

# СОДЕРЖАНИЕ

|                   |   |
|-------------------|---|
| Предисловие ..... | 9 |
|-------------------|---|

## ЧАСТЬ 1. ЧЕРНЫЙ ЯЩИК ОТКРЫТ

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| Глава 1. Лилипутская биология ..... | 15 |
| Глава 2. Болты и гайки .....        | 41 |

## ЧАСТЬ 2. ЧТО ЖЕ В ЧЕРНОМ ЯЩИКЕ?

|                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| Глава 3. Лодочка моя, плыви .....   | 75  |
| Глава 4. Кровь и Руб Голдберг ..... | 101 |
| Глава 5. Из точки А в точку Б ..... | 129 |
| Глава 6. Этот опасный мир .....     | 151 |
| Глава 7. День сурка .....           | 177 |

## ЧАСТЬ 3. О ЧЕМ РАССКАЗЫВАЕТ ЧЕРНЫЙ ЯЩИК?

|                                           |     |
|-------------------------------------------|-----|
| Глава 8. Публикуй или погибни .....       | 205 |
| Глава 9. Разумный замысел .....           | 234 |
| Глава 10. Вопросы к замыслу .....         | 260 |
| Глава 11. Наука, философия, религия ..... | 291 |

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| Послесловие. 10 лет спустя ..... | 321 |
| Приложение. Химия жизни .....    | 349 |
| Благодарности .....              | 376 |
| Об авторе .....                  | 377 |

*Посвящается Селесте*

# ПРЕДИСЛОВИЕ

## МОЛЕКУЛЯРНЫЙ ФЕНОМЕН

Мы уже привычно, почти буднично говорим о том, как далеко продвинулась наука в понимании природы. Мы так хорошо поняли законы физики, что забросили свои космические зонды за миллиарды километров от Земли — и там они исправно фотографируют для нас новые миры. Компьютеры, телефоны, электричество — мы видим бесконечное множество примеров господства науки и техники над силами природы. Вакцины и высокопродуктивное растениеводство берут верх над древними врагами человечества — болезнями и голодом, — хотя и не по всему миру. Почти еженедельные сообщения об открытиях в области молекулярной биологии вселяют надежду на излечение генетических — и не только — заболеваний.

Но понять процессы — не то же, что понять их изначальные причины. Мы можем предсказывать движение планет Солнечной системы с невероятной точностью, однако вопрос о происхождении Солнечной системы, а именно — как образовались Солнце, планеты и их спутники, до сих пор вызывает споры<sup>1</sup>. Одно дело — знать, как работает то или иное явление, и совсем другое — понимать, откуда оно взялось.

Видя, как наука постигает природу, люди решили, что она может — и даже должна — объяснить происхождение природы и жизни. И подавляющее большинство образованных людей более

---

<sup>1</sup> Cameron, A. G. W. (1988) «Origin of the Solar System», Annual Review of Astronomy and Astrophysics, 26, 441–472.

ста лет принимало предположение Дарвина о том, что жизнь можно объяснить естественным отбором в условиях изменчивости и разнообразия, хотя еще несколько десятков лет назад основные механизмы жизни оставались абсолютной загадкой.

Современная наука выяснила, что жизнь, в конечном счете, — молекулярный феномен: все организмы состоят из молекул, которые являются мельчайшими деталями биологических систем. Конечно, существуют более сложные биологические свойства (например, циркуляция крови), которые работают на более высоких уровнях, но все мельчайшие детали жизни — территория биомолекул, поэтому миссия биохимической науки, которая изучает эти молекулы, — исследование самой основы жизни.

С середины 1950-х гг. биохимия кропотливо разъясняла устройство жизни на молекулярном уровне. Дарвин не знал, чем вызвано внутривидовое разнообразие (одно из условий его теории), а биохимия обнаружила, что дело в молекулах. Наука XIX в. даже не догадывалась о механизмах зрения, иммунитета или движения, но современная биохимия определила молекулы, которые обеспечивают эти функции — и множество других.

Когда-то существовали ожидания, что основа жизни окажется чрезвычайно простой. Но они совершенно не оправдались: оказалось, что зрение, движение и другие биологические функции устроены ничуть не проще, чем телекамеры или автомобили. Наука добилась огромного прогресса в понимании того, как работает химия жизни, но на молекулярном уровне биологические системы оказались настолько сложными, что попытки науки объяснить их происхождение оказались тщетны. Практически не идет речи о том, чтобы попытаться объяснить происхождение специфических, сложных биомолекулярных систем. Многие ученые смело заявляют, что объяснения уже найдены — или будут найдены рано или поздно, но подобные заявления не находят подтверждения в профессиональной научной литературе. Более того, структура самих биомолекулярных систем дает веские основания полагать, что дарвиновская концепция изменчивости жизни так никогда и не будет доказана.

*Эволюция* — гибкий термин<sup>1</sup>. Для одних это просто изменения с течением времени, для других — происхождение всех форм жизни от общего предка, но механизм изменений остается неясным. Однако в полном биологическом смысле эволюция означает процесс, в ходе которого жизнь возникла из неживой материи и прошла весь путь развития естественным путем. Именно такой смысл вкладывал в это слово Дарвин и именно такое значение оно имеет в научном сообществе. Именно в этом смысле я использую слово «эволюция» в этой книге.

## АПОЛОГИЯ ДЕТАЛЕЙ

Несколько лет назад Санта-Клаус подарил на Рождество моему старшему сыну пластмассовый трехколесный велосипед. К сожалению, Санта очень торопился, и у него не было времени достать подарок из коробки и собрать его. Задача легла на плечи папы. Я достал детали из коробки, развернул руководство по сборке и вздохнул. Там было шесть страниц подробных инструкций: расположите в ряд восемь разных типов шурупов, вставьте два 32-миллиметровых шурупа сквозь ручку в вал, вставьте вал в квадратное отверстие в корпусе велосипеда и т.д. Мне не особенно хотелось открывать руководство, его ведь не пролистаешь, как газету, — все дело в деталях. Но я засучил рукава, открыл банку пива и принялся за работу. Через несколько часов трехколесный велосипед был собран. Я все делал в строгом соответствии с руководством, которое мне пришлось перечитать не один раз.

Похоже, нас, нелюбителей инструкций, очень много. Во многих семьях есть кассетные видеомагнитофоны, но большинство не умеет их программировать. Все эти технологические чудеса поставляются с полной инструкцией по эксплуатации, но всем

---

<sup>1</sup> Johnson, P. E. (1991) *Darwin on Trial*, Regnery Gateway, Washington, DC, chap. 5, Mayr, E. (1991) *One Long Argument*, Harvard University Press, Cambridge, MA, pp. 35–39.

неохота их изучать, так что задачу перепоручают ближайшему десятилетнему ребенку.

С биохимией примерно то же самое — в том смысле, что все дело в деталях. Если студент-биохимик ограничится беглым просмотром учебника, то можно не сомневаться, что экзамен он проведет, уставившись в потолок, периодически вытирая испарину со лба. Беглое чтение учебника не подготовит студента к вопросам типа: «Опишите подробно механизм гидролиза пептидной связи трипсином, в особенности — роль энергии связи переходного состояния». Конечно, существуют общие принципы биохимии, но простому смертному они помогут разве что понять картину химии жизни в целом. Диплом инженера не заменит инструкцию к трехколесному велосипеду и не поможет запрограммировать видеоманитофон.

Увы, многие люди слишком хорошо понимают капризы биохимии. Те, кто страдает от серповидноклеточной анемии, мучаясь сильной болью всю свою не слишком долгую жизнь, знают, насколько важна крохотная деталь, которая изменила один из 146 аминокислотных остатков в одном из десятков тысяч белков в их организме. Родители детей, умерших от болезни Тея — Сакса или муковисцидоза, или страдающих диабетом или гемофилией, знают о биохимических мелочах куда больше, чем им того хотелось бы.

Моя проблема, как писателя, который хочет, чтобы его работы читали, в том, что никому не нравится погружаться в детали, но история о влиянии биохимии на эволюционную теорию строится исключительно на деталях. Я просто вынужден написать книгу из тех, которые обычно не любят читать. Сложность не поймешь, не ощутив ее на себе. Поэтому, дорогие читатели, я прошу вас набраться терпения: в этой книге будет много деталей.

ЧАСТЬ 1

# ЧЕРНЫЙ ЯЩИК ОТКРЫТ

# ЛИЛИПУТСКАЯ БИОЛОГИЯ

## ПРЕДЕЛЫ ИДЕИ

Эта книга посвящена тому, как открытия в области биохимии обозначили пределы дарвиновской идеи эволюции. Биохимия — это изучение самой основы жизни: молекул, из которых состоят клетки и ткани и которые активизируют химические реакции пищеварения, фотосинтеза, иммунитета и многого другого<sup>1</sup>. Поразительный прогресс, достигнутый биохимией с середины 1950-х гг., стал великолепной иллюстрацией того, какой силой обладает наука в понимании мира. Он принес огромную практическую пользу медицине и сельскому хозяйству.

Однако за наши знания, вероятно, придется заплатить определенную цену. Когда раскапывают фундамент, конструкции, которые покоятся на нем, могут пошатнуться или вовсе обрушиться. Когда мы познали основы таких наук, как физика, нам пришлось отбросить, кардинально пересмотреть или ограничить наши старые взгляды на мир. Не грозит ли такая же участь теории эволюции путем естественного отбора?

Как и многие великие идеи, концепция Дарвина великолепно проста. Дарвин заметил различия видов: они отличаются друг от друга размерами, быстротой движения, цветом и т.д. Он сделал вывод, что, поскольку ограниченных запасов пищи не хватает на всех, те живые существа, чьи случайные отличия дают им

---

<sup>1</sup> Под биохимией я подразумеваю все науки, которые изучают жизнь на молекулярном уровне — даже те, которые называются иначе, например молекулярная биология, генетика или эмбриология.

преимущество в борьбе за жизнь, как правило, выживают и размножаются, обгоняя менее приспособленных. Если такие отличия передаются по наследству, то характеристики вида будут со временем меняться — и чем больше времени, тем больше изменения.

Более ста лет большинство ученых считало, что практически все живые существа — или, как минимум, все наиболее интересные проявления жизни — возникли в результате естественного отбора случайных вариаций. Идеи Дарвина объясняли природу окраса мотыльков и рабства у насекомых, почему у зяблика такой клюв, а у лошади копыта — и как все живое распределялось по земному шару в разные эпохи. Некоторые ученые с помощью этой теории даже пытались объяснить человеческое поведение: почему отчаявшиеся люди совершают самоубийство, почему подростки рожают вне брака, почему одни группы людей показывают лучшие результаты в тестах на интеллект, чем другие, и почему религиозные миссионеры отказываются от брака и детей. Все — части тела, чувства и мысли — оценивалось с точки зрения теории эволюции.

Спустя почти полтора века после того, как Дарвин предложил свою теорию, эволюционная биология значительно продвинулась в объяснении наблюдаемых нами закономерностей развития жизни. Многим триумф этой теории казался полным. Но настоящая работа жизни происходит не на уровне отдельного животного или органа — самые важные части живых существ слишком малы, чтобы их можно было увидеть. Жизнь проживается в деталях, и за жизненные детали отвечают молекулы. Идея Дарвина объясняет происхождение лошадиных копыт, но может ли она объяснить, откуда взялась жизнь?

Вскоре после 1950 г. наука продвинулась настолько, что смогла определить формы и свойства нескольких молекул, из которых состоят живые организмы. Медленно и методично мы узнавали все больше структур биологических молекул и, проводя бесчисленные эксперименты, делали выводы о том, как они работают. Совокупность полученных результатов с пронзительной ясностью показывает, что в основе жизни лежат машины — машины, состоящие из молекул! Молекулярные машины перевозят грузы

из одного места клетки в другое по «магистралям» (которые тоже состоят из молекул), а функции тросов, канатов и роликов, удерживающих клетку в форме, выполняют другие молекулы. Машины включают и выключают клеточные переключатели, убивая клетку или заставляя ее расти. Машины, работающие наподобие солнечных батарей, улавливают энергию фотонов и запасают ее в химических веществах. Электрические машины проводят ток через нервы. Машины-производители создают другие молекулярные машины — и самих себя. С помощью машин клетки плавают, копируют себя, поглощают пищу. Таким образом, каждым клеточным процессом управляют сложнейшие молекулярные машины. Все детали жизни точно выверены, а ее механизм чрезвычайно сложен.

Можно ли уместить все живое в дарвинову теорию эволюции? Из-за того, что популярные СМИ любят публиковать захватывающие истории, а ученые обожают рассуждать о том, как далеко могут зайти их открытия, обычным людям не так просто отделить факты от догадок. Чтобы найти реальные факты, нужно покопаться в журналах и книгах, опубликованных непосредственно научным сообществом. Научная литература сообщает об экспериментах из первых рук, и эти отчеты, как правило, не грешат излишним полетом фантазии. Но, как я покажу позже, если изучать научную литературу об эволюции — а именно вопрос о том, как развивались молекулярные машины, то есть основа жизни, — обнаружится полная и гнетущая тишина. Наука пасует перед сложностью основ жизни и не может их объяснить, молекулярные машины не позволяют дарвинизму стать универсальным объяснением всего сущего. Чтобы понять, почему так происходит, в этой книге я расскажу о нескольких удивительных молекулярных машинах, а затем поставлю вопрос, можно ли объяснить их случайной мутацией или естественным отбором.

Эволюция — противоречивая тема, поэтому в начале книги необходимо рассмотреть несколько основных вопросов. Многие считают, что подвергать сомнению дарвинову эволюцию — все равно, что отстаивать креационизм, то есть веру в то, что Земля

сформировалась лишь около 10 000 лет назад, — эта библейская интерпретация все еще весьма популярна. Сразу скажу — я вполне уверен в том, что Вселенной, как говорят физики, несколько миллиардов лет. Более того, я считаю теорию общего предка всех организмов достаточно убедительной, у меня нет особых причин ставить ее под сомнение. Я весьма уважаю работу моих коллег, которые изучают развитие и поведение организмов в рамках эволюции, и считаю, что биологи-эволюционисты внесли огромный вклад в наше понимание мира. Дарвиновский механизм — естественный отбор и изменчивость — может объяснить очень многое. Однако я не верю, что он объясняет молекулярную жизнь, и считаю, что новая наука о самых малых величинах может изменить наше представление о чем-то не столь малом.

## КРАТКАЯ ИСТОРИЯ БИОЛОГИИ

Когда в жизни все идет гладко, многие из нас склонны думать, что общество, в котором мы живем, устроено правильно, а наши представления о мире, разумеется, верны. Нам трудно представить, как люди жили в другое время и в других местах и почему они верили в то, во что верили. Однако в периоды потрясений, когда якобы незыблемые истины подвергаются сомнению, кажется, что ничто в мире не имеет смысла. В такие периоды история напоминает нам о том, что поиск надежных знаний — долгий и трудный процесс, который все еще продолжается. Чтобы определиться с перспективой, через которую можно рассматривать идею дарвиновской эволюции, на следующих нескольких страницах я изложу краткую историю биологии. В каком-то смысле эта история — череда «черных ящиков»: открыв один, видишь следующий.

«Черный ящик» — это устройство, внутренняя работа которого непонятна: иногда потому, что эту работу нельзя увидеть, а иногда потому, что она попросту не поддается осмыслению. Хороший пример такого «черного ящика» — компьютеры.

Большинство из нас пользуется этими волшебными машинами, не имея ни малейшего представления о том, как они работают. Мы обрабатываем слова, строим графики или играем, оставаясь в счастливом неведении о том, что происходит под корпусом компьютера, — и даже если снять корпус, мало кто из нас разберется во внутреннем нагромождении деталей. Между частями компьютера и тем, что он делает, нет простой и очевидной связи.

Представьте, что тысячу лет назад, во дворе короля Артура, появился компьютер с «вечной» батареей. Как люди той эпохи отреагировали бы на него? Большинство впало бы в благоговейный ужас, но есть шанс, что кому-то захотелось бы разобраться, что это за штука. Кто-то обратил бы внимание, что, если нажать на клавиши, на экране появляются буквы. Поскольку некоторые комбинации букв, соответствующие командам компьютера, вызывают изменения экрана, через некоторое время многие команды стали бы понятны. Средневековые англичане поверили бы, что раскрыли секреты компьютера. Но в конце концов кто-нибудь снял бы крышку и увидел бы внутреннее устройство компьютера — еще один «черный ящик» внутри «черного ящика», который, казалось бы, уже расшифровали. Все догадки о том, как работает компьютер, показались бы глубоко наивными.

В древности вся биология была «черным ящиком», потому что никто даже в общих чертах не понимал, как функционируют живые существа. Древние, которые разглядывали растения или животных, гадая, как они устроены, видели непостижимые для себя технологии. Они находились в полном неведении.

Самые ранние биологические исследования начинались единственным доступным методом — невооруженным глазом<sup>1</sup>. Ряд книг, относящихся примерно к 400 г. до н.э. (авторство которых приписывают «отцу медицины» Гиппократу), описывает симптомы некоторых распространенных заболеваний, а источником болезней называет не волю богов, а питание и другие физические

<sup>1</sup> Представленный здесь исторический очерк в основном опирается на: Singer, C. (1959) *A History of Biology*, Abelard-Schuman, London. Дополнительные источники: Taylor, G. R. (1963) *The Science of Life*, McGraw-Hill, New York, and Magner, L. N. (1979) *A History of the Life Sciences*, Marcel Dekker, New York.

причины. Эти труды заложили основы науки, однако древние все равно терялись, когда речь заходила о структуре живых существ. Они верили, что вся материя состоит из четырех элементов: земли, воздуха, огня и воды. Считалось, что живые тела состоят из четырех «гуморов» (или жидкостей) — крови, желтой желчи, черной желчи и флегмы, — а все болезни якобы возникают от избытка одного из гуморов.

Величайший биолог греков — Аристотель — был одновременно и величайшим философом. Он родился еще при жизни Гиппократов, но, в отличие от большинства предшественников, понял, что познание природы требует систематического наблюдения. Внимательное изучение мира живых существ показало: этот мир поразительно упорядочен. Так Аристотель сделал важнейший первый шаг: он разделил животных на две общие категории — на тех, у кого есть кровь, и тех, у кого ее нет. Это во многом соответствует современным классификациям позвоночных и беспозвоночных. Среди позвоночных он выделил категории млекопитающих, птиц и рыб. Большинство амфибий и рептилий он объединил в одну группу, а змей — в отдельный класс. Несмотря на то, что наблюдения проводились без помощи приборов, последующие тысячелетия развития науки не пошатнули логики многих соображений Аристотеля.

За последующую тысячу лет появилось всего несколько значительных исследователей биологии. Одним из них был Гален, римский врач II в.н.э. Работы Галена показывают, что тщательное наблюдение за внешним видом и препарированными внутренностями растений и животных необходимо, но недостаточно для понимания биологии. Например, Гален пытался разобраться, как функционируют органы животных. Он знал, что сердце перекачивает кровь, но простого наблюдения ему не хватило, чтобы понять: кровь циркулирует по организму и возвращается в сердце. Гален ошибочно полагал, что кровь выкачивается для «орошения» тканей, а для подпитки сердца постоянно вырабатывается новая кровь. Эта идея передавалась от учителей к ученикам примерно 1500 лет.

Лишь в XVII в. англичанин Уильям Гарвей предложил теорию о том, что кровь течет непрерывно в одном направлении, совершая полный круг и возвращаясь в сердце. Гарвей подсчитал, что если сердце перекачивает всего 60 мл крови за удар при 72 ударах в минуту, то за один час оно перекачивает 245 л крови — втрое больше, чем вес человека! Произвести такой объем крови за столь короткое время явно невозможно, а значит, кровь используется повторно. Беспрецедентные логические рассуждения Гарвея, подкрепленные расчетами (которые были облегчены благодаря относительно новым для Европы индо-арабским цифрам), подтверждали невидимую работу организма. Это положило начало современной биологической мысли.

В Средние века скорость научных исследований возросла. Примеру Аристотеля следовало все большее число натуралистов. Первые ботаники Брунфельс, Бок, Фукс и Валерий Корд описали множество растений. Благодаря тому, что Ронделе подробно зарисовывал жизнь животных, развивалась научная иллюстрация. Энциклопедисты вроде Конрада Геснера публиковали огромные тома, обобщавшие все знания по биологии. Классификацию Аристотеля значительно расширил Линней, который изобрел категории класса, отряда, рода и вида. Исследования в области сравнительной биологии показали массу сходств между различными звеньями жизни — и началось обсуждение идеи общего происхождения.

Биология начала стремительно развиваться в XVII–XVIII вв., когда ученые объединили придирчивость наблюдений Аристотеля и рационализм логики Гарвея. Однако даже самое пристальное внимание и самая рациональная логика не помогут далеко продвинуться, если скрыты важнейшие части системы. Человеческий глаз способен различить объекты размером 0,1 мм, однако большинство жизненных процессов протекает в лилипутском масштабе — на микроуровне. Так биология вышла на плато: открыв один «черный ящик» — приблизительное строение организмов, — она увидела «черный ящик» более тонких уровней жизни. Чтобы двигаться дальше, биологии были нужны технологические прорывы. Первым из них стал микроскоп.

## ЧЕРНЫЕ ЯЩИКИ ВНУТРИ ЧЕРНЫХ ЯЩИКОВ

Линзы были известны еще в древности, а к XV в. обычным делом стало их использование в очках. Однако лишь в XVII в. выпуклую и вогнутую линзы соединили в тубусе — так получился первый грубый микроскоп. Галилей воспользовался одним из ранних приборов и поразился, разглядев сложноустроенные глаза насекомых. Стеллутти изучал глаза, язык, усики и другие части тела пчел и долгоносиков. Мальпиги смог подтвердить, что кровь циркулирует по капиллярам, и описал раннее развитие сердца у эмбриона цыпленка. Неемия Грю исследовал растения, Сваммердам препарировал мух, Левенгук первым в истории увидел бактериальную клетку, Роберт Гук описал клетки пробки и листьев (хотя и не понял всю значимость этого открытия).

Началось изучение непредсказуемого лилипутского мира — и устоявшиеся представления о том, что такое живые существа, были опровергнуты. Историк науки Чарльз Сингер отметил, что «с философской точки зрения явленная бесконечная сложность живых существ была столь же обескураживающей, как и упорядоченное величие звездного мира, открытое Галилеем предыдущему поколению, однако следствия этой сложности укоренялись в сознании людей гораздо дольше». Другими словами, иногда новые «черные ящики» требуют пересмотра всех наших теорий, а это может вызывать сопротивление.

Клеточная теория была окончательно сформулирована в начале 1890-х гг. Маттиасом Шлейденом и Теодором Шванном. Шлейден работал в основном с растительными тканями, он доказывал центральное значение темного пятна — ядра — во всех клетках. Шванн сосредоточился на животных тканях, в которых было сложнее разглядеть клетки. Тем не менее он обнаружил, что животные по своему клеточному строению похожи на растения. Шванн пришел к выводу, что клетки или выделения клеток составляют все тело животных и растений и что в каком-то смысле клетки — это отдельные единицы, которые ведут собственную жизнь. Он писал, что «вопрос об основополагающей

силе организованных тел разрешается сам собой через вопрос об отдельных клетках». Шлейден добавлял: «Таким образом, основной вопрос заключается в том, каково происхождение этого уникального крохотного организма — клетки?»

Шлейден и Шванн работали в первой половине и середине XIX в., когда Дарвин путешествовал и писал книгу «Происхождение видов». Для Дарвина — и любого другого ученого того времени — клетка была «черным ящиком». Тем не менее на уровне более высоком, чем клеточный, ему удалось многое постичь в биологии. Идея об эволюции жизни принадлежит не Дарвину — хотя он наиболее системно ее обосновал, — но именно ему принадлежит теория эволюции как естественного отбора, основанного на изменчивости.

Тем временем методично изучался «черный ящик» клетки. Исследование клеток показало пределы возможностей микроскопа, обусловленные длиной световой волны. По физическим причинам микроскоп не может четко показать две точки, находящиеся друг к другу ближе, чем на половину длины волны света, который их освещает. Поскольку длина волны видимого света составляет примерно 0,1 диаметра бактериальной клетки, многие мелкие и критические детали клеточной структуры увидеть с помощью светового микроскопа невозможно. «Черный ящик» клетки было невозможно открыть без дальнейших технологических усовершенствований.

В конце XIX в., когда физика стремительно развивалась, Дж. Дж. Томсон открыл электрон, а через несколько десятилетий был изобретен электронный микроскоп. Поскольку длина волны электрона меньше длины волны видимого света, электронное «освещение» позволяет увидеть значительно меньшие объекты, чем световое. У электронной микроскопии есть ряд практических слабостей, в первую очередь — вероятность того, что электронный пучок «поджарит» образец. Но и эти проблемы удалось обойти, и после Второй мировой войны электронная микроскопия получила широкое распространение. Были открыты новые субклеточные структуры: в ядре разглядели поры, а вокруг митохондрий

(«электростанций» клетки) — двойные мембраны. Клетка, такая простая под световым микроскопом, теперь выглядела совершенно иначе. Увидев сложную структуру клетки, ученые XX в. испытали удивление, сходное с тем, какое чувствовали первые пользователи световых микроскопов, увидев в деталях строение насекомых.

На этом уровне открытий биологи приблизились к величайшему из всех «черных ящиков». Дарвин и его современники не могли ответить на вопрос, как устроена жизнь. Они знали, что глаза нужны для того, чтобы видеть, но как именно они видят? Как свертывается кровь? Как организм борется с болезнями? Сложные структуры, открытые электронным микроскопом, сами состояли из более мелких компонентов. Что это за компоненты? Как они выглядят? Как работают? Ответы на эти вопросы выводят нас из области биологии в область химии — и возвращают в девятнадцатый век.

## ХИМИЯ ЖИЗНИ

Как легко видеть, живые существа выглядят и ведут себя не так, как неживые. Они и на ощупь другие: шкура и волосы — совсем не то же, что камни и песок. Большинство людей вплоть до XIX в. вполне закономерно полагало, что все живое состоит из особого материала, который отличается от материала неодушевленных предметов. Но в 1828 г. Фридрих Вёлер нагрел цианат аммония и с изумлением обнаружил, что при этом образуется мочеви́на — продукт биологических отходов. Оказалось, что мочеви́на может получаться из неживого вещества — а значит, простого различия между живым и неживым нет. Тогда химик-неорганик Юстус фон Либих начал изучать химию жизни (то есть биохимию). Он показал, что тепло тела животных обусловлено сгоранием пищи, а не просто врожденным свойством жизни. На основе своих успехов Либих сформулировал идею метаболизма, согласно которой организм создает и расщепляет вещества посредством химических процессов. Эрнст Феликс Гоппе-Зейлер кристаллизовал красное вещество

крови (гемоглобин) и показал, что оно соединяется с кислородом, чтобы разносить его по всему организму. Эмиль Фишер продемонстрировал, что большой класс веществ под названием «белки» состоит всего из двадцати типов строительных блоков (так называемых аминокислот), которые соединяются в цепочки.

Как выглядят белки? Эмиль Фишер показал, что они состоят из аминокислот, однако детали их структуры оставались неизвестными — слишком мелкими, чтобы рассмотреть их даже под электронным микроскопом. Тем не менее было ясно, что белки — фундаментальные машины жизни, которые катализируют химические процессы и создают клеточные структуры. Но для изучения структуры белков требовалась новая техника.

В первой половине XX в. для определения структуры малых молекул использовался *рентгеноструктурный анализ* (РСА). РСА — это процесс, в ходе которого на кристалл химического вещества направляют пучок рентгеновских лучей, рассеивающихся в результате дифракции. Если за кристалл поместить и экспонировать фотопленку, то на снимке можно обнаружить рассеянные рентгеновские лучи, а с помощью некоторых вычислений по картине рассеяния можно определить положение буквально каждого атома в молекуле. Теоретически РСА должен был показывать структуру белка, но тут возникла большая проблема: чем больше атомов в молекуле, тем сложнее вычисления, а в белках в десятки раз больше атомов, чем в молекулах, обычно исследуемых при помощи РСА, и это делает задачу в десятки раз сложнее. Правда, у некоторых людей упорства в десятки раз больше, чем у других.

В 1958 г., после десятилетий работы, Д. К. Кендрю определил структуру белка миоглобина с помощью РСА — наконец-то методика показала детальную структуру одного из основных компонентов жизни. Ожидалось, что белки окажутся простыми и правильными структурами, как кристаллы соли, — но что же мы увидели? Очередную сложность. Макс Перутц, увидев сложную, запутанную, похожую на кишечник структуру миоглобина, простонал: «Неужели поиски окончательной истины и правда вели на такую отвратительную, кишечнообразную штуку?»

С тех пор биохимии все же полюбили хитросплетения белковой структуры. Нынешние усовершенствованные компьютеры и прочие приборы существенно облегчают процесс РСА по сравнению с временами Кендрю, но все равно эта процедура требует значительных усилий.

Рентген использовал и Кендрю, исследуя белки, и Уотсон и Крик, исследовавшие ДНК. В результате биохимии впервые смогли увидеть форму интересующих их молекул. Рождение современной биохимии, которая с тех пор развивается бешеными темпами, можно отнести именно к этому времени. Достижения в области физики и химии помогали друг другу и создавали мощный синергетический эффект в исследованиях жизни.

Теоретически РСА мог определить структуру всех молекул живых существ, однако практические проблемы ограничивают его применение относительно небольшим числом белков и нуклеиновых кислот. Тем не менее в дополнение к ней с головокружительной скоростью появляются новые методы, и один из важнейших — *ядерно-магнитный резонанс* (ЯМР). Благодаря ЯМР молекулу можно изучать в растворе, без кристаллизации. Как и РСА, ЯМР позволяет определить точную структуру белков и нуклеиновых кислот. Как и РСА, ЯМР имеет ограничения, из-за которых он эффективно работает лишь с частью известных белков. Но вместе ЯМР и РСА показали структуры немалого количества белков, а ученые получили детальное представление о том, как они выглядят.

Когда Левенгук с помощью микроскопа увидел крошечного клеща на крошечной блохе, Джонатан Свифт сочинил вдохновенный стишок, в котором предсказывал бесконечную прогрессию все более мелких насекомых:

И обнаружил микроскоп,  
Что на клопе бывает клоп,  
Питающийся паразитом,  
На нем — другой, *ad infinitum*.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Пер. С. Я. Маршака. — Прим. пер.

Но Свифт ошибся: прогрессия не бесконечна. В конце XX в. мы — на пике исследований жизни, конец их близок. Клетка была последним «черным ящиком», открыв который мы обнаружили молекулы — основу природы. Ниже нам не опуститься. Более того, работа, которая уже проделана над ферментами, другими белками и нуклеиновыми кислотами, открыла принципы, которые лежат в основе жизни. Нам еще предстоит прояснить множество деталей и, несомненно, столкнуться с некоторыми сюрпризами. Но в отличие от ученых прежних дней, которые, глядя на рыбу, сердце или клетку, задавались вопросом, что это такое и как оно работает, современным ученым достаточно того, что действия белков и других молекул вполне объясняют основы жизни. Начиная с Аристотеля и до современной биохимии, мы вскрывали один слой за другим, пока не открыли «черный ящик» Дарвина — клетку.

## ПРЫЖКИ И СКАЧКИ

Представьте: ваш участок отделяет от участка соседа канава, уходящая к горизонту в обоих направлениях. Встретив однажды соседа у себя во дворе, вы спросите, как он сюда попал. Ответ: «Я перепрыгнул через канаву» не вызовет сомнений, если ширина канавы чуть больше метра. Если ширина канавы — 2,5 м, вас впечатлят спортивные способности соседа. Если ширина канавы пять метров, вы насторожитесь и попросите его прыгнуть еще раз. Он, конечно, может отказаться, сославшись на вывих колена, и у вас останутся сомнения, но полной уверенности в том, что он все выдумал, не будет. Однако если «канавы» будет оврагом шириной в 30 м, вы ни на секунду ему не поверите.

Но предположим, что ваш неглупый сосед может доказать свои слова. Он не перепрыгивал одним скачком. По его словам, в овраге были холмики, и он перепрыгивал с одного холмика на другой. Вы не видите никаких холмов, но он объясняет, что перебираться пришлось долго, а холмики поднимались один за другим, а потом

размывались и обрушивались. Очень сомнительно, но, чем опровергать его слова, проще сменить тему на бейсбол.

В этой истории кроется несколько уроков. Во-первых, слово «прыжок» можно использовать для объяснения способа преодоления преграды, но в зависимости от деталей (например, ширины преграды) объяснение может становиться как совершенно убедительным, так и абсолютно неадекватным. Во-вторых, долгое путешествие можно гораздо правдоподобнее описать как серию небольших прыжков, а не как один огромный скачок. В-третьих, очень трудно подтвердить или опровергнуть правдивость версии о небольших прыжках, если нет доказательств слов того, что промежуточные ступени были, но исчезли.

Разумеется, аллереорию с прыжками через канавы и овраги можно применить и к эволюции. Слово «эволюция» используется для объяснения как крошечных, так и громадных изменений в организмах. Им часто дают отдельные названия: можно сказать, что микроэволюция описывает изменения, которые достигаются одним или несколькими небольшими прыжками, а макроэволюция — изменения, которые требуют скачков.

Предположение Дарвина о том, что в природе могут происходить даже относительно крошечные изменения, было большим концептуальным достижением, наблюдение за такими изменениями во многом подтвердило его интуитивные догадки. Дарвин видел похожие, но не идентичные виды зябликов на нескольких Галапагосских островах и предположил, что они произошли от общего предка. Недавно ученые из Принстона подтвердили своими наблюдениями, что в популяциях зябликов средний размер клюва меняется в течение нескольких лет<sup>1</sup>. Ранее было показано, что количество темных и светлых мотыльков в популяции меняется по мере того, как окружающая среда становится чище. Точно так же птицы, завезенные в Северную Америку европейскими поселенцами, диверсифицировались на несколько отдельных групп.

В последние десятилетия удалось получить доказательства микроэволюции на молекулярном уровне. Например, вирусы

---

<sup>1</sup> Описано в: Weiner, J. (1994) *The Beak of the Finch*, Vintage Books, New York.

вроде того, что вызывает СПИД, мутируют, чтобы обойти иммунную систему человека. Болезнетворные бактерии вернулись, когда их штаммы научились защищаться от антибиотиков. Можно привести множество других примеров.

В небольших масштабах теория Дарвина одержала победу, и сейчас она вызывает не больше споров, чем утверждение спортсмена о том, что он может перепрыгнуть метровую канаву. Скепсис возникает на уровне макроэволюции — то есть скачков. Вторя Дарвину, многие утверждают, что огромные изменения можно разбить на вероятные небольшие шаги, которые совершались в течение больших периодов времени. Однако убедительных доказательств в поддержку этой позиции так и не появилось — как и рассказ соседа об исчезнувших холмиках, ее сложно было подтвердить... до этих пор.

Современная биохимия дает нам возможность заглянуть на самый нижний уровень жизни. Теперь мы можем обоснованно оценить, насколько реалистичны предполагаемые маленькие шаги, необходимые для больших эволюционных изменений. В книге вы увидите, что овраги, разделяющие повседневные формы жизни, аналогичны оврагам, которые разделяют биологические системы в микроскопическом масштабе. Подобно фрактальным узорам, на которых мы в любом масштабе видим один и тот же рисунок, даже на самом крошечном уровне жизни возникают непреодолимые препятствия.

## ГЛАЗНОЙ РЯД

Биохимия показала нам границы теории Дарвина. Она открыла самый настоящий «черный ящик» — клетку — и тем самым помогла нам понять, как устроена жизнь. Именно поразительная сложность субклеточных органических структур заставляет задаваться вопросом: «Как это все могло развиваться?» Чтобы почувствовать всю остроту этого вопроса и понять, что нас ждет, давайте рассмотрим пример биохимической системы. Объяснение

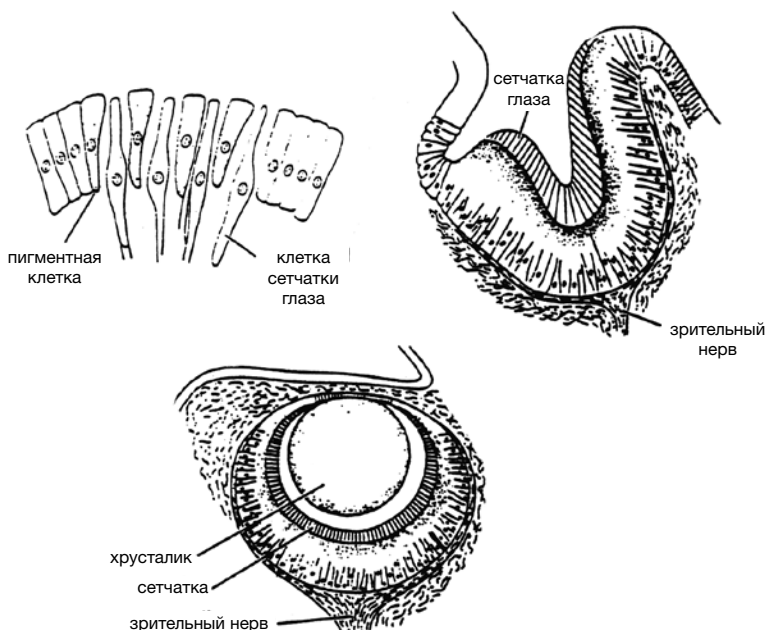
происхождения той или иной функции должно согласовываться с современной наукой. Посмотрим, как развивалось научное объяснение одной из функций — зрения — с XIX в., а затем разберемся, как это влияет на нашу задачу объяснить его происхождение.

В XIX в. детали анатомии глаза были известны. Ученые знали, что зрачок работает как заслонка, которая пропускает достаточно света, чтобы видеть как при ярком солнце, так и в ночной темноте. Хрусталик глаза собирает свет и фокусирует его на сетчатке, формируя четкое изображение. Мышцы глаза позволяют ему быстро двигаться. Из-за того, что световые волны разных оттенков имеют разные длины, изображение могло бы получаться размытым, но хрусталик глаза меняет плотность своей поверхности, чтобы исправить хроматическую аберрацию. Всех, кто ближе знакомился с подобными тонкостями, это поражало. Ученые XIX в. знали, что если у человека отсутствует какая-нибудь из множества функций глаза, то результатом будет серьезная потеря зрения или полная слепота. Они пришли к выводу, что условием работы глаза является его целостность.

Чарльз Дарвин тоже знал об устройстве глаза. В книге «Происхождение видов» он разобрал ряд возражений против своей теории эволюции путем естественного отбора. Проблему глаза он обсудил в разделе, который вполне уместно называется «Органы крайней степени совершенства и сложности». По мнению Дарвина, эволюция не могла создать сложный орган за один или несколько шагов. Для таких радикальных нововведений, как глаз, потребовались бы несколько поколений организмов и постепенное накопление полезных изменений. Он понимал, что внезапное появление в одном поколении такого сложного органа равносильно чуду. К сожалению, казалось невозможным, чтобы человеческий глаз развивался постепенно, так как было ощущение взаимозависимости всех его сложных функций. Чтобы в эволюцию можно было поверить, Дарвин должен был как-то убедить общественность в том, что сложные органы могут формироваться поэтапно.

И ему это блестяще удалось. Дарвин поступил умно: он не стал искать реальный путь, которым шла эволюция при формировании

РИСУНОК 1-1



**Глазной ряд. Слева: Небольшой участок фоторецепторов медуз.**

**Справа: Глаз морских моллюсков с хрусталиком.**

**Внизу: Глаз морской улитки с хрусталиком**

Источник: McGraw-Hill Encyclopedia of Science & Technology, 6th ed., McGraw-Hill, New York, 1987. Воспроизводится с разрешения.

глаза. Вместо этого он показал современных животных с различными видами глаз (от простых до сложных) и предположил, что в эволюции человеческого глаза в качестве промежуточных звеньев могли участвовать похожие органы (см. рис. 1-1).

Перескажу доводы Дарвина. Человек обладает сложным, устроенным по принципу камеры глазом, но многие животные обходятся меньшим. У ряда крошечных существ есть лишь группа пигментированных клеток — всего-навсего светочувствительное пятно. Нельзя сказать, что здесь речь идет о полноценном зрении, но способность различать свет и тьму есть, а значит, это

удовлетворяет потребности существа. Светочувствительный орган некоторых морских звезд устроен несколько сложнее. Их глаз расположен в углублении. Поскольку изгиб углубления блокирует свет с некоторых направлений, животное чувствует, откуда идет свет. Направленное восприятие глаза улучшается, если изгиб становится более выраженным, но одновременно с этим количество света, попадающего в глаз, уменьшается, а чувствительность снижается. Ее можно повысить, поместив в полость желатиновый материал, который будет работать как хрусталик, у некоторых современных животных глаза — именно с такими грубыми хрусталиками. Постепенное усовершенствование хрусталика обеспечивает все более четкое изображение, которое соответствует окружающей животное среде.

Подобными рассуждениями Дарвин убедил многих своих читателей, что эволюционный путь идет от простейшего светочувствительного пятна к сложному человеческому глазу, но вопрос о том, как возникло зрение, остался без ответа. Дарвин убедил большую часть мира в том, что современный глаз постепенно развился из более простой структуры, но даже не попытался объяснить, как появилась его отправная точка — относительно простое светочувствительное пятно. Напротив, Дарвин отмахнулся от вопроса об изначальном происхождении глаза: «Каким образом нерв сделался чувствительным к свету, вряд ли касается нас в большей степени, чем то, как возникла самая жизнь»<sup>1</sup>.

У него были все причины отказаться отвечать на этот вопрос, ведь он выходил за рамки научного знания XIX в. В то время было неясно, как работает глаз, то есть что происходит, когда фотон попадает на сетчатку. Собственно говоря, невозможно было ответить ни на один вопрос о механизмах, лежащих в основе жизни. Как мышцы животных приводят в движение тело? Как происходит фотосинтез? Как извлекается энергия из пищи? Как организм борется с инфекциями? Никто не знал.

---

<sup>1</sup> Дарвин Ч. Происхождение видов путем естественного отбора, или Сохранение благоприятных рас в борьбе за жизнь. — СПб.: Наука, 1991.

## БИОХИМИЯ ЗРЕНИЯ

Для Дарвина зрение было «черным ящиком», но, накопив результаты кропотливой работы многих биохимиков, мы приблизились к ответу на вопрос о зрении<sup>1</sup>. Далее я приведу биохимическую схему работы глаза. Пусть вас не смущают странные названия составляющих элементов. Это всего лишь обозначения, которые звучат не более странно, чем слова «карбюратор» или «дифференциал» для того, кто впервые читает руководство по эксплуатации автомобиля. Читатели, жаждущие подробностей, найдут их во многих учебниках по биохимии, остальным советую читать внимательно или обратиться к рисункам 1–2 и 1–3, чтобы понять суть.

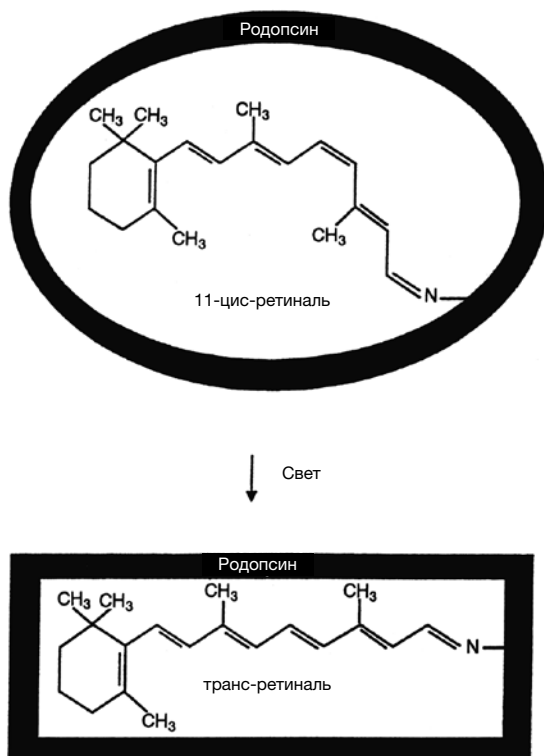
□ Когда свет впервые попадает на сетчатку, фотон взаимодействует с молекулой 11-*цис*-ретиная, которая за пикосекунды превращается в *транс*-ретиная. (Пикосекунда — время, необходимое свету для прохождения расстояния в один человеческий волос.) Изменение формы молекулы ретиналя приводит к изменению формы белка родопсина, с которым плотно связан ретиналь<sup>2</sup>. Метаморфоза белка меняет его поведение — теперь он называется метародопсин II и прилипает к другому белку, трансдуцину. До столкновения с метародопсином II трансдуцин прочно связывал небольшую молекулу ГДФ. Но когда трансдуцин взаимодействует с метародопсином II, ГДФ меняется на ГТФ, связывающуюся с трансдуцином (ГТФ «близкий родственник» ГДФ, но в то же время существенно отличается от него).

Теперь ГТФ-трансдуцин-метародопсин II связывается с белком под названием фосфодиэстераза, который расположен во внутренней мембране клетки. Присоединившись к метародопсину II и его окружению, фосфодиэстераза приобретает химическую

<sup>1</sup> Неплохое резюме по биохимии зрения можно найти в: Devlin, T. M. (1992) *Textbook of Biochemistry*, Wiley-Liss, New York, pp. 938–954.

<sup>2</sup> Согласно общепринятым научным понятиям ретиналь не связан с родопсином, а является его частью. Данная формулировка была бы более корректной: «Изменение формы молекулы ретиналя приводит к изменению формы белка родопсина, в состав которого входит ретиналь». — Прим. науч. ред.

РИСУНОК 1–2



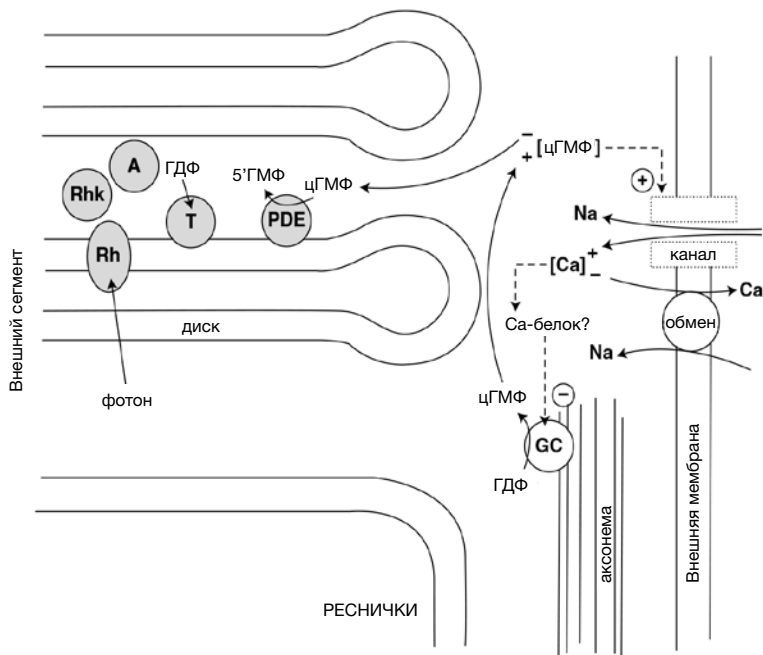
**Зрение: первый шаг. Фотон света вызывает изменение формы маленькой органической молекулы — ретиналя.**

**В результате меняется также форма гораздо более крупного белка — родопсина, к которому он крепится. Рисунок белка не соответствует реальному масштабу**

способность «разрезать» молекулу, которая называется цГМФ (химический родственник ГДФ и ГТФ). Изначально в клетке много молекул цГМФ, но фосфодиэстераза снижает их концентрацию — прямо как выдернутая пробка снижает уровень воды в ванне.

Другой мембранный белок, связывающий цГМФ, называется ионным каналом. Он действует как шлюз, регулирующий

РИСУНОК 1-3



**Биохимия зрения. Rh — родопсин, RhK — родопсинкиназа, A — аррестин, GC — гуанилатциклаза, T — трансдуцин, PDE — фосфодиэстераза**

Источник: Chabre, M. & Deterre, P. (1989) *European Journal of Biochemistry*, 179, 255. Публикуется с разрешения.

количество ионов натрия в клетке. В норме ионный канал позволяет ионам натрия поступать в клетку, а отдельный белок активно выкачивает их обратно. Двойное действие ионного канала и насоса поддерживает уровень ионов натрия в клетке в узком диапазоне. Когда количество цГМФ снижается из-за расщепления фосфодиэстеразой, ионный канал закрывается, что приводит к снижению концентрации положительно заряженных ионов натрия в клетке. Это изменяет заряд клеточной мембраны, что в конечном итоге приводит к передаче электрического тока по зрительному нерву в мозг. А зрение — это результат интерпретации мозга.

Если бы в клетке протекали только вышеупомянутые реакции, запасы 11-цис-ретинала, цГМФ и ионов натрия быстро истощились бы. Что-то должно отключить включенные белки и вернуть клетку в исходное состояние. Для этого существует несколько механизмов. Во-первых, в темноте ионный канал (в дополнение к ионам натрия) пропускает в клетку ионы кальция. Кальций откачивается обратно другим белком — так поддерживается постоянная концентрация кальция. Когда уровень цГМФ падает, отключая ионный канал, концентрация ионов кальция тоже снижается. Фермент фосфодиэстераза, разрушающий цГМФ, замедляется при снижении концентрации кальция. Во-вторых, белок под названием гуанилатциклаза начинает заново синтезировать цГМФ, когда уровень кальция падает. В-третьих, пока все это происходит, метародопсин II химически модифицируется ферментом под названием родопсинкиназа. Затем модифицированный родопсин связывается с белком, который называется аррестин и который не позволяет родопсину активировать больше трансдуцина. Таким образом, клетка содержит механизмы, ограничивающие усиление сигнала, запускаемого одним фотоном.

В конце концов трансретиноль отпадает от родопсина, он должен снова превратиться в 11-цис-ретиноль и быть связанным родопсином, чтобы вернуться в исходную точку и запустить очередной зрительный цикл. Для этого трансретиноль сначала химически модифицируется ферментом в трансретинол — форму, которая содержит еще два атома водорода. Затем второй фермент преобразует молекулу в 11-цис-ретинол. Наконец, третий фермент удаляет ранее добавленные атомы водорода, чтобы получился 11-цис-ретинол, и цикл завершается. □

Параграфы выше — всего лишь краткий обзор биохимии зрения. Но в конечном итоге именно к такому уровню объяснения должна стремиться биология. Чтобы по-настоящему понять функцию, необходимо детально разобраться в каждом этапе процесса. Соответствующие этапы биологических процессов происходят на молекулярном уровне, поэтому удовлетворительное объяснение

биологического феномена — например, зрения, пищеварения или иммунитета — должно включать его молекулярное объяснение.

Сейчас, когда «черный ящик» зрения открыт, для объяснения этой способности с точки зрения эволюции уже недостаточно рассматривать только анатомические структуры глаз, как это делал Дарвин в XIX в. и как продолжают делать популяризаторы теории эволюции сегодня. Каждый из анатомических этапов и структур, которые Дарвин считал такими простыми, на самом деле включает в себя невероятно сложные биохимические процессы, которые невозможно описать пустой риторикой. Прыжки Дарвина с холма на холм во многих случаях оказываются огромными скачками между весьма изощренными механизмами, и чтобы преодолеть такое расстояние за один раз, понадобился бы вертолет.

## КАЛЬВИНИЗМ

Человеческому разуму как будто свойственно, увидев «черный ящик», вообразить, что внутри таится что-то очень простое. Отличный тому пример — комиксы «Кальвин и Хоббс» (рис. 1–4). Кальвин запрыгивает в ящик со своим плюшевым тигром Хоббсом и путешествует в прошлое, или «трансфигурирует» себя в животных, или использует его как дубликатор и создает свои клоны. Маленький мальчик вроде Кальвина запросто представляет, что ящик может летать как самолет (или еще как-то), потому что он не знает, как устроены самолеты.

В каком-то смысле взрослые ученые так же любят выдавать желаемое за действительное, как и мальчики типа Кальвина. Например, много веков назад считалось, что насекомые и мелкие животные рождаются прямо из испорченной пищи. В это было легко поверить, ведь мелкие животные считались чем-то элементарным (до изобретения микроскопа натуралисты думали, что у насекомых нет внутренних органов). Но по мере развития биологии точные эксперименты показывали: испорченная пища