать желание посложнее. Но тут Леша с удивлением понял, что не знает, о чем просить. Он был сыт, одет, обут, жил в теплой комнате, наполненной нужными ему вещами, на Новый год у него будет гора подарков... и дедушка намекнул, что родители собирались подарить именно ту новейшую электронную игрушку, о которой он мечтал. Если попросить подарок у джинна, то получится, что родители потратят немалые деньги напрасно и вообще, наверное, огорчатся, что сюрприз не удался. Они давно шушукаются и замолкают при его приближении, а у самих на лицах сохраняется выражение радостного предвкушения.

Он придумает что-нибудь позже, а пока надо просить что-нибудь незначительное.

Наверное, голос Клавдии Васильевны напомнил Леше об истории с теми стихами, которые учительница пыталась заставить его выучить. Самое неприятное заключалось вовсе не в том, что стихи были нехороши, а в том, что родители тогда встали на сторону Клавдии Васильевны.

— Нельзя спорить с учителем, — произнесла мама и в поисках поддержки взглянула на папу. — Клавдия Васильевна старалась, сценарий писала, стихи подбирала, ей помогать надо было, а не палки в колеса вставлять.

Насупленный Леша отбивался:

— А чего она мне подсунула такое? Другим нормальное — «уж небо осенью дышало», а мне... такое.

— А «уж небо» — нормальное? — заинтересованно спросил папа, и мама, стремясь вернуть папу к предмету разговора, тут же наступила ему на край ступни.

Папа сразу кашлянул и строго сказал:

— В жизни, знаешь ли, сын, по-всякому бывает. Не каждый раз достается «уж небо осенью дышало». Иногда и эти... как их... слезинки да дождинки выпадают. Надо уметь принимать такие вещи стойко, как подбирает мужчине. Так что завтра ты подойдешь к Клавдии Васильевне и извинишься. И эти ее... «взвейтесь да развейтесь»... выучи, будь добр, к завтрашнему дню.

Леша припомнил тягостную сцену извинения, потом еще более тягостную сцену чтения стихов... что-то он там все-таки переставил местами, и Клавдия Васильевна после праздника разговаривала с ним таким тягучим ласковым голосом, что у Лешы зубы сводило...

Кажется, он знает, что можно попросить у Исполнителя.



ФАНТАСТИКА

— Пусть рано утром выпадет снег. И пусть снежинки будут большими... и одинаковыми. Не насовсем. До послезавтра, до вторника. У тебя ведь получится?

В понедельник первым уроком будет «Окружающий мир». Леша наберет в пластиковый стаканчик снега и покажет всем, в первую очередь учительнице, что был прав — снежинки могут быть одинаковыми. Раз в сто миллионов лет могут, и почему бы этому разу не случиться сейчас?

Исполнитель сначала долго молчал, затем издал серию звуков, напоминавших не то щелчки, не то цоканье языком. Цокал он тоже долго, потом чуть слышно загудел. Проволоки, остановившиеся на время разговора, начали набирать обороты и вскоре вращались с такой скоростью, что предмет, стоявший перед Лешей, потерял цвет и четкие очертания.

— Получится... — произносил механический голос, ничем не напоминавший ни голос Клавдии Васильевны, ни голос Нины Елистратьевны. — Получится... получится... получится...

В окно ударил порыв ветра.

Леша слез со стула и подошел к окну. Блестящими, расширенными от возбуждения глазами он глядел на черный вал, выползающий из-за горизонта. Тьма поглощала бледное зимнее небо и городские кварталы, как удав заглатывает добычу — с неумолимой настойчивостью.

Что-то похожее на громовые раскаты доносилось с той стороны.

В соседней комнате стало тихо.

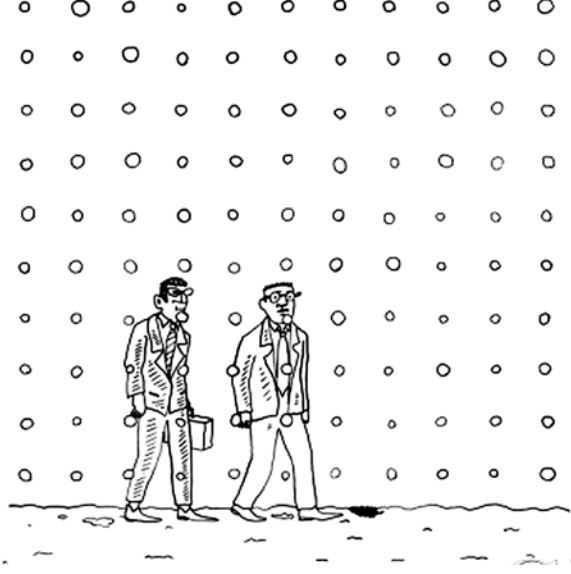
Мурашки побежали по Лешиной спине. Что же говорила Клавдия Васильевна на том уроке? Отчего, в самом деле, снежинки все разные? Он тогда был занят... интересные слова пришли из ниоткуда, это оказалось важнее всего... он сочинял стихи и не запомнил ничего из объяснений учителя.

Леша обернулся посмотреть на размытое серое пятно, гудевшее над столом.

Когда он вновь взглянул в окно, клубящаяся чернота уже пожрала полгорода и приблизилась настолько, что стало видно — впереди нее идет что-то невидимое, что рушит высотные здания как карточные домики.

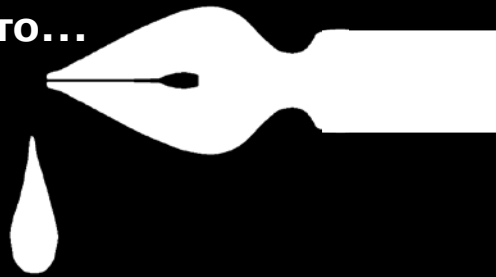
Лешина мама еще успела ворваться в комнату и вытащить его в коридор, но тьма пришла лишь на мгновение позже, и не было в этой тьме звезд.





Художник Флана Финк

Пишут, что...



КОРОТКИЕ ЗАМЕТКИ

Как потеет лед

С потеющим льдом сталкивался каждый, причем в прямом смысле — когда падал, поскользнувшись на замерзшей дороге. Причину в 1842 году предложил Майкл Фарадей: это тонкая пленка жидкой воды, которая образуется на льду. И с тех пор ученые ведут споры о том, как она образуется.

Полтора столетия эта пленка оставалась ненаблюдаемой, и лишь в 2012 году разглядеть пленку смогли японские исследователи из Института низких температур университета Хоккайдо во главе с Сазаки Геном. Они использовали лазерную конфокальную и дифференциальную интерференционно-контрастную микроскопию. И выяснили, что никакой сплошной пленки на поверхности льда нет, а есть две жидкие фазы: в виде лоскутов тонкой пленки и отдельных капель. Продолжив исследования, японские ледоведы в начале 2016 года выяснили, что вода на поверхности льда появляется отнюдь не из-за его плавления. Наоборот, это конденсация воды на растущем ледяном кристалле. Дело в том, что для возникновения жидкого слоя необходимы два условия — температура ниже нуля и значительное пересыщение водяного пара над его поверхностью. Если же пересыщение невелико, тогда кристалл растет твердом виде: молекулы воды оседают на него непосредственно из пара.

Однако молекулы жидкой воды на твердой воде никак не могут дать две морфологии (пленку и капли), ведь форма возникающих частиц определяется одной и той же силой межмолекулярного взаимодействия на границе раздела. Для решения парадокса пришлось создать термодинамическую модель («Proceedings of the National Academy of Science», 17 октября 2016 года, E6741—E6748, doi: 10.1073/pnas.1608888113). Она показала, что сначала на поверхности льда формируется все-таки пленка, но она метастабильна: ее целостность нарушают тепловые флуктуации — в пленке возникают дыры, обнажается ледяная поверхность, а ушедшая оттуда вода создает поверх пленки капли. Есть и другой механизм: пленка практически мгновенно распадается на множество одинаковых капель. А всем управляет пересыщение водяного пара.

Видимо, изготовителям обуви придется учитывать в своих расчетах новейшие открытия исследователей льда. Пока что их успехи в защите людей от падений на гололеде скромны. Так, исследователи из Института реабилитации в Торонто построили испытательный стенд для обуви. Они планировали присваивать антигололедной обуви специальные знаки отличия, привлекающие внимание покупателей: за обувь, в которой можно идти по льду под уклоном 7°, давать одну снежинку, за 11° — две, а за 15° — три. Увы, из испытанных 98 образцов зимней обуви, 90 не смогли набрать ни одной снежинки (агентство «NewsWise», 24 ноября 2016 года). Обувщикам и химикам, придумывающим материалы для подошвы, есть над чем поработать.

С.Анофелес

...на заре существования Вселенной скорости распространения света и гравитации не были постоянными («Physical Review», 2016, D 94, 101301, doi: 10.1103/PhysRevD.94.101301)...

...на поверхности ядра кометы Чурюмова — Герасименко присутствуют как минимум три различных вида материала: на порядок меньше по прочности на сжатие, чем свежесвыпавший снег при температуре -10°C , консолидированный, с прочностью почти как у такого же снега, и высокопористый лед, или смесь льда и пыли («Астрономический вестник», 2016, 50, 4, 241—251)...

...будущее за солнечными батареями, отпечатанными на принтере («Nature», 2016, 539, 7630, 488—489, doi: 10.1038/539488a)...

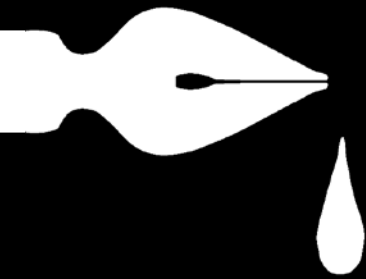
...причиной холодных зим пятилетней давности в Великобритании, а также рекордного снегопада в Нью-Йорке прошлой зимой может быть потепление в Арктике («Nature Climate Change», 2016, 6, 992—999, doi: 10.1038/nclimate3121)...

...для снижения шума в салоне самолета разрабатывается технология изготовления внутренней конструкции практически без точек крепления к обшивке, за исключением нескольких — на полу; при этом ее прочность должна быть достаточной, чтобы выдержать вес багажных полок и оборудования («Акустический журнал», 2016, 62, 4, 474—479)...

...радиоуглеродное датирование поможет контролировать черный рынок слоновой кости — этим методом можно установить, когда погибло животное, которому принадлежал бивень («Proceedings of the National Academy of Sciences USA», 2016, 113 47, 13330—13335, doi: 10.1073/pnas.1614938113)...

...вслед за ростом инфекционных заболеваний в популяции растет гендерное неравенство и снижается возраст деторождения у женщин, вероятно, из-за изменения критериев, которые предъявляются к партнеру («Nature Human Behaviour», 2016, 1, 0003, doi: 10.1038/s41562-016-0003)...

...белая куропатка принадлежит к немногочисленным теплокровным растительноядным видам, обитающих в условиях экстремально низких температур; в сильные холода они всеядны и кормятся лишь дважды в сутки, чтобы не выходить лишний раз на мороз («Зоологический журнал», 2016, 95, 8, 955—965)...



...из-за инверсии в хромосоме 2 у белогорлого воробья *Zonotrichia albicollis* практически четыре пола — по две морфы (разновидности) самцов и самок; каждая из морф может спариваться только с одной морфой противоположного пола, то есть с четвертью популяции («Current Biology», 2016, 26, 3, 344—350, doi: 10.1016/j.cub.2015.11.069)

...один из способов борьбы с ожирением, которое среди взрослого населения США приняло почти эпидемические масштабы, — общественная жизнь; в небольших округах в борьбу с лишним весом вовлечены спортивные учреждения, рестораны, магазины («BMC Obesity», 2016, 3, 49, doi: 10.1186/s40608-016-0129-x)...

...фермент, найденный в бактерии *Rhodothermus marinus* из исландских горячих источников и подвергнутый направленной эволюции в кишечной палочке, образует ковалентные связи между кремнием и углеродом, при условии, что бактерия получает кремний в доступной форме («Science», 2016, 354, 6315, 1048—1051, doi: 10.1126/science.aah6219)...

...ацидофильные микробактерии при росте на углеводородах образуют поверхностно-активные вещества, устойчивые к экстремальным факторам внешней среды («Микробиология», 2016, 85, 3, 300—308)...

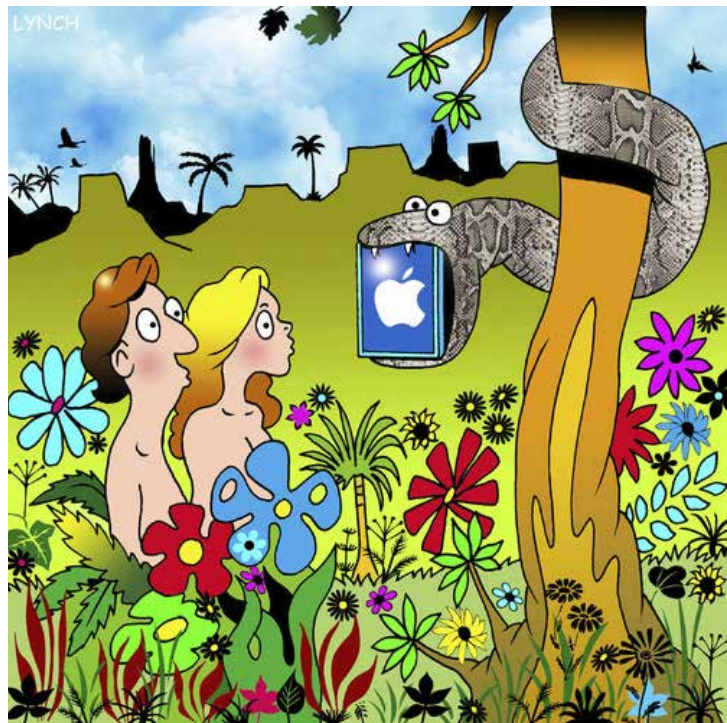
...создан антимикробный пептид, который способен разрушительно воздействовать на многие типы бактерий, успешно противостоящих антибиотикам («Scientific Reports», 2016, 6, 35465, doi: 10.1038/srep35465)...

...журнал «Science» в блоке материалов про биологические часы поместил статью о «ночных ученых», вынужденных работать в темное время суток, от астрономов до специалистов по летучим мышам («Science», 2016, 354, 6315, 988—991, doi: 10.1126/science.354.6315.988)...

...условная реакция страха на световой стимул у мышей вырабатывается значительно медленнее, чем на звуковой («Журнал высшей нервной деятельности», 2016, .66, 3, 493—498)...

...среди поросят есть оптимисты и пессимисты, причем обе личностные характеристики формируются и в более, и в менее комфортных условиях, однако пессимисты, выросшие в комфорте, могут реагировать оптимистично («Biology Letters», 2016, 12, 20160402, doi: 10.1098/rsbl.2016.0402)...

Художник Марк Линч



КОРОТКИЕ ЗАМЕТКИ

Глядя на смартфон

У психологов есть много интересных тестов. Например, они просят нарисовать несуществующее животное; глядя на рисунок, профессионал может составить достаточно полное представление о характере его автора. Похоже, вскоре появятся новые тесты: чтобы распознать склонности человека, достаточно посмотреть на его смартфон, ведь это устройство из средства связи у многих превратилось в «уменьшенную цифровую копию своего владельца». Взятые в кавычки слова принадлежат Хизер Шоу из университета Линкольна (Великобритания); она участвовала в составлении психологических портретов владельцев смартфонов с разными операционными системами («Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking», 21 ноября 2016 года; doi:10.1089/cyber.2016.0324).

Сейчас рынок почти поровну разделен между смартфонами на системах iPhone и Android. Исследователи раздали участникам опыта 500 опросных листов, а после их обработки выяснили, что владельцы обоих типов смартфонов статистически значительно различаются между собой. Так, обладателем первого с вероятностью 2:3 будет молодая женщина. Скорее всего, она — эмоциональный и не очень честный экстраверт, воспринимает телефон как предмет, демонстрирующий статус, и не особенно огорчается, что такое же устройство есть у многих других. «Андроидом» же пользуется мужчина постарше, более честный и легче поддающийся на уговоры, нежели владелица альтернативного смартфона. Он предпочтет соблюсти установленное правило, нежели нарушить его ради собственной выгоды, а также не слишком озабочен увеличением достатка и статуса.

Теперь на основании этой информации исследователи попытаются решить обратную задачу: определить, кто каким смартфоном пользуется. Видимо, это будет интересно менеджерам-маркетологам при планировании рекламных кампаний. А ответы на прямую задачу пригодятся людям рискованных профессий, которым постоянно приходится на глаз оценивать, кто из окружающих на что способен, и просто любопытным. Правда, они могут оказаться в тупике, увидев в руках человека простой телефон.

А. Мотыляев

А теперь — дискотека!



Барометр — прибор, с помощью которого в конце XX века измеряли высоту башен.

Энциклопедия метрологии. 2047

В Интернете популярна история про экзаменационный вопрос: «Как измерить высоту башни (вариант: небоскреба) с помощью барометра?» Взята она из эссе американского ученого и преподавателя Александра Каландры «Angels on a Pin», впервые опубликованного в 1959 году. Способов, не считая того, который описан в учебнике, за полвека набралось много. Здесь приведены некоторые из них, а ваша задача — определить точность методов. Ответы шуточные, но физика почти корректная (хотя есть несколько ошибок), определение же точности в некоторых случаях примитивно, а в некоторых — весьма сложно. Для успешно справившихся еще одно задание — найти эти ошибки. Желавшие могут присылать ответы на адрес редакции (redaktor@hij.ru).

Итак, задача состоит в том, чтобы предложить как можно больше способов измерения высоты башни при помощи барометра или нескольких барометров.

1. Измерить время падения барометра с вершины. Высота башни рассчитывается через время и ускорение свободного падения.
2. Пустить солнечный зайчик барометром, находящимся на одном уровне с основанием башни, в глаз наблюдателя на ее вершине. Рассчитать высоту, исходя из угла возвышения солнца над горизонтом, угла наклона барометра и расстояния от барометра до башни.
3. Измерить время всплывания барометра со дна заполненной водой башни. Скорость всплывания измерить в ближайшем бассейне или ведре. Если барометр тяжелее воды, привязать к нему воздушный шарик.
4. Положить барометр на башню. Измерить величину деформации сжатия башни. Высота башни находится через закон Гука. В этом способе можно поменять башню и барометр местами.
5. Насыпать кучу барометров такой же высоты, что и башня. Высота башни рассчитывается через диаметр основания кучи и коэффициент осыпания барометров, который можно вычислить, например, с помощью меньшей кучи.
6. Закрепить барометр на вершине башни. Послать кого-нибудь вверх снять показания с барометра. Высота башни рассчитывается исходя из скорости передвижения посланного человека и времени его отсутствия.
7. Натереть барометром шерсть на вершине и у основания башни. Измерить силу взаимного отталкивания вершины и основания. Она будет обратно пропорциональна высоте башни.
8. Вывести башню и барометр в открытый космос. Установить их неподвижно друг относительно друга на фиксированном расстоянии. Измерить время падения барометра на башню. Высота башни находится через массу барометра, время падения, диаметр и плотность башни.
9. Положить башню на землю. Перекатывать барометр от вершины к основанию, считая число оборотов. (Способ 38 попугаев.)
10. Закопать башню в землю. Вынуть ее. Заполнить яму барометрами. Зная диаметр башни и количество барометров, приходящееся на единицу объема, рассчитать высоту башни.

В ПОГОНЕ ЗА ТОЧНОСТЬЮ

11. Измерить вес барометра на поверхности и на дне ямы из предыдущего ответа. Разность значений определит высоту башни.
12. Наклонить башню. Привязать к барометру длинную веревку и спустить его до поверхности земли. Рассчитать высоту башни по расстоянию от места касания барометром земли до башни и углу между башней и веревкой.
13. Взять один атом барометра. Положить его на вершину башни. Измерить вероятность нахождения электронов данного атома у подножия башни. Она однозначно определит высоту башни.
14. Продать барометр на рынке. На вырученные деньги купить бутылку водки, с помощью которой узнать у архитектора высоту башни.
15. Нагреть воздух в башне до определенной температуры, предварительно ее загерметизировав. Прodelать в башне дырочку, около которой закрепить на пружине барометр. Построить график зависимости натяжения пружины от времени. Проинтегрировать график и, зная диаметр отверстия, найти количество воздуха, вышедшее из башни вследствие теплового расширения. Эта величина будет прямо пропорциональна объему башни. Зная объем и диаметр башни, находим ее высоту.
16. Привязать к барометру веревку длиной с башню. Использовать полученную конструкцию вместо маятника. Период колебаний этого маятника однозначно определит высоту башни.
17. Выкачать из башни воздух. Закачать его туда снова в строго фиксированном количестве. Измерить барометром давление внутри башни. Оно будет обратно пропорционально объему башни. А по объему высоту мы уже находили.
18. Соединить башню и барометр в электрическую цепь — сначала последовательно, а потом параллельно. Зная напряжение, сопротивление барометра, удельное сопротивление башни и измерив в обоих случаях силу тока, рассчитать высоту башни.
19. Положить башню на две опоры. Посередине подвесить барометр. Высота (или в данном случае длина) башни определяется по величине изгиба, возникшего под действием веса барометра.
20. Уравновесить башню и барометр на рычаге. Зная плотность и диаметр башни, плечи рычага и массу барометра, рассчитать высоту башни.
21. Измерить разность потенциальных энергий барометра на вершине и у основания башни. Она будет прямо пропорциональна высоте башни.
22. Посадить внутри башни дерево. Вынуть из корпуса барометра ненужные детали и использовать полученный сосуд для полива дерева. Когда дерево достигнет до вершины башни, спилить его и сжечь. По количеству выделившейся энергии определить высоту башни.
23. Поместить барометр в произвольной точке пространства. Измерить расстояние между барометром и вершиной и между барометром и основанием башни, а также угол между направлением от барометра на вершину и основание. Высоту башни рассчитать по теореме косинусов.
24. Измерить с помощью барометра высоту половины башни. Высоту башни вычислить, умножив полученное значение на два.



Художник С. Тюнин

А профессор Каландра в своем эссе рассказывает, как к нему обратился коллега с просьбой рассудить его и студента, давшего на тот самый вопрос следующий ответ: «Нужно подняться с барометром на крышу здания, спустить барометр вниз на длинной веревке, а затем втянуть его обратно и измерить длину веревки, которая и покажет высоту здания». Студент не соглашался с низкой оценкой и претендовал на высшую.

«Я заметил, что ответ полон и корректен. С другой стороны, высшая оценка должна подтверждать хорошее знание физики, а ответ о нем не свидетельствует. Я дал студенту шесть минут на подготовку и предупредил, что ответ должен демонстрировать знание физических законов. По истечении пяти минут он не написал ничего. Я спросил его, сдастся ли он, но он заявил, что у него есть несколько решений и он просто выбирает лучшее...

Через минуту он дал ответ: «Поднимитесь с барометром на крышу и бросьте его вниз, замеряя время падения. Затем по формуле $S = \frac{1}{2} a t^2$ вычислите высоту здания».

Тут я спросил моего коллегу, доволен ли он, тот признал ответ удовлетворительным. Покидая его кабинет, я вспомнил, как студент упоминал, что знает несколько ответов, и спросил его о них.

— Есть несколько способов измерить высоту здания с помощью барометра, — начал студент. — Например, можно выйти на улицу в солнечный день и измерить высоту барометра и его тени, а также измерить длину тени здания. Затем, решив несложную пропорцию, определить высоту самого здания.

— Неплохо, — сказал я. — Есть и другие способы?

— Да. Есть очень простой способ, который, уверен, вам понравится. Вы берете барометр и поднимаетесь по лестнице, при этом прикладываете его к стене и делаете отметки. Сосчитав эти отметки, вы получите высоту здания в барометрических единицах. В высшей степени прямой метод. Если вы хотите более сложный способ, то можете привязать к барометру шнурок и, раскачивая его, как маятник, определить величину g у основания здания и на крыше. Из разницы между этими величинами можно вычислить высоту здания.

И наконец, — заключил он, — среди множества способов решения проблемы лучший, пожалуй, такой. Найдите управляющего зданием и скажите ему: «Господин управляющий, у меня есть замечательный барометр. Он ваш, если вы скажете мне высоту этого здания».

Я спросил студента: неужели он действительно не знал общепринятого решения? Он сказал, что знал, и добавил, что сыт по горло школой и колледжем, где учителя пытаются научить его думать, использовать «научный метод», исследовать глубинную внутреннюю логику предмета в педантичной манере, вместо того чтобы постигать его структуру. Размышляя об этом, он решил возродить схоластику, чтобы бросить вызов американским учебным классам, напуганным «спутниковым кризисом».

Л.Намер

