

# ГЛАВА 3

## ПИНГВИН ГАРРИ

### Терморегуляция у животных

Представьте себе императорского пингвина, ему примерно десять лет, это самец. Назовем его Гарри. На дворе июль, середина зимы в Антарктиде, Гарри ничего не ест уже четвертый месяц. Так повелось, что самцы императорских пингвинов, образуя пары с самками, голодают, их диета длится целых сто пятнадцать дней. Спарившись, самки откладывают яйца и уходят вразвалочку к морю, искать пищу. Они вернутся лишь через месяцы, а папаши-няньки тем временем высидивают яйца.

Настала пора ожидания. Гарри кладет яйцо себе на лапы, накрывает его наседной сумкой — толстым слоем голый кожи без перьев, напоминающей юбку. Чтобы птенец вылупился, нужно держать яйцо в тепле при уютных  $36^{\circ}\text{C}$ , чего трудно добиться в Антарктиде, где бешено воет ветер, а температура может упасть ниже  $-45^{\circ}\text{C}$ . Если Гарри хочет, чтобы его детеныш не замерз, да и если он сам хочет выжить, он должен плотно прижиматься к другим пингвинам.

В интернете полным-полно фотографий и видео с императорскими пингвинами, толпящимися, как фанаты на рок-концерте. Тысячи птиц так плотно прижимаются друг к другу, что одних особей может вытолкнуть поверх других.

Был бы это действительно рок-концерт, толпа подняла бы их на руки, и они бы по ней поплыли. Но ради экономии энергии согласиться на такие неудобства вполне логично. Когда пингины жмутся друг к другу, каждый из них сильно сокращает площадь поверхности тела, подверженную холоду, и им легче сохранить тепло. Более того, каждый из пингинов поддерживает в группе теплый микроклимат. В результате температура внутри колонии может достичь  $37,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ <sup>1</sup>.

Ученые годами исследуют колонии пингинов в таких местах, как, например, мыс Геология у побережья Антарктиды. Чтобы лучше понять, как птицы ведут себя в колонии, исследователи прикрепляют к оперению некоторых особей специальные приборы и передатчики. Так выяснилось, что пингины могут провести в плотной группе аж 38% своего времени, прижимаясь друг к другу когда по паре минут, а когда по несколько часов подряд<sup>2</sup>. Хлестаемая ветрами колония кажется монолитной, но на ускоренных видеозаписях заметно, что ее структура подвижна, потому что пингины внутри постоянно меняются с соседями местами.

Ответ на вопрос, зачем императорские пингины сбиваются в колонии, кажется очевидным. Есть такая шутка: «Зачем курица переходит дорогу? — Чтобы попасть на другую сторону», а пингины кучкуются, чтобы всем было тепло. Элементарно. Однако было доказано, что пингины сбиваются в колонии не просто для того, чтобы не замерзнуть. Сбиваться в группу — значит пережить голод, выжить, а на социальном уровне — поддержать ее сплоченность.

Ученые, проводившие исследование на острове Росса в Антарктике, пришли к выводу, что если бы пингины не прижимались друг к другу, они бы умерли от голода. Математика проста. Чтобы продержаться сто дней, пингвину пришлось бы сжечь примерно 25 килограммов жира. Еще

ему бы понадобилось 1,5 килограмма жира на дальний (в целых 200 километров) путь обратно к морю, где можно поймать питательную рыбу и моллюсков. А тем временем у крупного императорского пингвина, такого как наш Гарри, в запасе может остаться только 15–20 килограммов жира. Другими словами, чтобы пережить длительный голодный период и долгий путь к морю, ему не хватит оставшегося жира. Есть ли надежда? Прижимаясь к другим пингвинам и сохраняя тепло, Гарри уменьшает свой метаболизм на целых 16% — и так экономит столь необходимый жир<sup>3</sup>.

### **Экономика действия**

Пингины — не единственные животные, которые регулируют температуру с помощью сородичей. Крысы, свиньи, обезьяны, лошади, змеи, дятлы, еноты и даже дикобразы... наверное, не сразу подумаешь, что они с удовольствием льнут друг к другу, когда вокруг холодает. Но так делают многие виды животных. Терморегуляция — один из самых энергетически затратных процессов, поддержание которого жизненно необходимо для многих существ. Температура воздуха постоянно меняется, и для выживания нужно следить за этими перепадами и подстраиваться под них. К счастью, оказывается, что животные — весьма умелые, так сказать, экономисты, или оптимизаторы. Они непрерывно сравнивают различные стратегии поведения, вычисляют соотношение дохода и расхода, пытаются найти самое выгодное в энергетическом плане и сэкономить ценный жир.

Если вы когда-нибудь видели, как по треку едут велогонщики, то наверняка замечали, что одни следуют за другими, и так образуется группа втянутой формы — пелотон. Делают они это не от одиночества. Гонщики полагаются друг на друга, едут вплотную к впередиидущему, чтобы сохранить свою энергию, пользуясь меньшей сопротивля-

емостью воздуха. Опытные велогонщики умеют сокращать затраченную энергию на целых 39% при езде на скорости 38 километров в час, особенно если они едут в центре пелотона<sup>4</sup>. По этой же причине рыбы образуют косяки, и даже бактерии, собравшись в группу, перемещаются быстрее. Передвижение группой, как и прижимание друг к другу, — самая настоящая экономика действия, выбор самых эффективных стратегий поведения ради экономии ресурсов. В основе лежит простой принцип: животным нужно получать больше энергии, чем они тратят. Иначе — смерть.

Животные развили поразительное многообразие механизмов для терморегуляции и экономии энергии. Какой конкретный способ выработал тот или иной представитель фауны, во многом зависит от его собственной способности вырабатывать и сохранять тепло. Если вы учились в школе пару десятков лет назад, то вам наверняка говорили, что животные делятся на тепло- и холоднокровных, и вы, конечно, удивитесь, узнав, что это разделение, бывшее когда-то общепринятым, теперь считается устаревшим. Сегодня ученые предпочитают использовать другие термины, выговорить которые довольно трудно: эктотермные, эндотермные, пойкилотермные, гомойотермные и гетеротермные<sup>5</sup>. Довод в пользу этих новых слов состоит в том, что деление на тепло- и холоднокровных было не просто слишком сильным упрощением, но и часто приводило к путанице.

Представим себе ящерицу, которая греется на августовском солнце где-нибудь в Техасе или Аризоне. Мы бы по привычке сказали, что ящерица, раз она рептилия, холоднокровна. Но когда она греется на солнце, температура ее тела может подняться до высоких 38 °С, и вот ее уже не назовешь «холоднокровной». Введем термин *эктотермные* из новой и более точной классификации для нашей ящерицы. Эктотермные организмы — это организмы, которые

получают тепло из окружающей среды, при этом они умеют оптимизировать метаболизм и активность, регулируя температуру тела. В общем, животных, которых раньше относили к холоднокровным, сегодня относят к эктотермным. Это насекомые, рептилии, амфибии и большинство видов рыб. В противоположность им — млекопитающие и птицы, животные, которых мы называли теплокровными. Они сами производят тепло, словно у них внутри есть печка. Сегодня ученые называют их *эндотермными*. Греческие приставки *екто-* и *эндо-* означают «внешний» и «внутренний» соответственно. «*Терм*» происходит от греческого слова *thermē*, то есть «тепло».

Схожим образом *пойкилотермный* — значит такой, у которого температура тела меняется с температурой воздуха (от греческого *poikilos* — «изменяемый»), а *гомойотермный* — значит такой, который поддерживает стабильную температуру тела вне зависимости от погоды (от греческого *homoios* — «одинаковый»). *Гетеротермные* организмы находятся где-то между пойкилотермными и гомойотермными. Иногда они поддерживают стабильную температуру тела, а иногда позволяют ей скакать как заблагорассудится. Огромный нильской крокодил весом более пятисот килограммов эктотермен (без внутренней «системы центрального отопления»), но за счет огромной массы температура тела остается в общем стабильной, независимо от того, насколько холодно или тепло вокруг. Огромной массой объясняется бóльшая тепловая инерция (по этой же причине можно целую вечность ждать, когда нагреется или остудится вода в большой кастрюле). При этом температура тела некоторых эндотермных животных может сильно варьировать в течение дня, иногда на целых 40 °С, как, например, у одного из видов американских сусликов, которые впадают в спячку. Поэтому такие млекопитающие считаются пойкилотермными.

Попробуем быть точными, сказав, что люди — это эндотермные гомойотермы, которые иногда бывают немного пойкилотермными, гетеротермными и даже эктотермными. Точно? — Возможно. Непроизносимо? — Абсолютно. Поэтому я буду пользоваться терминами эндотермные и эктотермные организмы, прибегая к остальным только при крайней необходимости.

### **Лентяй или инвестиционный банкир?**

На первый взгляд может показаться, что по сравнению с эндотермными организмами эктотермных судьба обделила. Они неспособны прогреть свое собственное тело и всю жизнь зависят от причуд погоды, а эндотермы независимы и гибки. Когда температура окружающей среды падает, температура тела змеи или лягушки опускается вместе с ней. Если крохотная муха сядет на освещенное солнцем место, то может нагреться на 10 °С всего лишь за десять секунд. Неудивительно, что примерно век назад ученые считали эктотермов несовершенными по сравнению с эндотермами, хуже развитыми, чем «теплокровные» обезьяны, собаки и люди. Однако новые исследования показывают, что ни один из подходов к терморегуляции сам по себе не лучше остальных. У каждого есть плюсы и минусы.

Экто- и эндотермию можно представить себе как два противоположных стиля жизни. Вообразите лентяя, ведущего праздную жизнь где-нибудь на островах Флорида-Кис и время от времени продающего туристам футболки. Потом представьте активного инвестиционного банкира в Нью-Йорке. Насекомые и рептилии похожи на того лентяя. Их эктотермическая жизнь медленнее, она менее энергозатратна. Млекопитающие и птицы похожи на инвестиционного банкира, чья эндотермическая жизнь протекает быстрее и требует больше энергии. Если вы

хотите держать под контролем температуру тела, вам нужно постоянно топить свою внутреннюю печь — метаболизм, а значит, придется много есть. Необходимость много есть означает, что немалую долю времени вы будете гоняться за следующим блюдом, вместе того чтобы просто отдохнуть. Эктотермам, например рептилиям и амфибиям, когда температура их тела меняется с температурой воздуха, хватает для жизни меньше пищи, чем одинаковым по размерам млекопитающим. Грызун весом в триста граммов ест в день аж в целых семнадцать раз больше насекомых, чем ящерица абсолютно такого же размера. А благодаря эктотермии некоторые змеи, например питоны, могут прожить без еды целый год. Кстати, не думайте, что эндотермы не зависят от климата и погоды. Чем сильнее холодает, тем больше еды нужно млекопитающим для растопки внутренней печи. К примеру, при 22 °С самка мыши съедает примерно на 38% больше пищи, чем при 30 °С.

Эктотермные организмы, которые, как лентяи, живут в более размеренном темпе, обычно заводят потомство позже эндотермов, поэтому их детеныши дольше взрослеют. Вдобавок эктотермы, благодаря умению ускорять метаболизм с помощью тепла извне и тому, что они не зависят исключительно от пищи, оказываются еще более гибкими, чем эндотермы, когда нужно найти подходящую окружающую среду. Чтобы добиться такой же гибкости, эндотермы, живущие на скорости инвестиционных банкиров, должны инвестировать в свою группу. Расчетливый эндотерм постоянно расширяет свое инвестиционное портфолио; вместо того чтобы полагаться на пищу, которую он может добыть самостоятельно, эндотерм инвестирует часть своей независимости в социальную терморегуляцию. Он использует энергию, излучаемую теплыми телами сородичей. Вообще, чем больше он может рассчитывать на своих товарищей, тем лучше. Пингвин Гарри — инве-

стиционный банкир, который много инвестирует в других пингвинов своей колонии. Он прижимается к ним и живет на дивиденды, получаемые в виде излучаемого ими тепла, и они точно так же живут за счет его тепла. В социальной тесноте их колонии Гарри и его сородичи «платят цену» в виде некоторой части самостоятельности, чтобы всем быть в плюсе от тепла.

Несмотря на высокие энергетические затраты эндотермии, которые ограничивают независимость и способность гибко подстраиваться под окружающую среду, у активного стиля жизни есть свой внушительный плюс. При высоких температурах химические реакции протекают быстрее, а благодаря относительно стабильной температуре тела растет активность энзимов. В результате млекопитающие и птицы могут сохранять относительно большую активность, чем амфибии и рептилии. Особенно разница видна при низкой температуре воздуха. Сходите в гости к другу, у которого есть черепашка, в какой-нибудь заметно прохладный день и посмотрите, насколько она вялая. В разгар лета эта же самая черепаха может бегать — да, *бегать* — удивительно проворно. Разгоряченные мышцы сокращаются быстрее, отчего мухи больше всего бесят в теплый, идеальный для пикника денек.

### **Эндотермы ли, эктотермы ли, а стратегии одинаковы**

Несмотря на то что у эндотермов есть внутренние механизмы терморегуляции (подробнее о них поговорим в следующей главе), их излюбленный способ регулировать температуру по сути такой же, как и у эктотермов, — изменение стратегии поведения. Они отдыхают на солнце, прячутся в норках, сворачиваются, расправляют крылья. Некоторые даже обнимают деревья. Или, как пингвин Гарри, сбиваются в группы.



Каждое утро, примерно в семь часов, маленький самец ящерицы вида *Liolaemus multiformis* выбегает из своей норки, где он спрячется от ночной прохлады. Из всех видов ящериц этот вот уж точно обитает на самой большой высоте: он живет в альпийском поясе Анд, в Перу, на головокружительных 3474 метрах над уровнем моря. В такой суровой местности температура по ночам может падать ниже нуля. Чтобы начать свой день, ящерице нужно прогреться и преодолеть вялость после холодной ночи. Осмотревшись вокруг, он замечает освещенный солнцем растительный покров, хорошо защищенный от промерзшей почвы. Всего за два часа, к девяти утра, тело рептилии прогревается до 35 °С, — теперь можно быстро охотиться и активно переваривать пищу. *Liolaemus multiformis* готов отправиться в путь! Если небо будет безоблачным, самцу ящерицы удастся сохранить высокую температуру тела на весь день, энергии он совсем или почти не потеряет.

Многие виды животных пользуются солнечным теплом, чтобы отрегулировать температуру тела. И эктотермы — ящерицы, лягушки, бабочки, и эндотермы — тюлени, пингвины, лемуры — все берут от солнца тепло. В своей естественной среде обитания в южной части Скалистых гор западноамериканские жабы только-только после метаморфоза залезают на верхушки растений, чтобы погреться под лучами солнца. В исследовательских лабораториях крохотные амфибии, ощущая нехватку света, садятся под лампы накаливания. В любом из случаев они нагреваются до своей комфортной температуры тела, примерно 26,7 °С, и растут быстрее. Интересный поворот: если малыши-жабы не ели, они понижают свою температуру, где-то до 15–20 °С. Такое состояние для организма гораздо легче поддерживать, а значит, и дешевле. Если еды в достатке, жабы могут позволить себе более высокую температуру

тела, отчего их энзимы работают активнее. Если еды не хватает, они переходят в режим экономии энергии<sup>6</sup>.

Родители наверняка ругали вас за то, что вы сутулитесь, но ссутулиться, как и в принципе поменять позу, — это еще один дешевый способ регулировки температуры тела. Обезьяны, лемуры, грызуны, тюлени — все горбятся, чтобы уменьшить отношение площади поверхности тела к его объему, убавляя потерю тепла, когда вокруг холодно. Если нужно избавиться от лишнего тепла, то стратегии поведения меняются.

Средних размеров африканская антилопа спрингбок, согласно данным ряда ученых, умеет снижать объем получаемого солнечного тепла на впечатляющие 62% — она просто встает или ложится параллельно направлению лучей солнца, заслоняя себя своим же телом. Так что если вы однажды заблудитесь в пустыне, то как вариант можно последовать примеру этой антилопы, чтобы увеличить шансы на выживание. Но от солнца лучше где-нибудь спрятаться. Маленькие животные, обитающие в пустыне, которым терморегуляция дается особенно тяжело и обходится дорого, обычно скрываются от палящих лучей в норках, вылезая из них лишь по ночам.

Зверьки, которым норки не по душе, а прохлады хочется, нашли выход — они обнимают деревья. Австралийские ученые наблюдали у коал удивительное поведение. В жару они проводят много времени на черноствольной акации *Acacia tearmsii*, листья которой не входят в их рацион. Коала обнимает ствол, уютно прижимаясь пушистым пузиком к коре. Когда исследователи измерили температуру акации, причина такого поведения прояснилась: стволы деревьев обычно прохладнее окружающей среды в среднем на 23 °С, тем самым они приманивают коал воспользоваться собой как холодным компрессом<sup>7</sup>.

Если холодных деревьев и темных норок недостаточно, перегретое животное может воспользоваться охлаждением через испарение. Животное может потеть, учащенно дышать и облизываться. Чтобы испарить один-единственный литр воды (неважно, в виде пота или слюны), уйдет около 500 килокалорий. Это очень эффективный способ избавиться от лишнего тепла. Кошки, чтобы остудиться, вылизываются. Мыши тоже. А грифы-индейки испражняются себе на ноги; по мере того как испражнения испаряются, они забирают тепло с тела птицы. Собаки мастерски владеют другой техникой охлаждения испарением — высовывают язык и учащенно дышат. Частота их дыхания увеличивается раз в десять, отчего влага испаряется через нос, трахею, бронхи, пасть и с языка.

Если вам вздумается попробовать подышать по-собачьи, вы быстро поймете, что это очень тяжело. Люди этого просто не умеют; вместо охлаждения мы получим гипervентиляцию легких и упадем в обморок. Животные, умеющие часто дышать, — эндотермные собаки, овцы, коровы, птицы, и даже эктотермные ящерицы — увеличивают вентиляцию, по большому счету, в верхних дыхательных путях, без дополнительного газообмена в легких. Более того, их дыхательная система начинает вибрировать, отчего нагрузка на мышцы снижается.

Как правило, мелкие зверьки — мастера часто дышать, а крупные животные — мастера потеть. Исключениями из этого правила, вероятно, будут только немецкий дог и ирландский волкодав. Хотя они в разы крупнее чихуахуа, но они точно так же часто дышат. Собаки, кстати, тоже потеют, хотя и не сильно, и почти только через нос и подушечки на лапах. Птицы не потеют совсем, что хорошо, потому что с мокрыми перьями было бы тяжело летать.

Эндотермы — не единственные организмы, которые умеют потеть и часто дышать. Жаркая ночь, вы лежите

на кровати, обливаясь потом, а за окном поют цикады... Знайте, эти крохотные эктотермы тоже в этот момент потеют. Такими ночами потеть могут даже лягушки. Хотя у цикад и лягушек нет потовых желез, как у млекопитающих, некоторые виды все-таки выделяют водянистую слизь на поверхность тела.

Конечно, еще лучше охладиться лягушке помогает то, что она вся голая. Наверно кому-то мохнатые лягушки показались бы очень милыми, но есть одна серьезная причина, по которой такой вид на Земле не появился: у эктотермов нет внутренней системы терморегуляции, той самой внутренней печки, но всем этим лягушкам, ящерицам и змеям нужно эффективно обмениваться теплом с окружающей средой, а перья или мех такому обмену не способствовали бы. Когда в доме с центральным отоплением есть надежная теплоизоляция, то затраты на отопление снижаются. У млекопитающих и птиц снижаются затраты на прогрев тела, когда оно хорошо покрыто теплоизоляцией.

Мех и перья — не единственный эффективный способ теплоизоляции у эндотермов. Еще есть жир, через который тепло проходит совсем не так легко, как через мышцы или кожу. Благодаря этому свойству горбы верблюдов выступают в качестве терморегуляторов (будь у них, как у нас, лишь прослойка жира под кожей, они не смогли бы нормально охладиться). Горб — это компромиссный вариант; в нем хранится жир на случай нехватки еды, что в пустыне не редкость. Мех верблюда — тоже рациональный компромисс. Хотя может показаться, что жителю пустыни было бы легче ходить голым, все же некоторые виды меха защищают от изнуряющей жары. Возможно, по этой же причине у нас, людей, — существ в основном безволосых, — сохранились волосы на голове; они защищают нашу самую уязвимую для пекла часть тела.