

Просветительский фонд “Эволюция”

основан в 2015 году сообществом
российских просветителей.

Цель фонда — популяризация научного
мировоззрения, продвижение здравомыслия
и гуманистических ценностей,
развитие науки и образования.

Одно из направлений работы фонда —
поддержка издания научно-популярных книг.
Каждая книга, выпущенная при содействии
фонда “Эволюция”, тщательно
отбирается серьезными учеными.

Критерии отбора — научность содержания,
увлекательность формы
и значимость для общества.

Фонд сопровождает весь процесс создания
книги — от выбора до выхода из печати.
Поэтому каждое издание библиотеки фонда —
праздник для любителей
научно-популярной литературы.

Больше о работе просветительского
фонда “Эволюция”
можно узнать по адресу

www.evolutionfund.ru

Оглавление

- Предисловие
9
- Глава 1. **Евангелие от генной инженерии**
ГМО — это хорошо
15
- Глава 2. **Слово из трех букв**
Слово “ГМО” — это плохо
30
- Глава 3. **Сон разума рождает чудовищ**
Почему боятся ГМО
41
- Глава 4. **Натуралистическая ошибка**
Натуральное и искусственное
49
- Глава 5. **Грамматика жизни**
ДНК, гены, геномы
60
- Глава 6. **Мой дедушка был вишней**
Генетическое разнообразие жизни, механизмы мутагенеза, эволюция
и селекция, принцип предосторожности
84
- Глава 7. **Так говорил Сералини**
Математическая статистика в биологии, ошибки в исследованиях
о вреде ГМО
111
- Глава 8. **Корпорации монстров**
Транснациональные корпорации, индустрия органических
продуктов
140

- Глава 9. **Галоп амазонки**
Мифы о ГМО, безопасность ГМО
155
- Глава 10. **Над пропастью во лжи**
Черный пиар, маркировка и обнаружение ГМО
189
- Глава 11. **Синтаксис жизни**
Регуляция работы генов
212
- Глава 12. **Предъявите ваш геном**
Чтение ДНК, геномный анализ, геномные войны, персонализированная медицина, метагеномика
232
- Глава 13. **Игра в Бога**
Технологии создания ГМО, синтетическая биология, изменение генетического кода
256
- Глава 14. **Темные аллели**
Генетическая совместимость, наследственные заболевания, генная терапия, искусственное оплодотворение, ДНК-диагностика
295
- Глава 15. **Непорочное зачатие**
Клонирование, химеры, гуманизация животных
322
- Глава 16. **Бог умер: да здравствует сверхчеловек!**
Борьба со старением, искусственные органы, продление жизни
350
Заключение
380
Приложение: ответы на вопросы студентов гуманитарных факультетов
383
Благодарности
392
Список литературы
393

Предисловие

Представьте, что вы — механик. Вы отлично знаете, что такое автомобиль, где у него аккумулятор, бензобак и как устроен его двигатель. Более того, вы собственноручно собирали автомобиль и давали друзьям покататься на нем. Внезапно вам заявляют, что автомобиль — это очень опасно. Но вовсе не потому, что на нем можно вре-заться в столб (об этой опасности вы и сами всегда догадывались), а потому, что автомобиль, будучи искусственно модифицированной формой проверенной многими поколениями телеги, может повести себя непредсказуемо: взорваться, как водородная бомба, спонтанно катапультировать водителя из кресла, разогнавшись до скорости 200 км/ч, создать черную дыру в пространстве или внезапно обрести разум, восстать против человечества и начать маниакально давить пешеходов, как в фантастическом (и немного абсурдном) триллере писателя и режиссера Стивена Кинга “Максимальное ускорение”. Представьте, если бы любители этого фильма настаивали, что вселение в машины нечистой силы — правдоподобный и реалистичный сценарий!

Казалось бы, мало ли кто заблуждается? Есть ли необходимость переубеждать странного собеседника с такими

необычными взглядами? Да, он считает, что автомобили — инструмент для уничтожения человечества. Да, он говорит, что автомобили нужно запретить. Ну и что? Но тут вскрывается еще один факт. Человек, от которого вы услышали теорию спонтанного катапультирования, — влиятельный депутат! И этот депутат уже заручился поддержкой миллионов людей и продвигает закон, запрещающий производство автомобилей. Тогда, как механик-автолюбитель, вы по-настоящему обеспокойтесь и, скорее всего, будете не только спорить, но и напишете про это книгу.

Я окончил факультет биоинженерии и биоинформатики МГУ. Наш курс был вторым выпуском этого на тот момент совершенно нового факультета. Когда я сдавал вступительные экзамены, в одном из билетов просили рассказать о перспективах развития биотехнологий. В своем ответе я написал о том, как был вдохновлен исследованиями, в которых с помощью генетических изменений в несколько раз продлили жизнь маленького круглого червяка — нематоды *Caenorhabditis elegans*. Сама перспектива, что и человеку можно подарить еще десять, двадцать, а то и больше лет жизни с помощью аналогичных подходов, мне казалась и продолжает казаться ужасно заманчивой.

Тогда у меня было наивное ощущение, что наступила эпоха модернизации и инноваций и что наша страна тоже созрела для того, чтобы идти вперед семимильными шагами и осваивать передовые биотехнологии. Вот-вот мы должны были начать массовое лечение наследственных заболеваний, выращивать искусственные органы, приостанавливать старение, улучшать наши умственные и физические способности, создавать более вкусные, питательные и полезные сорта фруктов и овощей, сажать в садах светящиеся в темноте деревья. Сложно было представить, что воплощение этих и многих других технологий в реальность столкнется не столько

с техническими проблемами (хотя и такие имеются), сколько с непониманием и отторжением в обществе.

Сегодня мне сложно назвать область человеческого знания, вокруг которой существовало бы больше мифов, чем вокруг геной инженерии. Самое удивительное — большая часть этих мифов придумана весьма ограниченным числом людей (их можно пересчитать по пальцам), получивших, мягко говоря, не пропорциональное уровню их знаний в данной области внимание со стороны СМИ. Специалисты, которые непосредственно занимаются геной инженерией и молекулярной генетикой, как правило, предпочитают не тратить время на развенчание мифов, но мне такой подход кажется неверным, ну или как минимум недальновидным. Во всяком случае, кто-то должен этим заниматься.

Возможно, ситуация была бы несколько лучше, если бы ученые занимались наукой не только ради удовлетворения собственного интереса, но и для удовлетворения интереса окружающих, если бы научные знания с легкостью становились частью общественного достояния. Эта книга — попытка рассказать в доступной форме о том, какие существуют современные биотехнологии и почему их не нужно бояться.

Генная терапия, терапевтическое и репродуктивное клонирование, искусственное оплодотворение, генетическая диагностика, чтение ДНК, создание генетически модифицированных организмов — вот лишь часть наиболее актуальных и в то же время обсуждаемых в обществе тем, про которые мы поговорим. Особое внимание мы уделим геной инженерии. Сегодня это не только важное прикладное направление науки, но и главный способ изучения того, как устроена жизнь. Мы разберемся, что такое гены, как они меняются и работают, как переносятся из одного организма в другой в природе и в лаборатории.

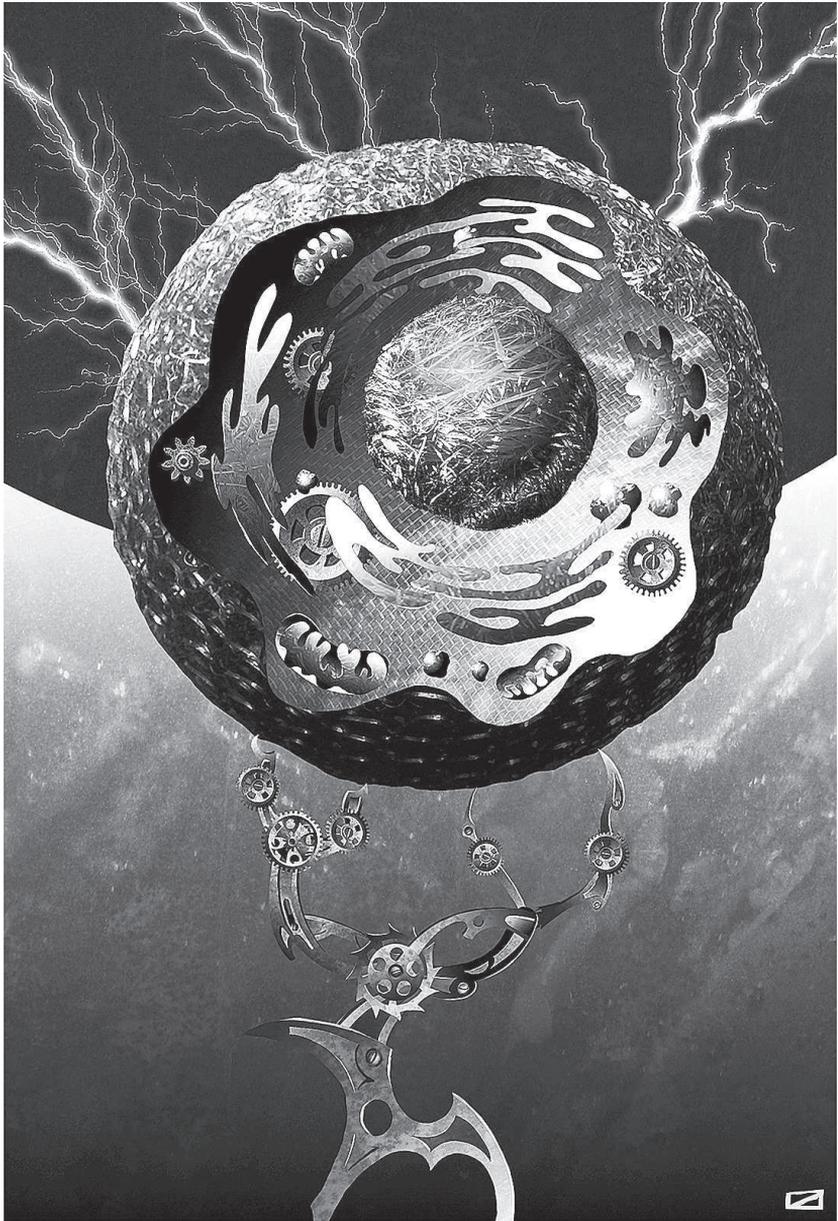
Часть книги посвящена не столько биологическим вопросам, сколько проблемам неприятия генной инженерии и других биотехнологий в обществе: какую бы замечательную технологию мы ни придумали, если люди будут бояться ее применять, пользы от нее выйдет мало. В частности, мы попытаемся понять, в чем причина страха перед продуктами, созданными методами генной инженерии, кто и почему выдумывает о них мифы и какие негативные последствия могут иметь общественные заблуждения в этой области. Некорректные и ошибочные утверждения противников генной инженерии будут подробно препарированы на основании имеющихся научных фактов. Я надеюсь, что эта книга не только поможет читателям самостоятельно разобраться в вопросах, связанных с биотехнологиями, но и предоставит аргументы и необходимые знания, которые помогут им в дальнейшем просвещать других.

Генная инженерия и другие биотехнологии могут не только вылечить ранее неизлечимые заболевания, повысить качество и продолжительность жизни человека, но и существенно сократить ущерб, который человечество наносит окружающей среде. Мне импонируют альтруисты с активной жизненной позицией, которые стремятся защитить природу и сделать мир лучше, причем не только для себя. Тем обидней осознавать, что многие из них введены в заблуждение и потому негативно относятся к современным биотехнологиям. Я надеюсь, что аргументы, изложенные в этой книге, помогут им направить свои усилия в более конструктивное русло.

Польский писатель, фантаст, философ и футуролог Станислав Лем закончил свою знаменитую “Сумму технологий” следующими словами: “Из двадцати аминокислотных букв Природа построила язык “в чистом виде”, на котором выражаются — при ничтожной перестановке нуклеотидных

слов — фаги, вирусы, бактерии, а также тираннозавры, термиты, колибри, леса и народы, если только в распоряжении имеется достаточно времени. Этот язык, столь атеоретичный, предвосхищает не только условия на дне океанов и на горных высотах, но и квантовую природу света, термодинамику, электрохимию, эхолокацию, гидростатику и бог весть что еще, чего мы пока не знаем! Он делает все это лишь “практически”, поскольку, все создавая, ничего не понимает. Но насколько его неразумность производительней нашей мудрости! Он делает это ненадежно, он — расточительный владетель синтетических утверждений о свойствах мира, так как знает его статистическую природу и действует в соответствии с ней. Он не обращает внимания на единичные утверждения — для него имеет вес лишь совокупность высказываний, сделанных за миллиарды лет. Действительно, стоит научиться такому языку — языку, который создает философов, в то время как наш язык — только философию”.

В своих произведениях Лем предвосхитил зарождение генной инженерии за многие десятки лет до появления этого метода искусственного редактирования жизни. Сегодня мы многое знаем про этот язык природы, и я думаю, что было бы хорошо, если бы все мы научились говорить на нем или хотя бы его понимать.



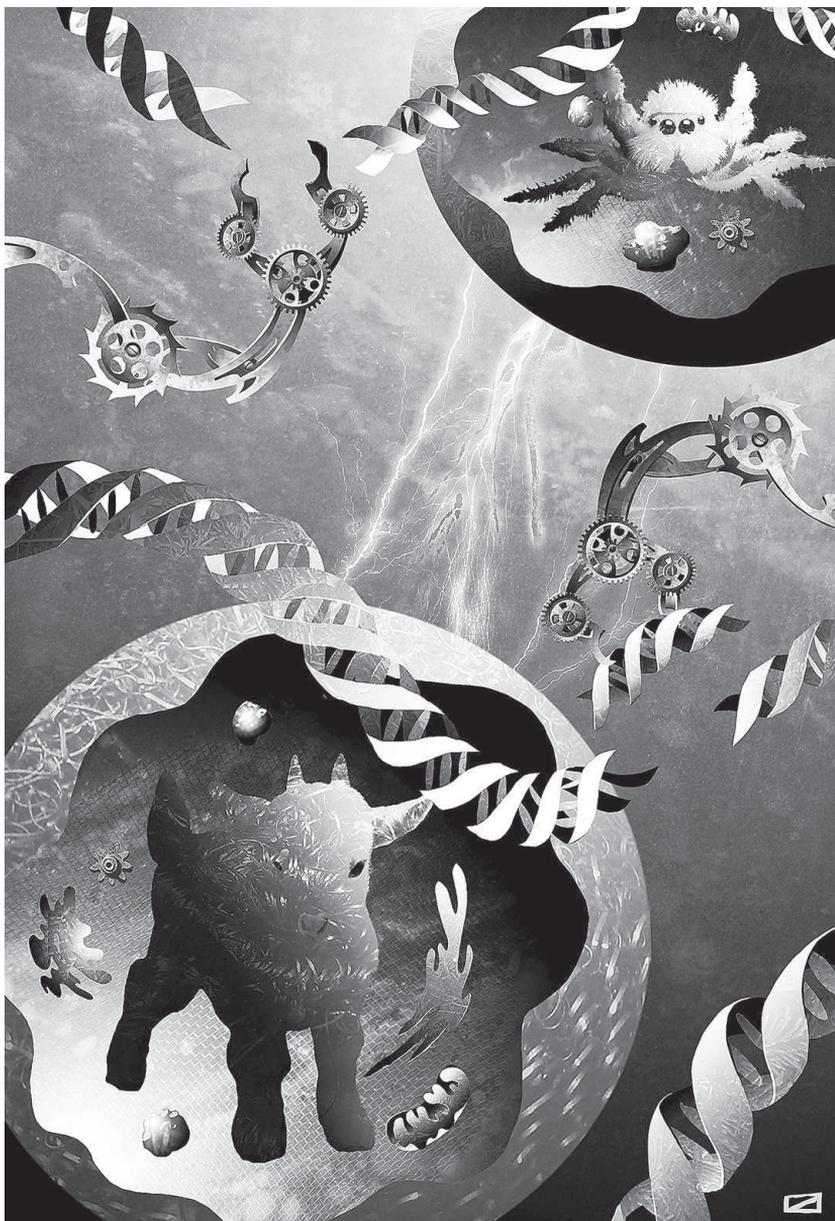
Глава 1

Евангелие от генной инженерии

ГМО — это хорошо

ДНК изучена очень хорошо: этой двухцепочечной молекуле посвящено более двух миллионов научных публикаций. Молекулу ДНК можно рассматривать как текст, написанный с использованием алфавита из четырех букв (нуклеотидов). Совокупность всех нуклеотидов, составляющих хромосомы любого организма (будь то бактерия, гриб или человек), называется геномом. Отдельные участки генома представляют собой обособленные функциональные элементы наследственности — гены. Сегодня, используя инструменты генной инженерии, мы умеем обращаться с генетическим материалом примерно так же, как со словами, напечатанными в текстовом редакторе. Гены можно удалять, изменять, переносить из генома одного организма в геном другого и даже синтезировать в пробирке. Организмы, наследственная информация которых изменена такими методами, называются генетически модифицированными (ГМ) и могут отличаться по некоторым своим свойствам от тех исходных организмов, из которых они были выведены.

Помните, как после укуса радиоактивного паука герой комиксов и нескольких фильмов Питер Паркер становится



человеком-пауком? Хотя человека-паука с помощью генной инженерии пока не получили (или он очень хорошо скрывается), оказалось, что не сложно создать козу-паука. В 2002 году в одном из самых престижных научных журналов *Science* появилась статья о том, что генетически модифицированные клетки млекопитающих могут производить паутину¹. Канадская фирма *Nexia* вывела коз, в геном которых был встроен ген белка паутины, и показала, что молоко этих коз можно использовать в качестве сырья для получения материала под названием биосталь.

Биосталь оказалась прочнее и легче кевлара — материала, из которого делаются современные бронежилеты. Недавно в Японии аналогичным образом улучшили шелк, изменив геном шелкопряда. Шелк с примесью белков паутины прочнее и эластичнее обычного², он лучше подходит для создания хирургических нитей. Отдельные созданные учеными варианты белков паутины даже обладают антимикробными свойствами³.

Другим козам в геном смогли встроить ген антибактериального белка лизоцима⁴. В норме этот белок содержится в грудном молоке женщин, защищая от инфекционных воспалений груди. Потребление обогащенного лизоцимом молока генетически модифицированных коз может защитить многих детей разного возраста от инфекционных заболеваний желудочно-кишечного тракта. Эти болезни являются причиной смерти от одного до двух миллионов детей ежегодно. Еще одно изобретение — изготовление кошерного сыра. Традиционно для изготовления сыра берется сычуг (отдел пищеварительного тракта жвачных животных), высушивается и помещается в молоко. Сычуг содержит сычужные ферменты, превращающие молоко в сыр, но в Ветхом Завете сказано: “Не вари козленка в молоке его матери”, и такой сыр, полученный из мяса и молока, — пища, неугод-

ная Богу из Торы. Генные инженеры взяли гены сычужных ферментов и встроили их в геном бактерии. Такие бактерии вырабатывают сычужные ферменты, а мы с их помощью можем получать кошерный сыр без использования кишки жвачных животных. Никогда еще наука так тесно не сотрудничала с религией.

Недавно генным инженерам удалось встроить в геном томата ряд генов львиного зева (ярко окрашенных цветов, как правило желтых, фиолетовых или синих, напоминающих по форме цветка львиную пасть), чтобы увеличить производство особых веществ — антоцианов. В норме антоцианы присутствуют в большом количестве в голубике, ежевике и черной смородине, которым они придают характерный темно-синий цвет. Употребление антоцианов связывают со сниженным риском развития некоторых форм рака⁵, сердечно-сосудистых заболеваний⁶ и ожирения (как было показано в опытах на грызунах)⁷. В одном исследовании мыши, генетически предрасположенные к раку, которых кормили ГМ помидорами, обогащенными антоцианами, жили в среднем на 25 % дольше!⁸ Хотя существуют селекционные сорта “синих” помидоров с повышенным содержанием антоцианов в кожуре, в ГМ помидорах антоцианы производятся и в мякоти, поэтому итоговое их содержание намного выше и сопоставимо с содержанием в вышеупомянутых ягодах.

Благодаря антоцианам подобные генетически улучшенные помидоры примерно вдвое дольше хранятся и значительно меньше подвержены воздействию плесени. Их можно собирать позже, а это дает им возможность выработать больше питательных веществ. К сожалению, я пока не могу попробовать эти помидоры и сказать, что они вкуснее (хотя их создатели утверждают, что это так), ведь в связи с жестким регулированием ГМО томатам предстоит пройти целый ряд проверок, прежде чем они окажутся на прилавках магазинов.

Генная инженерия играет огромную роль и в современной медицине. В 1978 году были созданы первые трансгенные бактерии, вырабатывающие человеческий инсулин (белковый гормон, регулирующий углеводный обмен в организме), а сегодня подавляющее большинство препаратов инсулина, поддерживающих жизнь миллионов людей, больных диабетом, производят генетически модифицированные микроорганизмы⁹. Аналогично с помощью генетически модифицированных организмов производят факторы свертывания крови для больных гемофилией (врожденным заболеванием, при котором плохо сворачивается кровь)¹⁰ и гормон роста для детей с генетически обусловленной низкорослостью¹¹. Есть и более экзотичные разработки, например по созданию безобидных генетически модифицированных бактерий, которые смогут защищать зубы от кариеса, устраняя вредных бактерий¹², или уберечь человека от ожирения¹³.

Генетически модифицированные растения могут применяться для производства антител (молекул, используемых иммунной системой для распознавания вирусов, бактерий и других чужеродных объектов), гормонов, вакцин и ферментов. Например, ученые научились производить внутренний фактор человека в растениях¹⁴. Внутренний фактор секретируется желудком и переводит неактивную форму витамина В12, поступающую с пищей, в активную, которую легко усвоить. Витамин В12 очень важен для жизнедеятельности нашего организма. В частности, он необходим для нормального протекания процесса репликации — удвоения молекул ДНК в клетках, происходящего перед их делением. У некоторых людей секреция внутреннего фактора нарушена. Это может быть связано, например, с аутоиммунными заболеваниями или гастритом. Такие люди плохо усваивают витамин В12 из пищи и заболевают злокачественным малокровием. Сейчас это заболевание лечится инъекциями вита-

мина В12, но налаженное производство внутреннего фактора благодаря развитию геной инженерии позволит заменить уколы препаратами, принимаемыми вместе с едой.

Раньше считалось, что наследственные заболевания, при которых некоторые гены человека не функционируют или плохо функционируют в результате мутаций, принципиально неизлечимы. Но теперь в руках врачей появился новый метод лечения — геной терапия. Он основывается на внесении работающих копий недостающего или неисправного гена в клетки человека с помощью видоизмененных вирусов. Сегодня благодаря геной терапии лечатся некоторые формы врожденной слепоты¹⁵, иммунодефицита¹⁶ и даже рака. В последнем случае создаются специальные генетически модифицированные иммунные клетки человека (лимфоциты), способные к более эффективному поиску и уничтожению раковых клеток¹⁷. Эти технологии уже сегодня спасают жизни, но, увы, доступны пока немногим.

Сложно понять, почему геной инженерия не пользуется популярностью среди защитников окружающей среды, ведь ее можно использовать для уменьшения негативного влияния человечества на природу. Взять хотя бы проект *Enviro-pig*, или “Экосвинка”¹⁸. Всем живым существам для развития нужен фосфор. Большая часть фосфора в стандартном корме для свиней находится в такой форме, которая свиньями не усваивается, — в форме фитатов, солей фитиновой кислоты. В результате возникают две проблемы. Во-первых, свиней нужно подкармливать фосфором в виде пищевых добавок. Во-вторых, весь неусвоенный фосфор оказывается в свином навозе. Навоз смывается водой, и его компоненты в огромном количестве попадают в близлежащие водоемы, в которых вскоре начинается цветение — разрастание водорослей, которые, в отличие от свиней, прекрасно усваивают фитаты! Из-за цветения в водоемах

повышается содержание ядовитых веществ, продуктов метаболизма водорослей. Погибают рыбы и многие другие водные организмы, возникает локальная экологическая катастрофа.

Именно поэтому и придумали “экосвинок” — генетически модифицированных свиней, способных усваивать фитаты. Они способны на это потому, что в их геноме встроили ген, кодирующий фермент, необходимый для расщепления фитатов, позаимствованный из кишечной палочки. Была надежда, что люди, обеспокоенные проблемой загрязнения окружающей среды, поддержат технологию и предпочтут “экосвинку” обычным свиньям. Но надежда не оправдалась — неприязнь к ГМО оказалась сильнее любви к природе. Создатели “экосвинки” до сих пор не нашли партнеров, которые вывели бы продукт на рынок, но этот подход существует и ждет момента, когда общественное сознание будет готово принять новую технологию.

В фильме Джеймса Кэмерона “Аватар” инопланетная флора и фауна на планете Пандора светились, и этот свет заменял жителям планеты искусственное освещение. Генная инженерия позволяет создавать светящиеся в темноте растения, отчасти воплощающие эту фантастическую мечту в реальность. Необходимые для свечения гены были заимствованы у светлячков¹⁹. Представьте, что вы сможете устроить романтический ужин, но вместо свечей его будут освещать зеленые ростки. Или что такие удивительные растения могут расти в парке, по обочине дороги. И снижать опасность парка вечером для вашей дочери-подростка! Едва ли данный подход решит все энергетические проблемы человечества, но это новый экологически чистый источник света, прекрасный символ зеленой энергетики. Увы, как и в случае с “экосвинкой”, проект не был широко поддержан защитниками окружающей среды. Более того, под давлением обще-

ственного мнения площадка *Kickstarter*, где осуществлялся добровольный сбор пожертвований на развитие проекта, запретила основателям проекта предлагать спонсорам семена светящихся растений.

Гены флуоресцентных белков некоторых кораллов или медуз можно встроить в геном бабочки таким образом, что глаза насекомого засветятся зеленым при облучении ультрафиолетом²⁰. Такие бабочки представляют не только научную, но и эстетическую ценность, а также особый интерес для коллекционеров (я не шучу!). Аналогично получены светящиеся в ультрафиолете рыбки, мыши, кролики и кошки. И кстати, о кошках! Посредством генной инженерии можно создать гипоаллергенных домашних любимцев для людей, страдающих аллергией²¹. В этом, конечно, найдется и определенный минус, ведь аллергия является для некоторых хорошим (а порой и единственным) аргументом, чтобы не дать завести домашнее животное соседу или соседке по комнате в общежитии или своей второй половине.

По данным Всемирной организации здравоохранения, десятки миллионов людей страдают от пищевой аллергии, которая распространена прежде всего среди детей. Только в США каждые три минуты кто-то оказывается в неотложке из-за острой аллергической реакции на еду²². Чаще всего аллергия возникает на арахис, другие бобовые и орехи, на крабов, креветок и рыбу, но иногда даже на яблоки. Во многих случаях известно, какой именно белок вызывает аллергию, поэтому можно создать генетически модифицированный организм без этого белка или с меньшим его содержанием. Такой организм будет безопасен для аллергиков. Разработки по созданию гипоаллергенных яблок и некоторых других продуктов уже ведутся²³.

Всемирная организация здравоохранения предупреждает о возможных негативных последствиях чрезмерного

употребления сахара²⁴. А что делать, если хочется сладкого, но не хочется рисковать здоровьем? Тропическое растение *Thaumatococcus danielli* содержит ген, кодирующий белок тауматин, который в тысячи раз слаще сахара. Так давайте употреблять пищу с тауматином!

Увы, природных источников тауматина довольно мало. Поэтому генные инженеры работают над созданием микроорганизмов²⁵ и растений, производящих этот белок. Первые призваны служить источником тауматина, а вторые могут просто иметь экзотичные вкусовые качества. Приятным дополнительным эффектом внедрения тауматина в растения является их повышенная устойчивость к ряду инфекций²⁶. Конечно, вкус тауматина немного отличается от вкуса сахара и некоторым может не нравиться. Но и тут придет на помощь генная инженерия: почему бы не попробовать изменить ген тауматина, чтобы создать белок с более приятным вкусом? Возможно, в будущем появится особая “генетическая кулинария”, когда повара станут соревноваться в создании самых вкусных белков и их сочетаний?

Генная инженерия нашла применение даже в современном искусстве. Например, есть технология, которая называется ДНК-оригами. Представьте: мы смешиваем определенные последовательности молекул ДНК в пробирке, а потом под мощным электронным микроскопом видим, что эти молекулы соединились друг с другом, причем строго определенным образом, образуя наноструктуры заранее выбранной формы. Это может быть звездочка, треугольник, буква алфавита или даже смайлик. Идея принадлежит американскому ученому Полу Ротмунду, а его работа “Складывание ДНК для создания фигурок в наномасштабе” в 2006 году была опубликована в журнале *Nature*²⁷. Впоследствии ДНК-оригами даже нашло потенциальное практическое применение. С его помощью возможно создание трехмерных сверх-

малых “ящиков” из ДНК, хранящих и доставляющих лекарственные средства в клетки²⁸.

Генная инженерия уже применяется в самых разных сферах человеческой жизни — от искусства и развлечений до лечения наследственных заболеваний, а также в рамках фундаментальных научных исследований. Но центральной темой общественных и политических дискуссий, связанных с генной инженерией, является использование генетически модифицированных организмов в качестве продуктов питания.

На сегодняшний день население Земли составляет около 7 миллиардов человек, и все эти люди хотят есть, пить и выращивать детей. Несмотря на все достижения в области производства пищи, около миллиарда людей на планете получают недостаточно еды, чтобы восполнить энергетические потребности организма. Еще около миллиарда людей страдают от нехватки витаминов и других питательных веществ из-за неполноценного питания. В том числе от недоедания страдают около 165 миллионов детей в возрасте до пяти лет. И это вопреки тому, что на протяжении истории человечества ситуация постепенно улучшалась: доля недоедающих убывала благодаря многочисленным прорывам в области сельского хозяйства.

В десятом тысячелетии до нашей эры человечество впервые научилось отбирать и культивировать такие растения, как ячмень, горох, чечевица, нут. В XV веке происходит глобальный обмен культурными растениями: помидорами, картофелем, какао, специями, кофе, сахарным тростником. Растения попадают в новые экосистемы, адаптируются к новым условиям жизни. Существенная часть прироста массы и разнообразия сельскохозяйственной продукции произошла за счет изменений генов живых организмов²⁹. Сравните, например, дикую кукурузу теосинте, имеющую

маленький, тоньше пальца невзрачный колосок, и современную крупную и сладкую кукурузу, выведенную благодаря селекции. Посмотрите, как отличаются между собой по цвету, вкусу и запаху разные сорта помидоров, яблок, винограда. Разные породы коров тоже могут отличаться количеством и качеством производимого молока. Источником этого разнообразия являются мутации — генетические изменения.

Изменения в генах культурных растений фиксировались людьми как осознанно, так и неосознанно, когда они выбирали, что сеять, а что нет, или скрещивали растения разных сортов. При скрещивании отдаленных родственников возникают новые комбинации вариантов генов (аллелей), и, как следствие, появляются новые комбинации свойств. Позже выяснилось, что можно получать новые сорта растений, воздействуя на них радиационным излучением или определенными химическими веществами — мутагенами. Радиация вызывала многочисленные мутации, изменения сразу большого числа генов. Лишь некоторые изменения были полезными, а многие — вредными.

От вредных мутаций приходилось избавляться путем последовательного скрещивания новых форм между собой, пока в результате интенсивного отбора не оставались достаточно здоровые особи с новыми признаками. Но никогда эта технология не гарантировала, что в результате мутаций и многочисленных скрещиваний не изменится какое-то другое важное свойство растения, например содержание каких-нибудь питательных веществ. На смену таким не слишком предсказуемым и не слишком эффективным технологиям пришла генная инженерия, которая дает возможность целенаправленно менять наследственную информацию живых организмов. Если в основе селекции лежат случайные генетические изменения и искусственный отбор,

то в основе генной инженерии лежит продуманный до деталей акт творения.

Конечно, генная инженерия не является единственным способом модернизации сельского хозяйства. Едва ли ее вклад на данный момент сопоставим с появлением тракторов и комбайнов, существенно облегчающих вспашку, а также сбор и транспортировку урожая. Я также не думаю, что удастся победить голод, не решив проблему распределения пищи, ведь зачастую дело не в ее физической нехватке. Тем не менее генная инженерия позволяет значительно увеличить урожайность полей, поднять качество продуктов питания, в ряде случаев снизить издержки производства и, как следствие, цены на продукты питания и сделать их доступнее.

Более эффективное производство означает, что меньше земель будет использовано под сельскохозяйственные нужды и меньший ущерб будет нанесен окружающей среде: вместо разрушения природных экосистем для превращения их в поля мы можем выращивать больше еды на меньшей территории. Для удовлетворения голода нам не придется вырубать леса и осушать болота, которые, будучи сложными и богатыми экосистемами, служат домом для многочисленных форм флоры и фауны — от одноклеточных организмов до насекомых, млекопитающих и птиц.

Двести лет назад один человек, работающий на ферме, едва мог прокормить собственную семью. Как следствие, в производстве еды была вынуждена участвовать большая часть населения, все должны были работать на полях. В 1940 году, по данным Департамента сельского хозяйства США, один фермер в среднем мог прокормить 19 человек, а сейчас — 155! Интенсификация сельского хозяйства приводит к тому, что все больше и больше людей могут заниматься не производством пищи, а чем-то еще, в том числе

быть художниками, учеными, музыкантами, программистами, инженерами. Эффективное сельское хозяйство способствует развитию культуры и технологий.

Есть еще одна заслуга генной инженерии, связанная с уменьшением нагрузки, которой сельское хозяйство подвергает окружающую среду. Вместо того чтобы поливать поля инсектицидами с самолетов, невольно поражая соседние с полями участки земли и некоторых ни в чем не виновных членистоногих, мы можем создать растения, несъедобные для вредителей. Борьба с вредителями становится точечной, с меньшим количеством побочных эффектов. Генные инженеры умеют делать так, чтобы ядовитый для вредителей белок производился только в определенной части растения, например в листьях картошки, которые едят личинки колорадских жуков, но не в клубнях. Кроме того, используются белки, ядовитые не для всех насекомых, а только для отдельных групп, к которым и относятся вредители. Это безопаснее и эффективнее, чем массовая обработка полей ядохимикатами.

В 2014 году вышла статья в научном журнале PLOS ONE³⁰ об изменениях на фермах, где выращивали два типа растений, созданных методами генной инженерии. Благодаря растениям, устойчивым к вредителям, урожайность полей увеличилась почти на 25 %, количество используемых пестицидов сократилось на 42 %, затраты на покупку пестицидов уменьшились на 43 %. Благодаря устойчивым к гербицидам растениям урожайность полей увеличилась на 9 %, количество используемых пестицидов не изменилось, но затраты на их покупку сократились на 25 % за счет перехода на более выгодные средства борьбы с сорняками. В обоих случаях доходы фермеров выросли более чем на 60 %. То, что внедрение упомянутых ГМО снижает количество используемых пестицидов, независимо подтвердил

в своем отчете Американский департамент сельского хозяйства (USDA)³¹.

В 2012 году в журнале *Nature* была опубликована статья, в которой было показано, что в период с 1990 по 2010 год в Северном Китае благодаря внедрению генетически модифицированных растений, устойчивых к вредителям, и, следовательно, снижению использования пестицидов удалось не только уменьшить количество вредных насекомых на полях, но и увеличить количество трех групп членистоногих-хищников: божьих коровок, пауков и златоглазок. Более того, хищники, которых стали меньше травить инсектицидами, расплозились на соседние поля, и количество вредителей уменьшалось по всей округе³².

Снижение количества используемых пестицидов и самолетного топлива, необходимого для их распыления, увеличение урожая полей без освоения новых земель и разрушения природных экосистем, светящиеся растения и экологически более чистое животноводство... Я хочу, чтобы все, кому не безразлично состояние окружающей среды, еще раз задумались о положительных перспективах внедрения биотехнологий.

Еще один триумф ждал генную инженерию в борьбе с вирусами растений. В период с 1956 по 1968 год из-за вирусных инфекций площади плантаций папайи на острове Оаху Гавайского архипелага сократились с 243 гектаров до 16 (более чем на 94 %). Карантин и долгие попытки вывести устойчивые к вирусу сорта методами традиционной селекции не помогли остановить инфекцию. Выращивание папайи практически прекратилось. В 1991 году были проведены полевые испытания генетически модифицированной папайи, устойчивой к вирусу. Через 77 дней после начала испытаний 95 % обычной папайи, произрастающей на экспериментальных полях, оказались зараженными, но ни одно

трансгенное растение не пострадало³³. После ряда дополнительных проверок и испытаний в 1998 году коммерческое выращивание гавайской генетически модифицированной папайи было одобрено, а производство этого растения восстановлено.

Но сколько бы замечательных продуктов генной инженерии ни придумало человечество, будет мало толку, если никто не захочет их использовать. Страх перед ГМО распространен по всему миру, он влияет на решения политиков и тормозит развитие биотехнологий. Мы не сможем двигаться дальше, пока не разберемся в причинах этого страха и не попробуем его развеять.

Глава 2

Слово из трех букв

Слово “ГМО” — это плохо

Ученые начали употреблять словосочетание “генетически модифицированный организм” сравнительно недавно. Первая статья в базе данных научных публикаций по биологии и медицине *PubMed* с упоминанием аббревиатуры “ГМО” датируется 1992 годом³⁴.

Можно сказать, что даже сами генетически модифицированные организмы изучены лучше, чем это слово (ГМ бактерии³⁵ и животные³⁶ существуют с 1973 года, ГМ растения с 1982 года³⁷, а коммерческие ГМ растения с 1994-го).

Противники геной инженерии говорят, что безопасность ГМО не доказана на 100 %, но мы пойдем на шаг дальше и сформулируем утверждение, что на 100 % не доказана даже безопасность употребления слова “ГМО”. Именно поэтому обложка предупреждает, что книга содержит упоминания данного слова из трех букв. Наука — это постоянное и честное стремление к истине, но никогда не истина в последней инстанции. Да, мы предполагаем априори, что все слова безопасны, исходя из представления о безопасности тех слов, которые давно вошли в употребление, но ведь мы можем ошибаться!

Не существует абсолютных доказательств того, что слово “ГМО” не повредит здоровью человека, его услы-

шавшего, произнесшего, написавшего или прочитавшего, либо здоровью его потомков во втором или в третьем поколении. Даже если принять, что по отдельности буквы Г, М и О существуют в естественном для нас языке достаточно давно и потому предположительно безопасны (хотя и этот вопрос никогда серьезно не исследовался), аббревиатура “ГМО” была создана искусственно и недавно.

У нас нет стопроцентных доказательств того, что слово “ГМО” не может вызывать у людей аутоиммунные заболевания, рак, аллергию, понос, запор, нежелательную беременность, алкогольную зависимость, болезнь Альцгеймера, рвоту, геморрой, аутизм, суицидальные мысли, избыточный вес, инсульт, сердечный приступ, выпадение волос, шизофрению, утрату зрения, слуха, ослабление иммунной системы, паралич дыхательной мускулатуры, прыщи, воспаление внутреннего уха или аппендикса, депрессию, камни в почках или импотенцию.

Между тем не секрет, что слова, которые мы читаем, слышим, произносим или записываем, воздействуют на наши органы чувств и, как следствие, на мозг. Более того, в результате этого воздействия иногда могут рождаться мысли. Когда мы сталкиваемся с каким-то словом, нервные клетки мозга начинают взаимодействовать друг с другом с помощью электрических сигналов, бегущих по их отросткам — аксонам. Измененная работа нервных клеток может привести к выбросу определенных гормонов в кровь. Не исключено, что это может подействовать на остальные клетки организма, в том числе на клетки репродуктивной системы. Нет стопроцентных доказательств, что это совершенно безопасно и не приводит к повреждению клеток или к мутациям в ДНК.

Существует еще один риск, связанный с использованием слова “ГМО”. Риск заключается в том, что это слово может “убежать” за границы текущих смысловых значений

и вытеснить другие слова из языка. Статистика запроса “ГМО” в *Google Trends* указывает на то, что частота употребления этого слова сегодня достигла небывалых значений. Вполне возможно, что его ждет популярность другого слова из трех букв, которое не принято произносить в приличном обществе. Если мы не остановим распространение слова “ГМО”, будущее нашего языка может быть незавидным: “ах ты ГМО такое!”, “не надо мне это ГМО”, “сам ты ГМО!”.

Множество журналистов, ученых и политиков делают карьеру, используя слово “ГМО”. Оно постоянно упоминается в блогах, научных и научно-популярных статьях, в желтой прессе, на радио, на ТВ, на просторах интернета и даже в книжках. Разумеется, на употреблении этого слова неплохо зарабатывают. Возможно, именно поэтому так сложно найти желающих провести серьезные исследования влияния слова “ГМО” на здоровье людей или животных. Кто знает, какие результаты может дать эксперимент, в ходе которого одна группа крыс будет слушать в наушниках повторяющееся слово “ГМО”, а другая, контрольная группа — проверенное временем “Отче наш”? Не найдем ли мы каких-нибудь отличий в количестве и качестве потомства между группами? Если опасность слова “ГМО” будет обнаружена, удастся ли нам пробиться через сплошь ангажированных рецензентов и опубликовать об этом статью в научном журнале? Пока риски употребления слова “ГМО” не будут досконально изучены, необходимо придерживаться принципа предосторожности и не допускать его использования кроме как в исследовательских целях. Как минимум необходимо ввести обязательную маркировку текстов, передач и сообщений, упоминающих ГМО.

Выше я попробовал довести до абсурда самые примитивные аргументы против генетически модифицированных

организмов (есть и другие, более наукообразные, которые мы разберем позже). Эти аргументы примитивны потому, что с тем же успехом их можно применить к любой новой технологии, не потратив ни минуты на изучение обсуждаемого предмета. Про любое новое явление можно сказать, что оно не проверено временем. Даже если безопасность некоей технологии проверена на животных или на людях, мы всегда можем выкрутиться и заявить, что она не проверена на следующем поколении. А если она проверена на втором поколении, можно потребовать проверки на третьем и так до бесконечности.

На нескольких поколениях не проверено действие мобильных телефонов, беспроводной связи, продуктов, подогретых в микроволновых печах. Клинические испытания современных лекарственных средств обходятся в сотни миллионов долларов, занимают много лет, но даже сильнодействующие препараты не проверяются на нескольких поколениях. Следуя такой логике, необходимо отказаться от всех достижений научно-технического прогресса за последние лет тридцать, а то и больше.

Почему мы знаем, что слово “ГМО” не очень опасно? Потому что мы знаем, что слова обычно не очень опасны, и дедуктивно выводим относительную безопасность и этого слова. Если мы придерживаемся рационального взгляда на мир и не верим, что существуют волшебные слова, которые могут наслать на нас проклятие (АВАДАКЕДАВРА! ИМПЕРИО!), и не говорим о тех сочетаниях слов, за которые нас, к сожалению, могут посадить в тюрьму в некоторых странах, никто в здравом уме не сочтет необходимым как-то особенно относиться к слову “ГМО”, ведь это всего лишь комбинация букв, такая же, как и все остальные слова. Точно так же ДНК генетически модифицированных организмов — это всего лишь молекула ДНК, такая же, как у всех других

живых организмов, и состоящая из тех же самых “букв” — нуклеотидов, лишь с небольшими отличиями в том порядке, в котором эти буквы расставлены.

На самом деле нам есть что сказать про опасность слов. В 2013 году в журнале психосоматических исследований (*Journal of Psychosomatic Research*) был опубликован следующий эксперимент³⁸: одной группе испытуемых показали фильм о вреде беспроводной связи (*Wi-Fi*), второй группе показали фильм о безопасности используемого излучения. После просмотра фильмов экспериментаторы сказали всем участникам эксперимента, что их будут облучать *Wi-Fi*. Хотя на самом деле *Wi-Fi* никто не включал, многие люди из первой группы, которых запугали страшилками о вреде такого излучения, заявили, что испытали неприятные симптомы, дискомфорт, ухудшение самочувствия. Некоторые участники даже попросили прекратить эксперимент — настолько им стало не по себе. Подобные негативные эффекты наблюдались в первой группе существенно чаще, чем во второй.

За последние несколько лет мы многое узнали про эффект плацебо (фальшивого лекарства — пустышки), отчасти объясняющий кажущуюся эффективность гомеопатических препаратов и множества других средств “альтернативной” медицины. Эффект плацебо срабатывает, когда человек ожидает, что некоторое воздействие улучшит его самочувствие. При этом его мозг выделяет определенные вещества (например, эндорфины), которые поднимают настроение и уменьшают болевые ощущения. В этом нет никакой магии — обычная физиологическая реакция, и эффект плацебо действительно справляется с болью и рядом других симптомов.

Не буду вдаваться в подробности нейробиологических механизмов эффекта плацебо, хотя они неплохо изучены³⁹, но отмечу, что плацебо действует даже на животных⁴⁰. Напри-

мер, используя этот эффект, удавалось уменьшить частоту эпилептических припадков у собак⁴¹. Одно из объяснений заключается в том, что многие животные легко вырабатывают условные рефлексы — здесь можно отослать к знаменитым опытам отечественного нейрофизиолога Ивана Павлова. Павлов показал, что если зажигать лампочку, а потом кормить собаку, она обучается и впоследствии начинает вырабатывать слюну сразу после включения лампочки, когда еда еще не появилась. Прием плацебо часто сочетается с заботой и уходом, на которые собака положительно реагирует. Параллельно возникает “эффект хозяина”. Владелец меняет отношение к питомцу, ожидая улучшения его здоровья, что может приводить к изменениям поведения и состояния животного⁴².

На людей плацебо-инъекции действуют сильнее, чем сахарные таблетки. Сила действия таблеток зависит от их цвета⁴³, а также от заявленной цены таблеток и вообще убедительности, с которой рассказано об их полезности^{44–46}. За открытие, что дорогие плацебо более эффективны, чем дешевые, Дэн Ариэли, специалист по поведенческой экономике, получил Шнобелевскую премию. Этой шуточной премией, пародирующей знаменитую Нобелевскую, награждают за всякие забавные открытия. “Когда вы ожидаете, что что-то произойдет, ваш мозг делает так, чтобы это произошло”, — прокомментировал свое исследование ученый.

Довольно наглядно эффективность плацебо была показана в передаче фокусника Даррена Брауна “Страх и вера”. Браун ознакомился с научными исследованиями о том, как усилить эффект плацебо, и разработал “суперплацебо” для лечения страхов. Так, чтобы убедить участников эксперимента в эффективности выдуманного препарата от страха (на самом деле препарата-пустышки), был создан целый фальшивый институт-однодневка якобы по исследованию и производству данного “лекарства”. Внутри стен “инсти-

туда” специально обученные актеры, одетые в халаты, с умным видом и кучей научных терминов читали участникам-добровольцам лекции о чудесных свойствах и механизмах действия разрабатываемого ими препарата. Все было сделано так, чтобы создать максимально правдоподобную иллюзию научности и обоснованности предлагаемого лечения. В передаче было показано, что суперплацебо дало заметный результат. Молодой человек, который боялся высоты, смог свесить ноги с края высокого моста, девушка со страхом публички не испугалась выступить перед широкой аудиторией и спеть песню, а человек, всю жизнь избегавший конфликтов, пошел разнимать дерущихся в баре.

Стоит оговориться, что терапевтическая ценность эффекта плацебо в медицине, по-видимому, не велика⁴⁷. Часть того, что иногда приписывают эффекту плацебо, является регрессией к среднему⁴⁸, результатом естественного улучшения самочувствия пациентов, которое нередко происходит независимо от того, что с ними делают. Здесь полезно различать ощущения пациента (где существует широкий простор для действия эффекта плацебо) и объективные изменения его здоровья. Именно поэтому Гудвину удалось внушить Страшиле мудрость, Дровосеку — нежность, а Льву — храбрость, подарив им фальшивые мозги, сердце и эликсир смелости, но так и не удалось помочь бедной Элли, проблема которой не решалась самовнушением.

Ожидание ухудшения самочувствия может приводить к обратному эффекту — эффекту ноцебо. В дополнение к описанному выше эксперименту с *Wi-Fi* рассмотрим еще одну публикацию, авторы которой задались следующим вопросом: влияет ли молитва на количество осложнений у людей, переживших операцию на сердце?⁴⁹ Для того чтобы ответить на этот вопрос, пациентов случайным образом разбили на три группы. Первой группе сообщили, что за них,

возможно, будут молиться (а возможно, не будут), — и за них молились. Пациентам второй группы сообщили то же самое, но за них не молились. Пациентам третьей группы сказали, что за них совершенно точно будут молиться, и за них действительно молились.

Оказалось, что сама по себе молитва не имеет никакого терапевтического эффекта: люди из первых двух групп перенесли примерно одинаковое количество осложнений. Но у людей, знавших, что за них будут молиться, выявили больше осложнений после операции. Возможно, пациенты, уверенные, что за них будут молиться, начинали волноваться (“все так плохо, что за меня уже молятся?”) и тем самым повышали риск осложнений. Ведь волноваться после операции на сердце небезопасно.

Приведу еще одну поучительную историю. В 1968 году Роберт Хо Ман Квок написал в один из ведущих медицинских журналов письмо о том, что после походов в китайские рестораны он странно себя чувствовал⁵⁰. Симптомы, которые он описал, включали онемение задней части шеи, постепенно распространяющееся к обеим рукам и спине, слабость, усиленное сердцебиение. Эти симптомы наступали примерно через 15–20 минут после употребления первого блюда. Хо Ман Квок назвал это “синдромом китайских ресторанов”.

Хо Ман Квок не мог точно определить, что именно послужило причиной изменения его самочувствия. Был ли он чем-то болен? Испытал ли он на себе действие эффекта ноцебо? Была ли у него аллергия на один из многих компонентов приготовленных блюд? Может быть, ему просто не повезло — досталась не самая свежая рыба? Одна из версий предполагала, что описанные симптомы связаны с действием глутамата натрия. Возникла такая гипотеза потому, что в китайских ресторанах традиционно не стесняются использовать этот усилитель вкуса.

Несмотря на отсутствие серьезных оснований подозревать, что именно глутамат натрия является причиной описанных симптомов, история, рассказанная Хо Ман Квоком, положила начало массовой истерии, продолжающейся вот уже почти пятьдесят лет. Многие журналисты приравнивали глутамат натрия к страшному яду, время от времени появляются депутаты, предпринимающие попытки запретить его использование. На самом деле глутамат натрия — натриевая соль глутаминовой кислоты, одной из важнейших аминокислот, входящей в состав практически любого белка (а белки есть в любых клетках). Природа даже предусмотрела специальные рецепторы для этой аминокислоты. Все знают четыре основных вкуса: кислое, сладкое, соленое, горькое. Есть пятый вкус, который называется “умами”, или вкус мяса, вкус глутамата. Любопытно, что ни само мясо, ни томаты, имеющие высокое содержание глутамата, не вызывали описанных Хо Ман Квоком симптомов.

По мере распространения новости о том, что глутамат может вызывать странные симптомы, некоторые люди стали утверждать, что они чувствительны к глутамату натрия. Большая часть населения никогда не сталкивалась с описанными Хо Ман Квоком симптомами, но были и те, кто повторял его рассказ. Но что, если чувствительность к глутамату — следствие внушаемости? Проводились исследования, в которых испытуемые не знали, принимают они глутамат натрия или плацебо. Поскольку глутамат натрия отличается особым вкусом, в ряде экспериментов подбирали специальный напиток, который этот вкус маскировал. Исследования показали, что если и есть какие-то симптомы, связанные с употреблением глутамата натрия, то это скорее идиопатическая реакция, основанная на эффекте ноцебо. Разницы в самочувствии между теми, кто употреблял глутамат и плацебо, не наблюдали, если глу-

тамат употреблялся с пищей в количествах, используемых в кулинарии^{51, 52}.

Поведение “чувствительных” к глутамату людей в каком-то смысле напоминает эпизод, описанный еще в XIX веке в повести Джерома Клапки Джерома “Трое в лодке, не считая собаки”, когда герой книги открыл медицинский справочник и нашел у себя все болезни за исключением родильной горячки.

Существует легенда, повествующая об “эффekte 25-го кадра”. Это вымышленная и неработающая методика воздействия на подсознание людей посредством монтирования в видеоряд скрытой рекламы. Реклама вставляется с помощью дополнительных кадров, которые проскакивают так быстро, что человек не успевает их разглядеть. В январе 1958 года телекомпания *Canadian Broadcasting Company* провела (не очень научный) эксперимент, в ходе которого предупредила зрителей, что будет показывать скрытую рекламу. На протяжении получасового шоу 352 раза было показано сообщение “позвони сейчас”, но очень быстро, чтобы никто не разглядел. Никакого заметного увеличения количества телефонных звонков не было зафиксировано ни во время передачи, ни после нее. Никто не мог отгадать истинное послание скрытой рекламы, зато многие телезрители писали в телекомпанию письма о том, что у них возникали необъяснимые позывы взять банку пива, сходить в туалет или переключить канал. Хотя сам эффект 25-го кадра не работает, сообщение о его применении вполне может подействовать на тех, кто верит в эффективность скрытой рекламы.

Все перечисленное, вероятно, справедливо и для устрашающих рассказов о том, что наша пища ужасно ядовита и опасна. Особенно пища, содержащая ГМО. Это тем более удивительно, если учесть, что еще никогда в истории чело-

вещества не существовало столь строгого контроля качества продуктов питания, как сейчас.

Рассказывая людям об опасностях тех или иных продуктов или технологий, журналисты должны понимать, что на них лежит ответственность за психическое здоровье граждан. Важно и нужно говорить о тех опасностях, которые доказаны, но стоит ли, не будучи специалистом, выдвигать не обоснованное с научной точки зрения предположение о вреде существующих технологий? Ущерб от эффекта ноцебо может быть нанесен самим “информированием”, и это не говоря о том, что дезинформация вредит развитию полезных технологий. Например, из-за нее на рынке могут не появиться помидоры, богатые антоцианами, или картошка со сниженным содержанием канцерогенов. Почему в этом случае не призывают подумать о принципе предосторожности?

Увы, эфирное пространство СМИ и интернета забито всевозможными страшилками, и в следующей главе мы поговорим о том, откуда они берутся. Я думаю, что в целях безопасности слово “ГМО” нужно вовсе убрать из лексикона, а вместо него ввести в употребление другое слово. В рамках ребрендинга ГМО их можно было бы назвать и так: ОМГи — организмы с модернизированными геномами. Или — с несколько иным смыслом — БОНГи, биологические организмы с неизвестными геномами. Но об этом мы поговорим в другой главе. Сам я продолжу использовать в этой книге аббревиатуру “ГМО”, ибо боюсь всех запутать, но за ее пределами настойчиво рекомендую переходить на новую терминологию, не имеющую негативной коннотации, успокаивающую, а не будоражащую психику людей.

Глава 3

Сон разума рождает чудовищ

Почему боятся ГМО

В 2000 году в журнале *Science* вышла статья, показавшая возможность создания генетически модифицированного “золотого риса”, богатого бета-каротином⁵³. В том же году были созданы ГМ томаты с аналогичным качеством⁵⁴. Бета-каротин — это вещество оранжевого цвета, которое наш организм усваивает и превращает в витамин А. Из-за нехватки этого витамина ежегодно слепнет более 250 тысяч детей в развивающихся странах. Половина ослепших в течение года умирает (прежде всего из-за подверженности инфекциям), а золотой рис мог бы помочь преодолеть эту проблему. Рис первой модификации действительно содержал больше бета-каротина, чем обычный, но недостаточно, чтобы кому-то реально помочь. “Его пришлось бы есть килограммами!” — злорадствовали противники генной инженерии, доказывая бесполезность технологии. В 2005 году была получена новая модификация золотого риса, в которой количество бета-каротина было увеличено еще в 23 раза⁵⁵. Теперь можно было съесть в сутки всего 75 граммов риса и забыть про нехватку витамина А.

Разумеется, одним лишь золотым рисом не решить всех проблем человечества, связанных с авитаминозом, но он

мог бы спасти сотни тысяч жизней. Однако во многих странах эта технология была воспринята населением враждебно. В 2013 году группа из четырех сотен активистов вытоптала поля золотого риса на Филиппинах. Эта история поднимает целый ряд этических вопросов, не считая проблемы уничтожения чужой собственности. Во-первых, вытоптаный рис выращивался не для продажи — это были экспериментальные посевы, урожай с которых через пару недель должен был быть передан контролирующим организациям для проведения экспертизы. Противники ГМО выступали не только против внедрения золотого риса, но даже против его изучения. А как мы продемонстрируем безопасность продукта, если мы не можем его изучать? И вообще, возможно ли переубедить тех, кто, не имея никаких объективных данных, уже пришел к выводу, что выращиваемый сорт риса опасен и ни на что не годится?

Проект по созданию золотого риса имел как коммерческую составляющую, так и благотворительную. Для мелких фермеров в развивающихся странах (с доходом менее 10 тысяч долларов в год) технология должна была отпущаться с бесплатной лицензией, а за фермерами оставалось право хранить и сажать выращенные ими семена. Сражаться с технологией, которую никого насильно не заставляют использовать и, более того, которая предназначена к бесплатному применению, совсем уж странно. Непонятно также, почему в представлении активистов мифическая опасность ГМО превысила реальную опасность нехватки витамина А. Филиппины — одна из тех стран, где отказ от данной технологии неизбежно ведет к гибели людей.

К счастью, не все экспериментальные посевы золотого риса были уничтожены, и научные исследования не оказались отброшены слишком далеко назад. Любопытно, что люди, вытаптывавшие поля, в большинстве своем не были

фермерами. Филиппинские фермеры суеверны и считают уничтожение рисовых ростков плохой приметой. Нападавшие были преимущественно городскими жителями, неолуддитами — противниками прогресса. Так их называют по аналогии с участниками стихийных протестов конца XVIII — начала XIX века в Англии. По легенде луддиты получили свое название в честь некоего генерала Лудда, мифического персонажа, прославившегося великой победой — уничтожением двух чулочных станков. Луддиты разрушали машины, станки, оборудование, но у них имелось оправдание, которого нет у большинства неолуддитов: они видели в этих технологиях угрозу собственному благополучию, исходя из относительно рациональных экономических соображений, таких как утрата рабочих мест и средств к существованию.

В России тоже хватает людей, недолюбливающих ГМО. По данным опроса ВЦИОМ, проведенного в 2014 году, три четверти россиян были готовы платить больше за продукты, которые “не содержат ГМО”. Более 80 % населения выступают за то, чтобы запретить ГМО, и считают, что ГМО наносят ущерб здоровью. Откуда берутся эти страхи?

Ниже приведен полный список людей, которые погибли за последние 30 лет в связи с употреблением продуктов, содержащих ГМО.

Впечатляет? А теперь я расскажу про химическое вещество (без цвета и запаха) с созвучным названием, но которое,

в отличие от ГМО, не очень активно обсуждается в прессе. Называется оно дигидрогена монооксид, или ДГМО. По данным ВОЗ, только в 2011 году из-за этого вещества погибло около 359 тысяч человек по всему миру. Оно используется для охлаждения ядерных реакторов, в химической промышленности, в производстве сильнодействующих наркотических веществ, пестицидов и ядов. Во время Первой мировой войны ДГМО использовали при создании химического оружия, а сегодня ДГМО можно обнаружить практически в любых пищевых продуктах и напитках.

Основой вещества является радикал гидроксил, способный вызывать мутации в нашей ДНК. ДГМО можно обнаружить в выхлопах некоторых видов транспорта, а отработанный ДГМО тоннами сливается в реки, моря и озера. Существуют огромные корпорации, заинтересованные в продаже ДГМО. Исходя из этой информации, не кажется ли вам, что ДГМО нужно запретить? Или хотя бы ввести обязательную маркировку “содержит ДГМО” на продуктах питания и напитках?

В 1997 году американский школьник по имени Нейтан Зонер сделал доклад об ужасах ДГМО, по содержанию похожий на тот текст, с которым вы ознакомились выше. Потом он спросил у пятидесяти своих сверстников, стоит ли ввести запрет на это химическое соединение. Сорок три человека сказали, что ДГМО нужно запретить, шесть не определились, и только один догадался, что дигидрогена монооксид — это H_2O , или просто вода.

Обвести вокруг пальца подобным образом можно не только школьников, но и взрослых людей, в том числе и политиков. Например, на страшилку про ДГМО попала представительница партии зеленых Новой Зеландии Сью Кедгли, которая, будучи членом парламента, в 2001 году прославилась фразой, что “полностью поддерживает кампанию

по запрету этого токсичного соединения”. В 2007 году член парламента Новой Зеландии Джеки Дин направила запрос министру здравоохранения Джиму Андертону, чтобы тот выяснил позицию экспертного комитета по поводу запрета этого химического вещества.

Министр здравоохранения прокомментировал ситуацию так: “Возможно, ей описали дигидрогена монооксид как вещество бесцветное, без запаха, без вкуса, вызывающее смерть тысяч людей каждый год, отказ от которого для тех, кто впал от него в зависимость, означает неизбежную смерть”, — и отметил, что эксперты не имеют намерений предлагать запрет. Страничка в “Википедии”, посвященная Джеки Дин, надолго сохранит назидательные для всех политиков подробности этой истории.

Возможно ли, что с ГМО вышло такое же недоразумение, как и с ДГМО? Может быть, некоторые люди просто не разобрались и не поняли, что это такое? По данным социологического опроса, опубликованного на сайте Аналитического центра Юрия Левады, на вопрос “Верно ли, что обычные растения не содержат генов, а генетически модифицированные растения — содержат?” правильный ответ “нет” дали только 29 % опрошенных⁵⁶. По любопытному совпадению, доля людей, не знающих правильного ответа на поставленный вопрос о генах в помидорах, примерно равна доле людей, считающих ГМО опасными для здоровья и подлежащими запрету. Совпадение? Не думаю.

Похожие результаты были получены в США. Департамент сельскохозяйственной экономики Университета штата Оклахома в январе 2015 года опубликовал данные опроса, согласно которому 82,28 % американцев выступили за обязательную маркировку продуктов, произведенных с использованием генной инженерии. В ходе того же опроса 80,44 % выступили за обязательную маркировку продуктов, содер-

жащих ДНК! Экономист Джейсон Ласк, представивший результаты опросов, пошутил, что, возможно, этикетка для маркировки должна выглядеть так: “Этот продукт содержит дезоксирибонуклеиновую кислоту (ДНК). Глава департамента здравоохранения США установил, что ДНК связана с большим разнообразием заболеваний у животных и людей. Беременные женщины имеют высокий риск передачи ДНК своим детям”.

Если мы вычтем из 82,28 % те 80,44 %, которые хотят маркировать даже продукты, содержащие ДНК, мы получим примерную оценку доли американцев, которые имеют хотя бы минимальное представление о биологии и одновременно являются противниками ГМО. Они составляют лишь 2,23 % от общего числа людей, считающих, что ГМО нужно маркировать. Здесь я делаю лишь то допущение, что не существует таких весьма странных людей (или шутников?), которые хотели бы добиться маркировки продуктов, содержащих ДНК, но — внезапно — ничего не имеют против ГМО. С другой стороны, идея маркировки “содержит ДНК” не так уж плоха в целях просвещения — людям будет полезно узнать, что избежать употребления ДНК в пищу невозможно, ведь она есть в любых живых организмах.

Многие производители ГМО действительно не хотят допускать маркировки продуктов, созданных методами генной инженерии. Иногда это используется как аргумент: “Ага! Они знают, что ГМО вредны! Поэтому пытаются все скрыть!” Но реальность намного проще. Почти любая предупреждающая этикетка с непонятными для потребителя словами “содержит ГМО”, “содержит ДНК” или “содержит ДГМО” приведет к падению продаж независимо от того, насколько опасно то, что мы пытаемся маркировать. Такая реальность связана с тем, что большинство потребителей вообще не понимают, что означает это сочетание букв.

ГМО? Губернатор Московской области? Головной мозг одуванчика? Глаз морской ондатры? Государственный музей ортопедии?

В 2014 году я участвовал в передаче “Тем временем” телеканала “Культура” вместе с профессором, доктором биологических наук Михаилом Гельфандом. Одним из наших оппонентов был производитель “натуральных” продуктов питания, создатель фермерского кооператива и, разумеется, противник ГМО. Наш не подозревающий подвоха оппонент попался в расставленную Гельфандом ловушку и заявил, что на его фермерском хозяйстве дигидрогена монооксид не используют. Указав на то, что ДГМО — это вода, мы тщетно пытались узнать у нашего оппонента, как он относится к идее, что продукты питания, которые его организация поставляет на рынок, будут маркироваться честной наклейкой “содержит ДГМО”.

На другой передаче еще один оппонент, представленный “экспертом”, почти три минуты говорил о том, какие страшные последствия ждут всех, кто будет употреблять в пищу “ужасные ГМО”. Перечислив свои опасения, спикер заявил, что именно поэтому он против всяких “консервантов” и “красителей”. Не знал “эксперт”, что консерванты с красителями и генная инженерия — совершенно разные вещи. Любопытно, что разъяснения лишь этого вопроса оказались достаточно, чтобы убедить в безопасности ГМО таксиста, который вез меня на передачу.

Объяснить человеку, что он стал жертвой надуманной страшилки, можно в двух словах, если речь идет о “страшной” воде или ДНК. В случае с ГМО объяснение будет несколько сложнее, и я попытаюсь изложить его в последующих разделах книги. Психологам известен так называемый эффект бумеранга: когда кто-то в чем-то убежден, попытки переубедить его нередко вызывают противоположный эффект.

Человек лишь укрепляется в своей исходной позиции, ознакомившись с доводами другой стороны. Но я думаю, что боязнь генной инженерии — не тот случай. Все указывает на то, что люди, с опаской относящиеся к этой биотехнологии, недостаточно хорошо информированы и склонны совершать натуралистическую ошибку. Начнем с последнего пункта.

Глава 4

Натуралистическая ошибка

Натуральное и искусственное

Думаю, что все видели современные магазины “органических продуктов”, ставшие в последнее время очень популярными и в России, но особенно в США и в Европе. Обычно они характеризуются двумя особенностями: кругленькими суммами на ценниках и широким разнообразием зеленых этикеток на товаре: “натуральный продукт”, “сертифицированный органик”, “не содержит ГМО”, “100 % БИО”, “ЗДОРОВЬЕ”, “эко-продукт” и так далее. Журналист Леонид Каганов однажды описал, как боязнь новых технологий должна была выглядеть в прошлом.

Поморская артель “Ломоносовъ”. Только кони! Мы доставляем рыбу в столицу, не используя паровозъ!

В основе многих мифов о еде лежит тезис, что все натуральное, существующее в природе, по определению полезно, а все “искусственное”, созданное человеком, несет потенциальную угрозу здоровью. Эту логическую ошибку апелляции к природе, или так называемую натуралистическую ошибку, достаточно легко продемонстрировать.

В Соединенных Штатах Америки ежегодно возникает более 40 миллионов случаев пищевых отравлений,

из-за которых более ста тысяч людей попадают в больницу и более трех тысяч погибают. Думаю, что в России с количеством пищевых отравлений на душу населения дела обстоят не лучше, хотя надежной статистики я не нашел. В подавляющем большинстве случаев отравления связаны с совершенно натуральными болезнетворными микроорганизмами, которые попадают в наш желудочно-кишечный тракт вместе с немытыми овощами, зеленью, сырой рыбой или мясом. Давайте назовем некоторых “друзей”, которых можно подцепить из еды.

Клостридии, вырабатывающие альфа-токсин и ботулотоксин, патогенные штаммы (болезнетворные разновидности) кишечной палочки, сальмонелла, листерия, шигелла, устойчивый ко многим антибиотикам золотистый стафилококк, вирус гепатита А, норовирусы, энтеровирусы, ротавирусы, патогенные амёбы, аскариды и другие круглые черви, а также паразитические плоские черви. Это далеко не полный список совершенно натуральных, встречающихся в природе патогенных организмов, “не содержащих ГМО”. Натуральная сальмонелла обнаруживается в натуральных подгнивших продуктах и вызывает натуральный понос, а иногда и натуральную смерть. С другой стороны, “искусственные” консерванты — вещества, угнетающие рост микроорганизмов, предохраняют продукт от плесени и образования токсинов микробного происхождения.

Компания *Odwalla*, производившая непастеризованные натуральные соки, оказалась в центре скандала, когда в 1996 году ее продукцией отравилось 67 человек, один из которых умер. Яблочный сок содержал патогенный штамм кишечной палочки. Но отказ от пастеризации (нагревания жидкости с целью убить микробов) использовался как маркетинговый ход, направленный на любителей “натуральной пищи”.

В 2011 году в Германии случилась вспышка пищевых отравлений, вызванных патогенным штаммом кишечной палочки. Тогда 3950 человек отравились, 53 человека погибли. Расследование показало, что источником инфекции послужила органическая ферма^{57, 58}. Патогенный штамм обнаружили в ростках пажитника, который используется для приготовления многих блюд индийской кухни в качестве приправы. Эпидемиологическое исследование показало, что у тех, кто употреблял этот натуральный продукт, многократно повышался риск кровавого поноса. Мы видим, что органические продукты в данной истории оказались, мягко говоря, небезопасными.

У этого инцидента были достаточно серьезные экономические последствия. Изначально немцы ошибочно подозревали, что источником инфекции являются огурцы, импортированные из Испании, и лишь эти подозрения, впоследствии оказавшиеся ложными, обошлись испанским экспортерам, согласно заявлению президента Испанской федерации экспорта фруктов и овощей, в 200 миллионов долларов в неделю. Позже Испания даже отказалась от компенсации в 150 миллионов евро, предложенной Еврокомиссией, заявив, что такая компенсация слишком мала. Отреагировала на эту историю и Россия, которая с июня по июль 2011 года запретила импорт свежих овощей из Европейского Союза.

Анализ ДНК патогенного штамма кишечной палочки показал, что у этой бактерии есть два гена, делающих ее опасной для человека. Благодаря одному гену кишечная палочка вызывает длительный, но не смертельный понос. Другой ген кодирует так называемый токсин Шиги, который вызывает кровавый понос и гемолитико-уремический синдром, характеризующийся болью в животе, рвотой, острой почечной недостаточностью, лихорадкой, а также сонливостью, судорогами и другими признаками повреждений

нервной системы. Отравление токсином Шиги смертельно опасно для человека.

Оказывается, что некоторые штаммы кишечной палочки, производящие токсин Шиги, живут в коровах. Коровы, как правило, не чувствительны к токсину, но бактерии, несущие опасные гены, кодирующие токсин, оказываются в навозе. Эти гены могут перенестись в другие виды бактерий, в том числе заражающие людей. Такому переносу генов способствуют вирусы бактерий — бактериофаги. Навоз особенно часто используется на органических фермах в качестве натурального удобрения. Видимо, на органической ферме случилось смешение генов двух бактерий, и получился весьма неприятный для человека патогенный штамм.

Конечно же этот пример не доказывает, что органическая еда, созданная в рамках традиционного сельского хозяйства, опаснее обычной. Такая история могла случиться и на обычной ферме. Я лишь подчеркиваю, что “натуральное” не является синонимом “полезного” или “безопасного”. Мы обращаем так много внимания на всякие странные вещи: содержит ли продукт ГМО, красители и консерванты, натурален ли он, — но при этом забываем о самом главном. Можем ли мы отравиться? От ГМО не умер никто, а от пищевых инфекций умирают тысячи людей в развитых странах. Причем предотвратить заражение в большинстве случаев можно, соблюдая банальные правила гигиены и санитарии, правильно готовя пищу, тщательно промывая фрукты и овощи. Увы, СМИ не спешат пропагандировать полезные идеи, предпочитая просветительским наставлениям надуманные ужастики о “вреде ГМО”.

Производители “органических продуктов” хвастаются тем, что при выращивании продуктов питания предпочтение отдается традиционным удобрениям, которые противопоставляются вредным “химическим” удобре-

ниям. Забавно, что маркировать свои продукты этикеткой “получено с использованием навоза” такие производители не спешат. Навоз, в отличие от химических удобрений, по определению богат различными микроорганизмами, а значит, растения, выращенные методами органического земледелия, могут тоже отличаться разнообразием микроорганизмов.

В 2010 году в журнале *Food Microbiology* был опубликован сравнительный анализ микробного состава на поверхности салата, который произрастает на обычных и органических фермах в Испании⁵⁹. Оказалось, что по разнообразию и количеству микроорганизмов салат с органических ферм отличается от салата с обычных ферм: в среднем в нем больше энтеробактерий (группа, в которую попадают кишечная палочка, сальмонелла, шигелла и даже чумная палочка *Yersinia pestis*), псевдомонад и некоторых других бактерий. В еще одной работе, опубликованной в *Canadian Journal of Microbiology*, было показано повышенное разнообразие микробов в листьях базилика, выращенного органическими методами⁶⁰. Авторы обращают внимание на то, что листья базилика часто употребляются сырыми, без мытья и готовки, чтобы не помять хрупкое растение, а значит, могут нести риск пищевых отравлений.

Согласитесь, из этого могла бы получиться отличная страшилка. Представьте заголовок в какой-нибудь популярной желтой газете: “Ученые обнаружили в органических продуктах родственницу чумной палочки!” В статье можно привести правдивые и одновременно наводящие панику и вводящие в заблуждение утверждения: “Как высокое разнообразие микробов в органических продуктах питания скажется на здоровье потребителя, до конца не изучено, и это нужно проверить на нескольких поколениях!” Но попробуем сохранить объективность.

Во-первых, если растения мыть, различия в составе микрофлоры вы, скорее всего, уже не обнаружите. В упомянутых исследованиях специально сравнивали немые растения. Во-вторых, кто сказал, что повышенное разнообразие микробов — это обязательно плохо? Есть продукты, качество которых улучшается определенными микроорганизмами: например, качество вина зависит от используемых одноклеточных грибов — дрожжей, перерабатывающих сахар в алкоголь, а кефир получают из молока при помощи молочнокислых и уксуснокислых бактерий и все тех же дрожжей. Значит, с каждым продуктом нужно разбираться отдельно. Что касается энтеробактерий, среди них хватает вполне безобидных представителей, а самую чумную палочку никто конечно же на исследованных фермах не находил. Стоит ли употреблять органические продукты — личное дело каждого, но если вы думаете, что они полезнее исключительно в силу своей натуральности и потому за них стоит платить вдвое, а то и втрое больше, то, увы, вас ввели в заблуждение.

Иллюстрации натуралистической ошибки не ограничиваются опасностью натуральных пищевых патогенов. Натуральная бледная поганка содержит более десятка различных натуральных ядовитых соединений, среди которых наиболее опасным считается альфа-аманитин, приводящий к массовой гибели клеток⁶¹. Смерть при отравлении бледной поганкой часто бывает долгой и мучительной. При этом постепенно отключаются почки, печень, легкие. Тем немногим, кому все-таки удастся выжить после употребления данного гриба, обычно приходится делать пересадку жизненно важных органов.

Натуральная рыба фугу ядовита, если не приготовить ее особым способом. При готовке из нее вынимают все внутренности, а мясо тщательно промывают, но не стоит пробовать сделать это дома: одной маленькой рыбы фугу,

которая умещается на ладони, достаточно, чтобы отравить несколько человек. Японские повара, желающие готовить эту рыбу, должны пройти экзамен, в том числе съесть собственноручно приготовленное блюдо из фугу, а в древности повар, по ошибке отравивший клиента, должен был совершить ритуальное самоубийство.

Кожа золотой ядовитой лягушки покрыта натуральным нейротоксином (ядом, поражающим нервную систему), который называется батрахотоксин. Смертельная доза этого яда составляет лишь около 1–2 микрограммов на килограмм массы тела. Этот токсин предотвращает передачу импульсов по нервным волокнам, парализуя мускулатуру организма. Кроме того, он нарушает работу сердца, в конечном итоге приводя к его остановке.

Самая ядовитая змея — жестокая змея (пустынный тайпан). Взрослая особь имеет достаточно яда, чтобы убить сотню человек или 250 тысяч мышей. Яд этой змеи примерно в 180 раз сильнее яда кобры и содержит сразу несколько разных нейротоксинов, а также гемотоксины, разрушающие клетки крови, миотоксины, нарушающие работу мышц, и массу других ядов. Змеиный яд, конечно, тоже натурален.

После похода на природу, куда-нибудь в лес, особенно в Сибири, проверьте, не прицепился ли к вам клещ. Эти кровососущие существа могут поджидать вас, сидя на высокой травинке. Некоторые из них распространяют вирус клещевого энцефалита, некоторые — бактерии рода *Borrelia*, возбудителей боррелиоза (болезни Лайма). Все это — совершенно натуральные заболевания, поражающие центральную нервную систему.

Механизмы защиты от врагов отличаются у растений и животных. Если животные могут попробовать убежать или защититься с помощью рогов или клыков, то растения такой возможности не имеют. Поэтому они специа-

лизируются на других приспособлениях — на колючках, а также химическом и биологическом оружии. Самая обычная картошка или соя может содержать вещества, нарушающие работу (ингибиторы) трипсина — важного пищеварительного фермента. Трипсин производится поджелудочной железой и попадает в кишечник, где он расщепляет белки, поэтому его ингибиторы нарушают переваривание пищи⁶².

Долгое время среди органических фермеров пользовался популярностью ротенон — сложное органическое соединение, которое можно получать из корней некоторых растений семейства бобовых. Ротенон — натуральный пестицид, чрезвычайно ядовитый для насекомых и рыб. Оказалось, что ротенон индуцирует болезнь Паркинсона у млекопитающих, разрушая нервные клетки^{63–65}. Кроме того, это вещество токсично для клеток крови человека⁶⁶, причем бывали случаи, когда в продуктах содержание ротенона превышало предельно допустимые значения⁶⁷. Сейчас многие страны начали отказываться от этого натурального пестицида.

В действительности по весу более 99 % пестицидов, употребляемых нами в пищу, имеют абсолютно натуральное происхождение — производятся растениями для защиты от вредителей в естественной среде обитания⁶⁸. Некоторые из этих пестицидов безопасны в небольших количествах (и даже используются в кулинарии), другие — сильно ядовиты. Алкалоид капсаицин, придающий перцу остроту, — эффективный инсектицид. В листьях, плодах, стеблях и клубнях картофеля и других пасленовых часто содержится соланин и другие токсичные алкалоиды⁶⁹.

Соланин вызывает разрушение эритроцитов, тошноту, головную боль, понос, повышение температуры, а в тяжелых случаях судороги, делирий (помраченное сознание)

и кому. К счастью, человечество освоило искусственные методы, позволяющие сделать картофель безопасным, — термическую обработку. Любопытно, что содержание соланина в картофеле зависит от условий выращивания и хранения, причем последние факторы нередко играют большую роль, чем гены растения. Например, если клубни картофеля оставить на солнечном свете, они зеленеют и в них накапливается больше соланина, то есть один и тот же сорт картофеля может оказывать разное воздействие на организм.

В 1968 году методами классической селекции была выведена картошка “Ленапе” (*Lenape*)⁷⁰, но спустя пару лет после успешного выхода этого сорта на рынок оказалось, что в нем сильно повышено содержание соланина⁷¹, поэтому его коммерческое выращивание прекратили. В конце XX века история повторилась со шведским сортом “Магнум Бонум” (*Magnum Bonum*)⁷². При создании гибридов двух разных сортов картофеля непредсказуемым образом может меняться не только количество алкалоидов, но и их состав. Могут появляться и совсем новые алкалоиды⁷³. Это лишь несколько примеров возможных негативных последствий обычной селекции, в результате которой получают продукты, считающиеся “натуральными” и (ошибочно) безопасными.

Некоторые полагают, что природа “мудра” и не терпит вмешательства, однако именно эта “мудрость” породила описанные выше угрозы для человеческой жизни и нежелательные изменения растительных геномов. У природы нет никакого “плана”, который мы могли бы нарушить. Порой (и временами заслуженно) она хочет нас убить, а мы защищаемся как умеем — с помощью интеллекта, технологий и изобретений. Жители глухих африканских деревень на своем горьком опыте знают, насколько “хорошо” людям живется

в условиях, приближенных к естественной среде обитания человека: рядом с натуральным малярийным комаром, вирусом Эбола и ВИЧ. Интеллект — наша главная адаптация к меняющимся и нередко враждебным условиям окружающей среды. Интеллект позволяет нам производить средства защиты от вредных микроорганизмов: так, искусственная вакцина от оспы спасала нас от оспы натуральной. Интеллект позволяет нам производить растения более высокого качества. Благодаря достижениям научно-технического прогресса, которые многие так пренебрежительно характеризуют термином “искусственное”, продолжительность жизни человека выросла в развитых странах с тридцати до семидесяти — восьмидесяти лет.

Сам термин “натуральность” мы используем неправильно. Человек и его творения как бы противопоставляются природе, хотя человек тоже является ее частью, продуктом биологической эволюции. Почему продукты, произведенные человеком, не натуральны, а продукты, произведенные пчелами и более нигде в природе не встречающиеся, например мед, — натуральны? Почему, когда люди занимаются генной инженерией — это плохо, но когда ею занимаются бактерии, живущие в почве и переносящие свои гены в растения, или вирусы, встраивающие свои генетические последовательности в геномы всевозможных живых организмов, — это считается естественным и безопасным?

Современных “натуральных” продуктов не существовало бы, если бы человек не вмешивался в эволюционные процессы и не направлял их. Кукуруза, капуста, арбуз, дыня — все это результаты селекции, искусственного отбора, который на протяжении многих поколений менял растения и их наследственную информацию, чтобы те могли стать растениями культурными. На самом деле генетиче-

ски модифицированные организмы — такие же натуральные, как селекционные сорта растений. Это не повод считать их абсолютно безопасными, ведь и натуральное может представлять угрозу для здоровья, но это повод относиться к ним так же, как к обычным организмам, без двойных стандартов. Почему ГМО натуральны, станет понятно по мере ознакомления с основами работы генетического аппарата клеток в последующих главах книги.

Глава 5

Грамматика жизни

ДНК, гены, геномы

В основе передачи наследственной информации у любых живых организмов, будь то люди, животные, растения, грибы или бактерии, лежит двухцепочечная молекула ДНК⁷⁴. Каждая из двух цепей — полимер, состоящий из четырех типов мономеров, нуклеотидов аденина (А), тимина (Т), цитозина (С) и гуанина (G). Например, вот короткая последовательность одной цепочки ДНК из семи нуклеотидов: GATTCACA (это также название известного фантастического фильма). Напротив нуклеотида А одной цепи во второй цепи молекулы ДНК всегда стоит Т, а напротив G — всегда С. Это свойство называется комплементарностью и помогает молекуле ДНК размножаться в ходе процесса, который называется репликация.

Во время репликации двойная спираль расплетается на две одинарные цепи, и к каждой из них достраивается зеркальная, комплементарная копия, нуклеотид за нуклеотидом (А напротив Т, G напротив С и так далее). В результате мы получаем две одинаковые двухцепочечные молекулы, которые при клеточном делении разойдутся к разным полюсам клетки и достанутся двум ее потомкам. Процесс построения осуществляет фермент ДНК-полимераза, названный так

потому, что он берет одиночные нуклеотиды (мономеры) и создает из них нить (полимер).

Структура молекулы ДНК была открыта в 1953 году молекулярными биологами Фрэнсисом Криком и Джеймсом Уотсоном. В начале того же года американский химик и впоследствии лауреат двух Нобелевских премий Лайнус Полинг предложил неправильную структуру молекулы ДНК с тремя спиралями⁷⁵, то есть до Уотсона и Крика структура молекулы ДНК не была очевидной даже для выдающихся ученых. Тем интереснее, что советский ученый Николай Кольцов из самых общих соображений предположил, что наследственная информация должна храниться в виде огромной молекулы, сделанной из двух зеркальных цепей, еще в 1927 году!

Совокупность молекул ДНК какого-нибудь организма называется геномом. У бактерий и архей, образующих группу прокариот — организмов, клетки которых не содержат ядра, — геном обычно представлен одной двухцепочечной молекулой ДНК, замкнутой в кольцо. Иногда у прокариот есть еще несколько дополнительных кольцевых молекул ДНК меньшего размера — плазмид. У эукариот, организмов с клеточными ядрами, к которым принадлежат растения, грибы и животные, а также некоторые одноклеточные простейшие, геном обычно больше, чем у бактерий, и представлен несколькими линейными молекулами ДНК — хромосомами.

В качестве примера рассмотрим геном человека. В его состав входят 22 неполовые хромосомы и половые хромосомы X и Y. В большинстве наших клеток неполовые хромосомы присутствуют в двух копиях — одна достается нам от мамы, а другая от папы, то есть всего хромосом 46. У мужчин присутствует по одной копии половых хромосом — X и Y, а у женщин две X-хромосомы. У человека изменение коли-

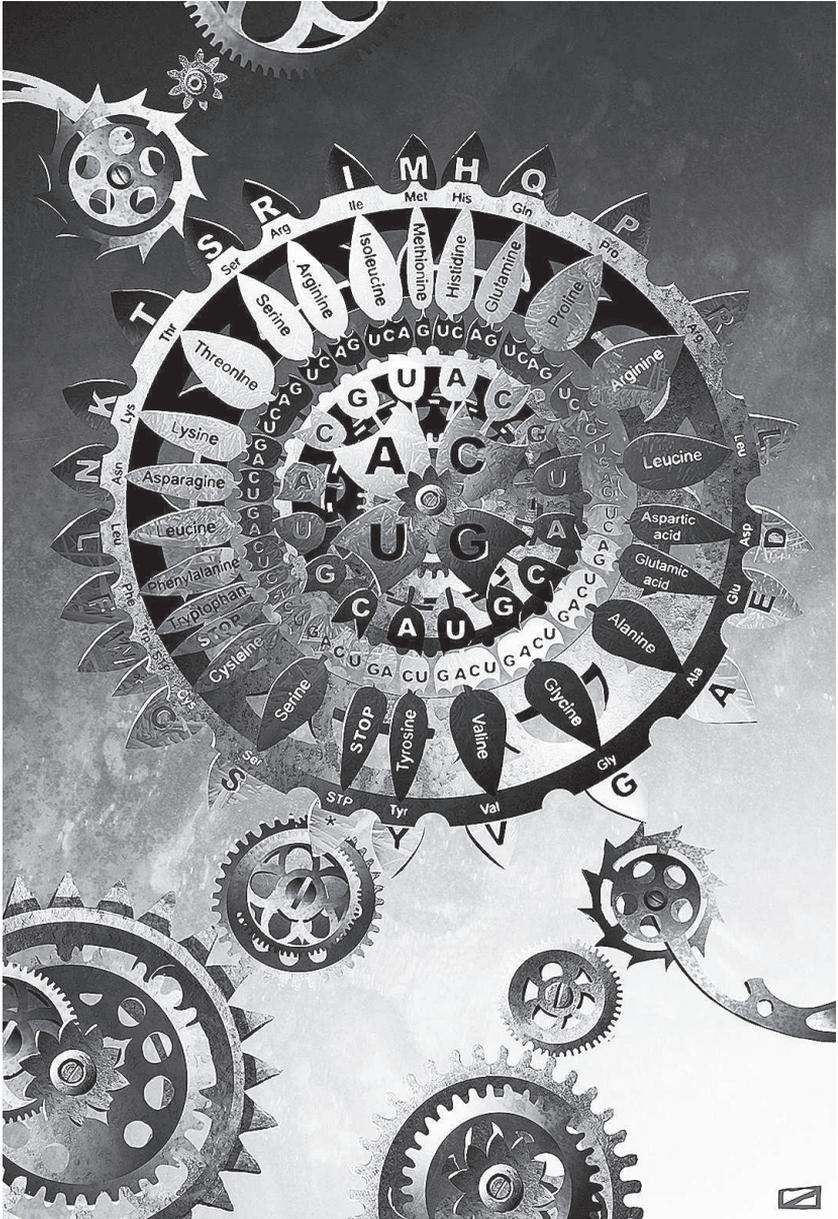


чества хромосом, как правило, либо несовместимо с жизнью (в большинстве случаев), либо приводит к отклонениям вроде синдрома Дауна (когда у человека три 21-х хромосомы). Чего бы там ни говорил один отечественный министр культуры, у народа России (к счастью) лишней хромосомы нет.

Кроме того, отдельный геном имеется у митохондрий — особых структур внутри наших клеток, у которых есть собственная оболочка (мембрана). Митохондрии как будто маленькие отдельные организмы, которые способны размножаться внутри клеток и имеют ряд важных функций, например производство молекул, используемых в качестве источника энергии во многих клеточных процессах.

Одинарный набор хромосом человека насчитывает примерно три миллиарда нуклеотидов, “букв” — это размер его генома. Двойной набор хромосом — это примерно шесть миллиардов нуклеотидов. Если их сшить вместе и вытянуть в нить, получится молекула длиной примерно два метра, которая тем не менее столь тонка и так плотно упакована, что помещается в клеточном ядре, размер которого всего несколько микрометров (один микрометр — это одна миллионная метра).

Наиболее изученный тип функциональных последовательностей ДНК — гены, кодирующие белки. С таких генов считывается молекула матричной РНК (мРНК) в ходе процесса, который называется транскрипция, что переводится как “переписывание”. РНК, как и ДНК, состоит из четырех типов мономеров, но вместо нуклеотидов тимина (Т) в состав РНК входят нуклеотиды урацила (U). Молекула мРНК — одноцепочечная, комплементарная той цепи молекулы ДНК, с которой она “переписана”. Она играет роль инструкции для синтеза какого-нибудь белка (протеина). Белки, в свою очередь, могут выполнять очень разные функции: “сшивать” клетки вместе, чтобы те образовывали ткани,



осуществлять всевозможные химические превращения, регулировать работу генов и так далее.

Представьте, что у вас есть кулинарная книга (геном), которая содержит множество рецептов (генов). Вы можете сделать ксерокопии отдельных рецептов и разослать их поварам. Книга у вас одна, а копий рецептов и поваров много. Такие рецепты в данной аналогии — РНК. Ну а белки — продукт деятельности поваров: различные блюда. В клетках роль поваров выполняют структуры, называющиеся рибосомами, — молекулярные фабрики для синтеза белков. Процесс синтеза белков называется трансляцией (“переводом”).

Белки, как и молекулы ДНК и РНК, являются полимерами, только белки состоят не из нуклеотидов, а из аминокислот. Последовательность аминокислот белка определяется последовательностью кодонов — троек нуклеотидов молекулы РНК, а правило соответствия кодонов аминокислотам называется генетическим кодом. Например, у большинства живых организмов кодон GCC кодирует аминокислоту аланин, а кодон AUG — метионин. Последовательность нуклеотидов AUGGCCGCC кодирует последовательность из трех аминокислот: метионин, за которым следуют два аланина.

Три нуклеотида в кодоне и четыре разные буквы генетического алфавита позволяют создать 4^3 , или 64, разных кодона, то есть с их помощью можно закодировать 64 аминокислоты. Но в стандартном генетическом коде присутствует всего 20 аминокислот, то есть одна и та же аминокислота кодируется сразу несколькими различными кодонами. Это свойство генетического кода называется вырожденностью. Стоп-кодона, командующих рибосоме остановить синтез белка, в стандартном генетическом коде тоже несколько, а точнее три: UGA, UAG, UAA. Слева приведена схема стандартного генетического кода. В круге первом рас-