

КЕННЕТ КАТАНИЯ

# ИСКУСНЫЕ АДАПТАЦИИ

КРОТ-ЗВЕЗДОНОС, ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ УГОРЬ  
И ДРУГИЕ ЧУДЕСА ЭВОЛЮЦИИ



ИЗДАТЕЛЬСТВО  
СИНДБАД

Кеннет Катания  
**Искусные адаптации. Крот-  
звездонос, электрический  
угорь и другие чудеса эволюции**

*[http://www.litres.ru/pages/biblio\\_book/?art=70793743](http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=70793743)*

*Искусные адаптации. Крот-звездонос, электрический угорь и другие  
чудеса эволюции.  
ISBN 978-5-00131-557-5*

### **Аннотация**

Многие животные обладают экстраординарными способностями: например, у крота-звездоноса на морде есть сверхчувствительные отростки, которые помогают мгновенно находить добычу, а электрический угорь парализует жертву ударом тока. Биолог Кеннет Катания рассказывает о некоторых из самых удивительных созданиях природы. Он проливает свет на загадочное и жутковатое поведение щупальценосных змей, крошечных землероек, изумрудных ос и других животных и показывает, как изучение самых странных существ дает понимание эволюции и как научные открытия могут сопровождаться приключениями и весельем.

Катания объясняет, для чего звездоносу нужны столь странные отростки на морде и что это говорит нам о работе мозга в целом. Он показывает, как щупальценосная

змея прибегает к коварству, заставляя рыбу заплывать прямо ей в пасть, как электрический угорь использует электричество для «дистанционного управления» другими животными и как изумрудные осы зомбируют тараканов. Он раскрывает тайну «заклинания червей» (традиционного способа выманить дождевых червей из почвы), объединив усилия с профессиональными заклинателями. Катания говорит о важности непредвзятого подхода к научным исследованиям, отдает должное вкладу ученых-любителей и объясняет, что невероятными скрытыми способностями на самом деле обладает большинство животных.

Эта книга – захватывающее погружение в грандиозные замыслы природы.

# Содержание

Пролог	6
1	13
Магия числа три	17
Львы, тигры и кроты	21
Пойди туда – не знаю куда	26
Ночь в зоопарке	37
Книга, саламандры и семинар	44
Калифорнийское звено	48
2	53
Первый шанс	60
Увидеть – значит поверить	66
Нейрокомната смеха	71
Жуткое звездодействие[7]	76
Развитие, эволюция и гольф-клуб	80
Конец ознакомительного фрагмента.	86

# Кеннет Катания Искусные адаптации Крот-звездонос, электрический угорь и другие чудеса эволюции

*Посвящается Лиз – моей идеальной  
читательнице, лучшей подруге, сообщнице и матери  
волков*

Kenneth Catania

GREAT ADAPTATIONS

Copyright © 2020 by Princeton University Press

Published by arrangement with *Princeton University Press*  
*and Synopsis Literary Agency*

Russian Edition Copyright © Sindbad Publishers Ltd., 2023

*Правовую поддержку издательства обеспечивает юриди-  
ческая фирма «Корпус Права»*

© Издание на русском языке, перевод на русский язык,  
оформление. Издательство «Синдбад», 2023

# Пролог

Если вы спросите меня, за что я так люблю свою работу, я сразу вспомню первую сцену фильма «Принцесса-невеста». В ней дедушка (Питер Фальк) навещает больного внука (Фред Сэвидж) и хочет почитать ему книгу. Мальчик скептически спрашивает, есть ли там что-нибудь о спорте. «Шутишь? – отвечает герой Питера Фалька. – Битвы, пытки, месть, погони, великаны, монстры, исчезновения, настоящая любовь, чудеса!» О биологии, которой посвящена эта книга, я могу сказать то же самое. Однако здесь есть и кое-что еще: удары током, зомбирование, хитроумные уловки и древние легенды! С настоящей любовью, правда, трудновато; но я бы сказал, что это упущение сполна компенсируется красотой животных, которых я старательно фотографировал (снимки представляю на ваш суд). Возможно, мне не стоило бы обещать вам и чудеса – в конце концов, я все-таки ученый. И все же, если и существует одно слово, подходящее для описания моих эмоций от процесса открытия и от тех историй, которые я собираюсь рассказать, – это слово «непостижимо».

Я вовсе не преувеличиваю. Я тысячи часов провел за изучением мозга и поведения самых необычных животных и считаю себя специалистом в этой области. И всякий раз, исследуя новый вид и выдвигая предположения, что и как это животное умеет, я ошибаюсь. Ошибаюсь в лучшем смысле сло-

ва: животные всегда оказываются способны на нечто гораздо более неожиданное и интересное, чем я думал.

Эта книга – мой личный список неожиданных и интересных открытий, которые мне удалось совершить за свою карьеру. Эти открытия представлены в хронологическом порядке, начиная с моих первых шагов в Смитсоновском национальном зоопарке в Вашингтоне. Я работал там еще в студенчестве: ловил и изучал загадочных кротов-звздонос – маленьких млекопитающих с мясистыми розовыми отростками вокруг носа. Как и в любой таинственной истории, на пути к отгадке было множество ложных шагов и тупиковых направлений, но все это лишь подогревало мое любопытство. Что представляет собой звезда и для чего она нужна? Как и почему такая экстравагантная структура развилась в процессе эволюции? После множества неудачных попыток ответить на эти вопросы я сдался. Но как детектив, которого не отпускает нераскрытое дело, я вернулся к звездоносу в магистратуре, где мы с моим научным руководителем и другими учеными в итоге разгадали эту тайну. Мы сделали множество потрясающих открытий, связанных с мозгом и поведением звездоноса, не говоря уже о том, что описали вероятные пути и причины эволюции звезды. А попутно я обнаружил, что у нас, людей, есть пара удивительных общих черт со звездоносами.

Благодаря звездоносам я полюбил разгадывать загадки биологии и изучать самые неожиданные адаптации. Эти жи-

вотные вдохновили меня на исследование других необычных созданий: щупальценосных змей, болотных бурозубок, электрических угрей, а также зомбирующих паразитоидов – и даже людей с их магическими, на первый взгляд, ритуалами. И представьте себе – электрические угри, например, оказались одними из самых недооцененных существ на планете! С учетом того, какими мифами окружены эти рыбы, способные вырабатывать электричество напряжением в сотни вольт для защиты или нападения, казалось бы, что тут можно было недооценить? Веками считалось, что животному с таким смертоносным арсеналом не требуются изощренные уловки, но оказалось, что ток – это только половина уравнения. Вторая его половина – это, скажем так, «способ доставки». Хитроумные действия угря позволяют ему использовать электричество так, что по эффективности оно может сравниться с оружием из научной фантастики. (Поверьте, я испытал это на себе.) Этот пример показывает, что даже животные, которых мы изучаем столетиями, полны сюрпризов. А еще он преподает научный урок: причудливые анатомические структуры дают основания ожидать и причудливого поведения.

Разумеется, в этой книге есть много чего еще. Если вам интересно узнать о хищнике, устраивающем засаду так, будто он способен предсказывать будущее, или о самых эффективных способах спастись от превращения в зомби – читайте дальше. Каждый из описанных здесь видов – удивительное

творение эволюции. Но изучение этих животных позволяет не только детально описать их адаптации, хоть они и прекрасны сами по себе. Как одна картина в музее может многое рассказать нам о художнике, так отдельные системы адаптаций позволяют понять общие принципы поведения животных, организации их мозга, а также развития и эволюции. Это важная и зачастую недооцениваемая научная идея.

Объясню эту мысль на примерах. Базовое представление о том, как нервные клетки мозга проводят сигналы, было получено при изучении кальмаров, у которых в процессе эволюции развились гигантские нервные волокна, позволяющие спастись от хищников бегством с необычайно высокой скоростью. Результатом исследования стал серьезный прорыв в понимании принципов работы мозга всех животных (и Нобелевская премия его авторам<sup>1</sup>). Механизм передачи сигналов между нервными клетками посредством электрических синапсов был выявлен при изучении обычных речных раков. Нейроны этих животных проводят сигналы очень быстро, но из пятой главы этой книги вы узнаете, что такой скорости не всегда хватает для спасения от хищника. В свою очередь, яды хищников, например змей и улиток, стали потенциальными источниками лечебных средств. Лекарства на основе некоторых ядов уже используются для купирования

---

<sup>1</sup> В 1963 году Алан Ходжкин и Эндрю Хаксли получили Нобелевскую премию по физиологии и медицине за описание ионных механизмов возбуждения и торможения в нервных клетках. – *Прим. пер.*

хронической боли, а составы многих других ядов сегодня исследуют для возможного применения при инсульте и онкологических заболеваниях. Даже упомянутый выше электрический угорь уже не раз двигал науку. На рубеже XVIII и XIX веков он вдохновил итальянского ученого Алессандро Вольту на изобретение батарейки, а спустя много лет именно электрический угорь помог выделить ключевую молекулу для практически всей мышечной активности в организме – ацетилхолиновый рецептор. Продолжать можно до бесконечности. Короче говоря, куда ни ткни, всюду найдется важное научное достижение, ставшее результатом изучения самых разных животных, которые приспособились к тем или иным условиям. Дело в том, что все животные играют по одним и тем же правилам эволюции. И в результате нас окружает то, что Ричард Докинз назвал «самым грандиозным шоу на Земле». Одна из моих целей – показать вам несколько потрясающих номеров из этого шоу.

Но у меня есть и другая цель. Я надеюсь, что из этой книги читатель узнает что-то новое не только о ее прекрасных героях, но и о процессе научного открытия. Мой интерес к тайнам не уникален, он – часть человеческой природы. Не столь важно, где появилась необычная звезда – на небе или на морде крота, – важно то, что все необычное и нестандартное всегда служит своего рода приманкой, заставляющей пристальнее взглянуть. Со временем я понял, что важна не таинственность или уникальность сама по себе, а именно пристальный

взгляд. Я говорю об этом потому, что чаще всего самое интересное в животном как раз не бросается в глаза в начале исследования. Более того, по моему опыту, даже самые простые на первый взгляд виды способны совершать нечто удивительное (помните об этом, когда будете читать о «примитивной» землеройке, «обыкновенном» кроте или рядовом таракане). Каждый эксперимент напоминает мне разглядывание чего-то в бинокль. Вы видите что-то вдаль и берете бинокль, чтобы рассмотреть получше. Но вы никогда не знаете, что именно окажется в фокусе и что еще попадет в ваше поле зрения.

Сегодня студент-биолог может отнестись к этим рассуждениям скептически: как-никак, ученые уже веками «всматриваются» в биологические системы. Откуда в наши дни взяться новым открытиям? Отчасти ответ заключается в том, что я называю чудесами современных технологий. Иными словами, бинокли стали *гораздо* совершеннее. Точно так же, как космический телескоп «Хаббл» в прямом и переносном смысле изменил наш взгляд на Вселенную, аналогичные технологии проложили путь к новым открытиям в области нейробиологии, эволюции и поведения животных. Отличное сейчас время, чтобы быть ученым.

И тут мы подходим к еще одной причине появления этой книги. За время исследований у меня было столько приключений! Но вы никогда не узнаете о них из научных статей с описанием результатов. Ученые пишут в стиле Спока из

«Звездного пути», излагая факты от третьего лица, используя пассивный залог и не допуская эмоций. Для этого есть веские основания: в научной литературе описание должно быть емким, а стиль – единообразным. Но такой текст создает неверное представление о работе ученых. Он не отражает ни предысторию исследования, ни ощущение чуда, которое испытывает ученый, когда тьма неведения рассеивается и природа раскрывает свои тайны. Поэтому еще одна моя цель – поделиться этими переживаниями. Надеюсь, мне удастся изменить ваше представление о том, как совершаются открытия и каково это – проводить исследование. А еще я очень надеюсь, что, познакомившись с несколькими замечательными животными, вы убедитесь, что природа гораздо интереснее, чем мы можем себе представить, и ею нужно дорожить.

*P. S.* Я пишу о том, что кажется самым необычным лично мне. Но вы вправе вынести самостоятельное суждение: возле некоторых иллюстраций в книге есть QR-коды, и если вы наведете на них камеру смартфона, то сможете посмотреть снятые мною видео и понаблюдать за поведением животных.

1

# Тайна звезды



«Загадка, завернутая в тайну и помещенная внутрь головоломки», – так в 1939 году Уинстон Черчилль описал непостижимые закулисные действия советского правительства. Но этими же словами вполне можно описать и крота-звездоноса, одно из самых необычных животных, которое когда-либо ступало по Земле, а точнее – рыло в ней тоннели. В звездоносе странно буквально все: это крот, но он любит плавать; несмотря на высокую скорость обмена веществ, он обитает в самых холодных областях Северной Америки и не впадает в спячку; всю свою жизнь он роется в грязи, которая совершенно не липнет к его блестящей шерстке; среди его врагов – совы, ласки и другие хищники, но для поддержания популяции ему достаточно производить потомство всего один раз в год. У него необычные для крота зубы, а передние лапы напоминают лопаты с когтями. Но самое удивительное – то, что не дает отвести от него взгляд, – это нос. Если когда-нибудь вам повезет встретиться со звездоносом, не стесняйтесь и разглядывайте в свое удовольствие: все равно он вас не увидит.

Я просто обожаю этих животных, и они сыграли огромную роль в моей научной жизни. Оглядываясь назад, я поражаюсь тому, как часто я преодолевал трудности только благодаря случайным встречам и удаче. Некоторые из таких случаев я опишу в этой книге, поскольку они имеют прямое отношение к моим открытиям в области поведения животных, эволюции и нейробиологии. Ученый должен уметь вы-

водить закономерности из самых необыкновенных частных случаев, и исследование анатомии звездноноса – яркое воплощение этого тезиса. Крот почти слеп, но его изучение привело к более глубокому пониманию устройства зрительной системы и мозга млекопитающих. И хотя его звездобразный нос кажется совершенно уникальным, он помогает выявить взаимосвязи между развитием и эволюцией и напоминает, что иногда недостающие эволюционные звенья можно обнаружить... прямо под носом. Изучая это удивительное создание, я научился многим вещам. Я научился быть ученым. И нет никаких сомнений, что именно звезднонос привил мне любовь к разгадыванию биологических загадок.

Для начала надо бы объяснить, что вообще побудило меня заняться маленьким кротом со странной мордой. Проведу аналогию с математикой. В математике есть легендарные нерешенные задачи. Самые известные из них – так называемые задачи тысячелетия. Если вы первым решите любую из этих семи задач<sup>2</sup>, то получите миллион долларов, не говоря уже о славе и признании. В биологии все не так, потому что не всегда понятно, в чем именно состоит задача, и редко бывает только один правильный ответ. И все же звезднонос остается нерешенным биологическим «уравнением» с момента его первого описания в начале XIX века. Это живое, дышащее воплощение вопроса – точнее, множества во-

---

<sup>2</sup> Одна из них уже решена российским математиком Григорием Перельманом (он доказал гипотезу Пуанкаре), так что осталось всего шесть. – *Прим. ред.*

просов. Что такое звезда? Дополнительная лапа, рецептор – или и то и другое? Она нужна, чтобы копать, чтобы нюхать – или для каких-то экстравагантных брачных игр? Почему такой звезды нет ни у одного другого млекопитающего? Как она сформировалась в процессе эволюции? Как она формируется в процессе внутриутробного развития? Какие способности она дает кроту, если вообще дает? Биологи задавали эти вопросы на протяжении многих десятилетий. Чтобы найти ответ, не нужны глубокие познания в области математического анализа или дифференциальных уравнений. Но нужен звездonos, а вот его найти не так-то просто.

## Магия числа три

Итак, с чего же начались мои отношения со звездоносом? Как это часто бывает, тут нити тянутся из детства. Сколько себя помню, родители поощряли мою одержимость животными всех видов и размеров. Приведу всего два примера из тысячи. Как-то раз пропал мой домашний американский уж, и я не мог его найти, как ни старался. А через несколько дней мы обнаружили его в папином аквариуме поедающим гуппи. Вскоре после этого сбежала и моя крысиная змея длиной больше метра – прямым под бок отдыхающей маме. Конечно, змея просто искала тепла. Родители оставались совершенно невозмутимы. Вернуть обеих змей в клетки меня попросили тем же тоном, каким напомнили бы поставить молоко в холодильник. Да, мне очень повезло.

Первое знакомство со звездоносом произошло, когда родители купили нам с братом книгу «Странные животные» (*Animal Oddities*). Мы со смехом рассматривали удивительные морды зверей, особенно носача и молотоголового крылана. Но над звездоносом мы не смеялись – *настолько* странно он выглядел. Я до сих пор помню иллюстрацию со всеми этими жуткими отростками вокруг носа.

Это раннее воспоминание пригодилось мне, когда я столкнулся со звездоносом во второй раз. Я тогда проходил интенсивное обучение, определившее всю мою карьеру: мне

было десять лет, а учебной аудиторией служили леса, ручьи и озера Колумбии, штат Мэриленд. Я постоянно искал живых существ, уже окончил курс по насекомым и переключился на змей с черепахами, а дополнительно специализировался на кристаллах кварца. В тот день я шел в поисках кристаллов по берегу ручья, перепрыгивая на каждый обнаженный участок песка или камней в надежде увидеть сверкающие грани. И вдруг прямо в центре россыпи битого кварца я увидел трупики маленького животного, практически выставочный экспонат. Это был он – самый странный из странных, крот-звездонос со всеми его мясистыми наростами на морде. Я был потрясен. Не мертвым животным – нет, это в лесу обычное дело. Меня поразило тот факт, что существо, занимавшее почетное место среди экзотических обезьян, удивительных летучих мышей и гигантских муравьедов, обитало практически у нас на заднем дворе.

Я рассказал о своем чудесном открытии маме, и мы взяли ее справочник по млекопитающим. Первым делом я проверил ареал обитания звездоноса. Не то чтобы я мог его с кем-то перепутать, но в глубине души я надеялся оказаться первооткрывателем. Только представьте себе новостные заголовки, если бы до этого звездоноса видели лишь в дождевых лесах Амазонии! Оказалось, что этот крот обитает на востоке Северной Америки, от Дымчатых гор в штате Теннесси на юге до восточных районов Канады на севере (это, похоже, было их любимое место). Штат Мэриленд целиком

входил в ареал, так что сенсации не вышло. Я очень удивился тому, что это похожее на мышь животное вовсе не грызун: кроты и землеройки относятся к другому отряду – так называемым насекомоядным<sup>3</sup>: они питаются насекомыми и другими беспозвоночными. Я также узнал, что звездonoсы предпочитают болотистые места и ведут полуводный образ жизни, то есть плавают и ныряют в водоемах, охотясь за добычей. Вот почему я нашел звездonoса посреди ручья: крот не упал в воду и не утонул, как я сначала подумал. Он жил (и, по-видимому, погиб) в воде. В общем, я добавил это новое существо в свой список наблюдений и с тех пор всегда был начеку, особенно когда осматривал заболоченные участки выше по течению. Но тот звездonoс так и остался единственным найденным мною в Колумбии.

Третья встреча произошла, когда я был студентом и изучал зоологию в Мэрилендском университете. При всей очевидности выбора специализации я столкнулся с проблемой: не так много курсов посвящалось разнообразию животных или их поведению – и уж совсем мало было возможностей работать с животными напрямую. Я откровенно скучал. Пытаться сосредоточиться на чем-то скучном – это как сидеть на диете: надолго вас не хватит.

Кроме того, меня отвлекала уж *слишком* захватывающая подработка. Я скакал на лошадях (и падал с них) на фести-

---

<sup>3</sup> Ранее – расформированный отряд *Insectivora*; ныне кротов и землероек принято относить к отряду *Eulipotyphla*. – *Прим. науч. ред.*

валях Ренессанса, получал 150 долларов за выходные, и это было очень неплохо для 1980-х. Поначалу было забавно, но в этом деле часто случаются травмы, и в какой-то момент я понял, что это не мое. Чем мне действительно хотелось заниматься, так это какими-нибудь настоящими, захватывающими исследованиями в биологии.

Примерно в это время мой отец познакомился с доктором Эдвином Гульдом, главным куратором отдела млекопитающих Смитсоновского национального зоопарка в Вашингтоне. Их встреча была не случайной: мой отец – профессор психологии, специализирующийся на обучении (докторскую степень он получил под руководством известного психолога Берреса Скиннера), и его пригласили на неформальную встречу исследователей поведения животных, где был и доктор Гульд. Тогда он как раз искал волонтера для ухода за животными, а при наилучшем раскладе – и для помощи в проведении исследований в зоопарке. Работать предстояло только с одним млекопитающим – звездносом.

## Львы, тигры и кроты

Представляю, как впечатлился бы студент юридического факультета, будучи приглашенным на собеседование перед стажировкой в величественную штаб-квартиру фирмы с именами партнеров, высеченными над входом. Антураж моего собеседования был совершенно иным, но для начинающего биолога спуск в тайные комнаты зоопарка под вольером с тиграми и львами стал моментом исключительной важности. Меня встретили у входа и по круговому коридору провели в кабинет, расположенный практически под землей, с выходящими в вольер окнами под потолком. Доктор Гульд представился и предложил мне присесть на диван напротив его стола. Я не мог не обратить внимания на то, что окна, за которыми должны были виднеться дикие кошки, были закрыты кусками черного картона. Доктор Гульд верно истолковал мой взгляд и пояснил: «Трудно сосредоточиться на работе, когда вместо этого можно смотреть на зверей».

Возможно, дело и правда было в этом. Но вскоре после собеседования я узнал, что не так давно в Хьюстонском зоопарке амурский тигр пробил окно, вытащил через него зрителя и убил его<sup>1</sup>. Зритель рано пришел на работу, поэтому нападения никто не видел. Предполагают, что тигр среагировал на движение в окне и атаковал.

Доктор Гульд никогда не упоминал об этом инциденте.

Мы сосредоточились на мелких млекопитающих, которые не пытались нас съесть. Они жили в отдельном павильоне. Доктор Гульд гордился тем, что Смитсоновский зоопарк – единственный в мире, где есть звездоносы. Сложность заключалась в том, что звездоносы живут всего несколько лет и не размножаются в неволе, то есть популяцию нужно было постоянно пополнять извне (не только ради коллекции, но и для исследований).

«Я умею их ловить, но у меня нет времени, – объяснил доктор Гульд. – Есть один парень, Билл Макшей, он ловил их в Пенсильвании и привозил сюда, но сейчас он тоже слишком занят. Проблема в том, что найти звездоносов очень сложно. Нужно уметь распознавать места их обитания и находить их тоннели».

Когда я рассказал ему, как нашел мертвого крота, у него тут же загорелись глаза. Он тоже жил в Колумбии и хорошо знал эти места. Мы сравнили наши «полевые заметки», и, хотя мои были всего лишь воспоминаниями десятилетнего ребенка, я точно помнил, где обнаружил звездоноса и как выглядела среда его обитания. А еще я прочесал болота выше по течению и нашел там пятнистых черепах. (Тогда я еще не знал, что в Мэриленде звездоносы и пятнистые черепахи часто живут бок о бок.)

Вероятно, я получил работу именно из-за той истории. Пусть я и не нашел тогда еще одного крота, но точно приложил больше усилий и подобрался ближе к цели, чем любой

другой мальчишка десяти лет. Так что при должной тренировке я вполне мог бы его поймать – правда, уже не в Колумбии, потому что так хорошо изученные мною болота попали под застройку. Ближайшим многообещающим местом выглядел север Пенсильвании. Если бы мне удалось наловить там кротов, чтобы потом наблюдать за ними в зоопарке, да еще и проводить исследования, я, так сказать, убил бы одним выстрелом трех зайцев.

Я был взбудоражен не только перспективой работы в поле: намечался еще и исследовательский проект, тема которого звучала как что-то из области научной фантастики. Как специалист по млекопитающим, доктор Гульд всегда интересовался загадочной кротовьей звездой, и у него родилась одна гипотеза. Что, если звезда – нечто вроде радара, распознающего электрические поля? Поначалу мне это казалось невероятным. Но потом он рассказал мне об электрорецепции, и я понял, что у животных существуют особые чувства для восприятия окружающего мира, о которых я не знаю ровным счетом ничего.

Электрорецепция лучше всего изучена у акул<sup>2</sup>. Они способны распознавать электрическое поле напряженностью 0,00000001 вольта на сантиметр – это в шесть миллионов раз меньше напряженности поля, которое создает пальчиковая батарейка, если погрузить ее в стакан воды. А человек не ощущает этого поля, даже когда держит батарейку в руках! Зачем же это чувство акуле? Скорее всего, вы уже дога-

дались: чтобы найти вас и съесть. Вспомните обычную сцену из какого-нибудь фильма: пациент лежит в больничной палате (скажем, после нападения акулы), а рядом с койкой пищит кардиомонитор. Издаваемые им звуки – не что иное, как электрокардиосигналы, которые считываются с сердца электродами, прикрепленными к грудной клетке, а затем поступают в усилитель и динамик. И это только один из множества электрических шумов, которые издают животные.

Электрорецепция развита у многих рыб, но сенсацией в свое время стало открытие этого типа восприятия у утконоса<sup>3</sup>. Первыми способностью утконоса подобно акулам обнаруживать объекты по генерируемым ими электрическим полям описали Хеннинг Шайх и его коллеги. Чтобы выяснить, где именно обрабатывается информация об электрических полях, они записали сигналы мозговых клеток утконоса. Результаты поражали: по сути, исследователи открыли у млекопитающих «шестое чувство». Благодаря этой работе ученые оказались на обложке *Nature*, самого престижного научного журнала – того самого, в котором Уотсон и Крик описали структуру молекулы ДНК. Новость об этом открытии доктор Гульд услышал по радио, когда ехал в машине и размышлял о звездносах. Что, если это и есть ответ на давнюю загадку звезды? Гипотеза была смелая, но не лишенная смысла.

В общем, от предложения было невозможно отказаться. Оплаты не предполагалось, но меня это устраивало. Я стал новым «кротосмотрителем» в Смитсоновском зоопарке. Бы-

ла только одна загвоздка: все зависело от того, удастся ли мне наловить звездоносков. Что могло пойти не так?

## **Пойди туда – не знаю куда**

Предположим, у вас во дворе живут кроты (может быть, даже и предполагать не надо). Сумеете поймать одного? Возможно, хоть это будет и непросто. Кроты слышат даже самые тихие шаги и особенно настороженно относятся к звукам, сопровождающим копание земли. Каждый сантиметр подземных тоннелей они знают как свои когтистые пять пальцев и избегают поврежденных участков. У них подготовлены пути отхода из основных тоннелей и пути эвакуации из путей отхода. Если загнать крота в угол, он прокопает короткий тоннель и засыплет вход. Исчезнет, как фокусник, и вы никогда не догадаетесь, что зверек затаился в нескольких сантиметрах от вас. Кроме того, в крови крота циркулирует особый гемоглобин, который позволит ему продержаться в таком убежище при нехватке кислорода и высокой концентрации углекислого газа до тех пор, пока хищнику (или биологу) не надоест ждать. В общем, крота тяжело поймать, даже если входы в его тоннели четко обозначены на идеальном газоне.

Ну а звездоносы вообще не живут в пригородах. Они обитают в сырой илистой почве болот, и их тоннели могут скрываться в топких зарослях где угодно. Хотя звездоносы обитают на большей части северо-востока США и не находятся под угрозой исчезновения, найти их крайне сложно. Отча-

сти это связано с тем, что их норы не видны на поверхности. Но есть и еще одна причина: в болотистых местах обитает множество других мелких млекопитающих, и даже если вы обнаружите тоннель, то никогда не узнаете наверняка, кто его вырыл и кто им пользуется.

Я имел лишь смутное представление обо всем этом, когда отправился в Пенсильванию на арендованном фургоне со спальным мешком и холодильником, доверху забитым дождевыми червями (ими я собирался кормить голодных кротов). Я был в том возрасте, когда сон считается пустой тратой времени, а дрянной фастфуд – нормальной едой. Взял пару сумок с продуктами, резиновые сапоги и какую-то старую одежду, которую не жалко было выбросить. Решил потратиться на карманные фонарики – в туманном ночном лесу одних горящих глаз недостаточно. План был прост: познакомиться с Биллом Макшем и научиться ловить звездносов.

Мы встретились в очень красивом месте – среди сочной зелени, у небольшого ручья на фоне лесистых холмов. Я выпрыгнул из фургона и сразу представил, как мы поднимемся на этот холм под журчание ручья, озаряемые льющимся сквозь листву солнечным светом... Билл кратко описал признаки присутствия звездносов, и я понял, что все будет проще, чем мне казалось.

После вводных инструкций Билл велел мне следовать за ним, но направился вовсе не к живописному холму. Вместо

подъема в солнечных лучах меня ждал спуск по склону к грязи и кочкам заболоченной низины недалеко от дороги. Я быстро понял, что ловля кротов не предполагает изящные, как у лесных эльфов, прыжки по камням вдоль чистых горных ручьев. Мы больше напоминали толкиновского Голлума: ползали на коленях по грязи и копались в ней голыми руками в компании личинок и дождевых червей. Я был удивлен, но вовсе не разочарован. Мне было все равно, где вести поиски, – ведь я выполнял важное задание Национального зоопарка.

Я ловил каждое слово Билла, но он был на удивление лаконичен. Он объяснил, как выглядят норы звездносов, где они их роют, как устанавливать и проверять ловушку Шермана (небольшая металлическая коробка с дверцей на пружине), как часто проверять ловушки (каждые три-четыре часа, днем и ночью) и как их очищать (мыть в реке). Сказал еще, что ловушки довольно дорогие, а их было около сотни. Все казалось вполне выполнимым, ведь он уже давно изучил территорию, нашел ходы и успешно ловил звездносов. Но тут он сообщил мне шокирующую новость: земля эта принадлежит родственникам его жены, и видеть здесь чужих они не хотят. Так что я должен забрать ловушки и поискать себе другое место. Но как найти это другое место?.. Короче говоря, через полчаса после начала урока меня отправили восвояси – с картой Пенсильвании, полным припасов фургоном и ловушками.

Многие любят вспоминать развилки на своем жизненном пути – как правило, в метафорическом смысле. В моем случае развилки были вовсе не метафорическими: я понятия не имел, какая из дорог приведет меня к таинственному звездоносу. Конечно, это не было вопросом жизни и смерти, но все же я оказался на старте невероятного исследовательского проекта в самом начале моей (вожделенной) карьеры. Все зависело от выбора маршрута.

Не буду даже пытаться описать – да и не очень-то помню – те сотни миль, которые я проехал, одним глазом глядя на дорогу, а другим – на пейзажи за окном. Северная Пенсильвания – это восхитительное сочетание холмов и долин, и в каждую долину стекаются многочисленные ручьи и речушки. Идеальная география для формирования обширных болот, а значит, и для жизни звездоноса. И все же существовало множество преград. Самые перспективные места зачастую оказывались слишком далеко от дороги, а пускаться в долгий пеший поход было неразумно. Более доступные территории непременно были утыканы знаками «Проход запрещен». Ну а идеальные принадлежали национальным паркам, где мое разрешение на отлов не действовало.

Наконец я увидел живописную маленькую долину с безупречным на первый взгляд болотистым ландшафтом. Она находилась недалеко от дороги и всего в паре миль от парка, где я мог ночевать в своем фургоне. Была только одна проблема: земля прилегала к частному коттеджу, а смотри-

тели парка предупредили, чтобы я ни в коем случае не приближался к чужим владениям. Они указали только на один опасный участок, но любая история с упоминанием дробовика глубоко отзывается в душе и заставляет соблюдать особую осторожность. Так что на всякий случай я парковался на другом конце долины и начинал свои поиски оттуда, обходя коттедж по большой дуге.

Долина выглядела многообещающе: обилие нор и многочисленные следы обитания мелких млекопитающих в траве. В некоторых тоннелях я даже заметил наложения разных отпечатков миниатюрных лапок. Весь следующий день я рыл ямы, расставлял ловушки и проверял их. Эти слова описывают мой день так же точно, как слова «пару часов поплавал, покатался на велосипеде и побегал» описывают триатлон.

Интересно стало почти сразу. Каждые несколько часов я находил минимум десятков сработавших ловушек и между делом прошел ускоренный курс по мелким млекопитающим. Каждую ловушку я открывал в ведре, надеясь, что в него выпадет звездонос. Других животных я выпускал на волю. Первым уловом были полевки с большими глазами и острыми резцами. За ними последовала короткохвостая бурозубка с серо-коричневыми зубами и ядовитой слюной. Потом водяные бурозубки – с длинными хвостами и пушистыми лапками-веслами. Я выпустил их у воды и поразился тому, как ловко, по-рыбьи, они скрылись в подводных зарослях на другой стороне ручья. Еще были невероятно крошечные маско-

вые бурозубки весом в несколько граммов, как монетка. Они с невероятной скоростью взбегали по моей руке и исчезали в траве, прежде чем я успевал что-то понять.

Одна из ловушек сильно раскачивалась и была тяжелее прочих (сами по себе они чуть меньше кирпича). Приоткрыв дверцу, я разглядел только яростный комок меха. Я аккуратно опустил ловушку в ведро, открыл ее и отступил. Комок раскрылся и оказался прекрасным созданием с озорной и умной мордочкой. Ту ловушку я установил в заросшем травой месте, поскольку увидел там наполовину съеденный трупики полевки; а это, безусловно, был главный подозреваемый – горноста́й. Зверек изучил ведро, вскочил на ободок, сделал пару кругов, прыгнул и скрылся в высокой траве.

И вот наконец это случилось. Я поднял очередную ловушку, приоткрыл дверцу и увидел розовую мясистую звезду. Это было чудо – даже два чуда. Во-первых, я поймал это легендарное животное. Во-вторых, он *существовал* – этот крот, совершенно не похожий на прочих мелких обитателей болот. Я спешно наполнил пластиковый контейнер влажной землей и листьями, щедро насыпал туда дождевых червей. Потом аккуратно открыл ловушку и замер, наблюдая, как движениями мощных передних лап (словно плывая брассом) звездонос за пару секунд зарылся в землю.

Так все и происходило каждые пару часов, с небольшими вариациями, на протяжении нескольких дней. Правда, был еще один неожиданный подарок. Между проверками лову-

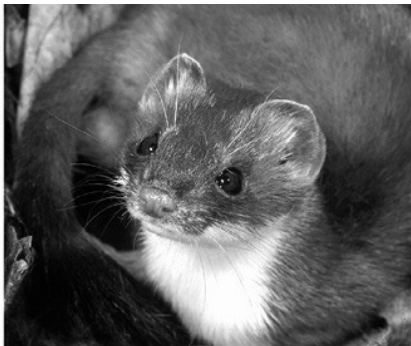
шек оставалось совсем немного времени, поэтому я решил, что нет смысла каждый раз возвращаться в парк: делать там все равно нечего, кроме как сидеть на лавочке. Весь день я проводил у водоемов, наблюдая и прислушиваясь. Возле одного из них я нашел старую спутанную леску, крючок и другие рыболовные принадлежности, и мне впервые за десять лет удалось порыбачить – надо сказать, весьма успешно. Я устраивался поудобнее на больших мягких кочках и засыпал в лучах солнца, а просыпался от шагов оленя по склону холма. Я наблюдал, как лесные черепахи медленно пробираются через кустарник. Время остановилось, и я больше не думал о рутине; о предметах, которые буду изучать осенью; о курсе, который я согласился преподавать; об изматывающих поездках из зоопарка в университет и обратно по пробкам на кольцевой дороге; о грядущих вступительных экзаменах в магистратуру (и о моих скудных познаниях в ботанике). Я просто жил настоящим в окружении природы.

Примерно за неделю я поймал пять звездоносиков – больше, чем ожидал доктор Гульд при наилучшем раскладе. Пора было возвращаться в Вашингтон. Я, как обычно, припарковался у дальнего конца долины, собрал все ловушки, промыл их в ручьях и погрузил снаряжение в фургон.

В последний раз я медленно ехал мимо моей долины, оглядывая ее с совершенно новыми мыслями. Одними и теми же подземными ходами здесь пользуются млекопитающие порядка десяти разных видов. Несомненно, они регу-

лярно пересекаются друг с другом. Что происходит, когда крот встречает землеройку? Или когда встречаются разные виды полевок? Я видел кровавые последствия знакомства полевки с горностаем – но стал бы горностаем есть землеройку? (Землеройки, как скусны, при испуге выделяют секрет с резким запахом.) Окидывая долину прощальным взглядом, полным признательности, я пытался представить царящую здесь социальную иерархию и отношения между хищниками и жертвами. А потом я кое-что заметил. Возле того самого коттеджа был припаркован пикап.

Зайти, познакомиться? У меня были все основания поостеречься. Всегда немного неловко приближаться к незнакомцу на его территории, и тем более странно сначала проезжать мимо по его дороге, а потом оставлять машину и возвращаться обратно через ручей, чтобы оказаться на нормальном для разговора расстоянии (фургон у меня был не полноприводный, так что подъехать прямо к дому я не мог). Мое воображение рисовало и кое-что пострашнее. По меньшей мере один житель этих краев не жаловал незнакомцев, а если вспомнить, что в местных коттеджах обитали сплошь охотники и рыболовы, у этого человека, несомненно, тоже имелось ружье.



1.1. Млекопитающие пенсильванских болот. По часовой стрелке, начиная с верхнего левого изображения: короткохвостая бурозубка, горностай, масковая бурозубка, звезднонос в тоннеле, водяная бурозубка и луговая полевка, выбирающаяся из ловушки Шермана

И все же я не мог упустить такую возможность. Я хотел выяснить, смогу ли вернуться сюда, чтобы без опасений исследовать это особенное место. И, раз уж выпал такой случай, я хотел предупредить всех жителей этих уединенных коттеджей (особенно ребят с винтовками), что парень, бродящий с фонариком по ночному лесу, совершенно безобиден. Я притормозил, свернул на грунтовую дорогу и припарковался максимально близко к ручью, отделявшему меня от коттеджа.

Я осторожно перебрался через ручей, стараясь не промочить ботинки, пересек небольшую поляну и предстал перед человеком, выгружавшим из внедорожника рыболовные снасти. По выражению его лица я сразу понял, что кое-чего не учел. Но не того, о чем вы могли бы подумать, а ровно обратного. Я целую неделю жил под открытым небом, спал на склоне холма, не брился и не мылся, на мне были потрепанная одежда и грязные ботинки. За это время я ни разу не смотрелся в зеркало и весь оброс. Я так волновался из-за этого коттеджа, навоображал себе всякого – но теперь именно *мой* вид был реальным поводом для беспокойства, и тут даже воображения никакого не требовалось. Все это я прочел в широко открытых глазах рыбака.

К счастью, я догадался произнести магическую фразу: «Здравствуйте, я работаю в Национальном зоопарке». Не каждый день такое услышишь – как и то, что зоопарку очень

нужны фантастические существа с наростами на морде, которые живут с вами по соседству. Новые вводные превратили меня из сумасшедшего бездомного в переутомленного студента-биолога. Приятнее всего, конечно, было то, что я мог показать хозяину живых «инопланетян» – вот же они, в моем фургоне.

Мужчину звали Кармайн, и познакомиться с ним было правильным решением. Коттедж был рыболовным (и покерным) убежищем Кармайна. Он много знал о местной живности, но никогда не встречал звездоносов и даже не слышал о них. Он считал себя «любителем дикой природы» и поразился тому, что десятилетиями ходил над тоннелями звездоносков, не догадываясь об их существовании. Кармайн был дружелюбен, и ему хотелось побольше разузнать о мелких зверьках, живущих рядом с его коттеджем. Он не только разрешил мне ловить их на его земле, но и предложил останавливаться у него на это время. Эта случайная встреча переросла в долгую дружбу.

## Ночь в зоопарке

Мое прибытие в зоопарк с кротами стало одним из самых ярких событий лета, и теперь, когда план сработал, должен признаться, что это событие я слегка срежиссировал. Обратная дорога заняла семь часов, и у меня было время, чтобы заехать домой, переодеться и сменить обувь. Но мне хотелось произвести впечатление. Я был новичком в павильоне мелких млекопитающих и еще не успел вписаться в коллектив. Перед поездкой я несколько недель устанавливал в павильоне клетки для звездоносов, делал записи, изучал процедуры ухода за животными. Все были со мной очень любезны, даже чересчур, но держались отстраненно и формально. И я догадывался почему.

Один из зрителей как-то спросил, как мне Гарвард. «Гарвард? Я учусь в Мэрилендском университете, недалеко отсюда». И тут он указал на мой блокнот с эмблемой Гарварда на обложке. Я никогда ее не замечал, даже не мог вспомнить, откуда у меня этот блокнот; возможно, из шкафа в захламленной подсобке административного здания зоопарка: мне там выделили небольшой стол под вольером с тиграми (окна тоже были закрыты картоном). В общем, коллеги относились ко мне как к «протеже» из Гарварда и ворчали, что даже *волонтером* в зоопарке не стать, если ты не из Гарварда. Я посмеялся и ответил: «Да нет, меня не из Гарварда завер-

бовали убирать за кротами». Но все же неприятно было осознавать, что тебя видят чужаком, не готовым пачкать руки.

Я решительно развеял этот миф, явившись в зоопарк со звездоносками, весь в грязи, будто только что из окопа с поля битвы. Конечно, в зоопарки регулярно привозят куда более впечатляющие грузы – львов, тигров или медведей. Но и я получил несколько очков в свою пользу: за успешное ориентирование в лесу, за то, что нашел животных и испачкал руки не зря.

Вскоре я уже чувствовал себя своим – и за ланчем, и на диванчике в холле на первом этаже павильона. Мне страшно повезло: зрители были влюблены во всех животных без исключения, обладали обширными знаниями, которых не почерпнуть из книг, и рассказывали поразительные истории. Вот, например: «В детстве у меня была гремучая змея, и когда она укусила меня во второй раз, отец отказался везти меня в больницу – сказал, что я должен усвоить этот урок». (Мне показали шрам на кисти, место, где яд разъел мягкую ткань.) Где еще вы услышите что-то подобное? Поразил меня и другой факт: оказывается, зрителям львов и тигров снятся кошмары об этих хищниках! Я-то думал, что работа с большими кошками и знание их повадок, напротив, придают уверенности. Но несмотря на жутковатые истории из детства и ночные кошмары, все до единого были преданы своему делу – заботе о животных. Именно это нас объединяло. А еще меня предупредили, что если я заведу ядовитую змею (пусть

даже у себя дома), то меня сразу уволят.

Затем я впервые пережил воодушевление и разочарование, которые неизменно сопутствуют научным исследованиям. В основе своей идея исследования была проста. Если звездонос способен обнаружить жертву по электрическому полю, нужно сгенерировать такое поле, чтобы обмануть звездоноса. Похоже на игру с котом лазерной указкой: наблюдая за этой игрой, можно заключить, что для обнаружения жертвы коты используют зрение. Более близкий пример – использование электрического поля для того, чтобы заставить акулу атаковать. Самое известное такое исследование провел Адрианус Кальмейн из Калифорнийского университета в Сан-Диего. Веками ученые пытались определить функцию ямок («ампул») на морде акулы, и именно Кальмейн показал, что эти ямки представляют собой рецепторы, которые улавливают электрические поля, исходящие от потенциальной жертвы под водой<sup>2</sup>. Доказал он это, в частности, заставляя акул атаковать «искусственные» электрические поля.

Звучит действительно довольно просто. Проблема в том, что нельзя просто бросить батарейку в воду и наблюдать за реакцией животного: ток будет слишком сильным. Нужно генерировать очень слабые, четко выверенные электрические импульсы – подобные тем, какие исходят в воде от живого существа. Кальмейн достиг в этом совершенства, и он любезно поделился с нами знаниями и оборудованием – самым настоящим «черным ящиком», который мог генерировать нуж-

ные электрические поля. Но Кальмейн жил и работал в Сан-Диего, а доктор Гульд был занят своими делами, так что планировать эксперименты, проводить их и фиксировать результаты поручили мне. Поведенческие эксперименты можно было проводить только тогда, когда один из звездоносцев в поисках еды выбирался на мелководье аквариума, а происходило это, разумеется, ночью.

Ночь в зоопарке с животными – это ни с чем не сравнимый опыт. В первую ночь я наблюдал за звездоносцем из зала для посетителей, пытаясь изучить режим этого животного. Свет в здании автоматически включался и выключался по графику. И вот все погрузилось во тьму, а я остался в коридоре со складным стулом, фонариком и стойким чувством, что за мной наблюдают. Как только ночные млекопитающие привыкли к моему присутствию, здание ожило. Со всех сторон что-то копалось, скреблось, трясло ветками, возилось и периодически кричало (последнее было на счету экзотических обезьян). Это был совершенно уникальный сенсорный опыт.

Ночь набирала обороты, я фиксировал повадки звездоноса, как вдруг началось что-то странное. Повсюду стали раздаваться зловещие щелчки – то в конце коридора, то совсем близко. Дальше хуже. Вглядевшись в темноту коридора, я заметил метнувшуюся прочь тень. Легко стать параноиком в такое время и в таком месте, но спустя некоторое время я сделал действительно неприятные открытия. Щелкающие

звук издавали падавшие с потолка гигантские тараканы, а тень принадлежала огромной крысе, пытавшейся пересечь здание и явно недовольной моим присутствием.

Это был «зоопарк в зоопарке», как его называют посетители. Приготовление и раздача огромного количества корма для животных – важная часть работы любого зоопарка. Еда привлекает вредителей, но пользоваться ядами и инсектицидами здесь ни в коем случае нельзя. В этой бесконечной битве зоопарки делают все возможное для отлова и локализации бедствия – и всегда проигрывают. Насекомые никогда не казались мне мерзкими, но в ту ночь я сидел на стуле, поджав ноги и опасаясь, что в темноте по моей ноге ненароком пробежит таракан. (Дочитав до седьмой главы, вы узнаете, что тараканам я потом все-таки отомстил.)

После такой разминки большую часть рабочего времени я проводил в небольшом кабинете в задней части павильона, полностью погрузившись в исследование. Ключевой эксперимент состоял в том, чтобы предоставить звездоносу на выбор два места для поиска добычи: с одной стороны аквариума – с электрическим полем (имитирующим передвижение в воде дождевого червя), а с другой – без. Поле то и дело включалось и отключалось, а я фиксировал результаты на видео. Эксперименты такого типа бывают обманчиво обнадеживающими. Это как подбрасывать монетку: вы можете угадать исход несколько раз подряд и уверовать в свои extrasенсорные способности, но проверка временем такая уда-

ча не пройдет. В случае со звездоносами поначалу все выглядело многообещающе, но чем больше испытаний я проводил, тем очевиднее становилось, что выбор места охоты случаен. Предстояло придумать более хитроумные эксперименты.

Я прочел все работы Кальмейна и выяснил, что под электропроницаемым барьером из желеобразного вещества – агара – можно спрятать настоящую добычу. Кальмейн использовал такой барьер, чтобы не дать акуле почувствовать запах, колебания воды вокруг рыбы или увидеть ее. Но агар не блокирует электрическое поле. Идея заключалась в том, что если акула действительно воспринимает электричество, то она почувствует добычу и атакует. Именно так все и происходило. Акулы пробивали тонкий агар и добивались до жертвы. Результат эксперимента стал главным доказательством того, что акулы обладают электрорецепцией.

Несколько недель я учился строить агаровые барьеры, чтобы прятать в воде дождевых червей, но в итоге никаких признаков восприятия электрического поля звездоносом так и не зафиксировал. Отрицательный результат, однако, имел и положительную сторону: теперь мне еще больше хотелось разгадать тайну звезды и определить ее функцию. Я чувствовал себя детективом, расследующим сложное дело, и уже с совершенно иными чувствами читал научные статьи и книги. Как только у меня возникал вопрос, оказывалось, что какой-нибудь *настоящий* ученый уже задавался тем же вопро-

сом и зачастую находил на него ответ. Например, мне было интересно, как звезда выглядит под микроскопом, и я обнаружил, что в 1960-е годы некий Дэвид Ван Влек уже рассмотрел отростки под микроскопом и обнаружил на них небольшие куполообразные структуры – органы Эймера<sup>4</sup>. Откуда такое название? Дело в том, что еще в XIX веке их открыл ученый по фамилии Эймер – только у европейского крота<sup>5</sup>. Так что, получается, они есть и у других кротов. Но другие кроты не плавают, а значит, органы Эймера не могут быть электрорецепторами, ведь для распространения тока вокруг животных нужна вода. Я задумался: есть ли на звезде другие рецепторы, помимо органов Эймера? Этот вопрос оставался открытым, и я отложил его на будущее.

Мне не понадобилось много времени, чтобы прочесть всю имеющуюся литературу о разнообразии кротов и об органах чувств у каждого вида. Это оказалось безумно увлекательно. Я делал все то же самое, что и при работе над какой-нибудь скучной курсовой, но только вопросы теперь задавал я сам – и нестерпимо хотел найти ответы. Ощущения были такими, будто я вновь иду вдоль ручья неподалеку от родительского дома, надеясь найти за поворотом какое-нибудь невероятное существо. Это стало для меня настоящим откровением.

# Книга, саламандры и семинар

В 1989 году я не мог воспользоваться интернет-поискови-ком или зайти на *Amazon.com*, так что моя детективная ра-бота состояла в методичном прочесывании университетской библиотеки в поисках трудов, посвященных органам чувств у животных. Там я и нашел недавно опубликованную кни-гу под названием «Электрорецепция» (*Electroreception*)<sup>6</sup>. Да, к моему удивлению, эта область исследований оказалась на-столько широкой, что материала хватило на целую книгу, над которой работала, как говорилось в предисловии, «целая армия» специалистов по разным животным, способным вос-принимать электрические поля. Каждая глава была написана ученым или группой ученых, специализирующихся на той или иной теме. Я обнаружил настоящую библию электроре-цепции – и обратился в эту религию.

Глава 16 моей новой любимой книги, «Электрорецепция у амфибий», дала толчок новым экспериментам. Я узнал, что среди огромного многообразия существ, обладающих элек-трорецепцией, есть крупная саламандра, похожая на угря и метко названная двухпалой амфиумой<sup>4</sup>. Обитает она на юго-востоке США, и не путайте ее, пожалуйста, с трехпалой амфиумой, которая водится там же и у которой тоже есть

---

<sup>4</sup> В русской классификации она называется угревидной амфиумой. – *Прим. на-уч. ред.*

электрорецепторы. Есть и еще более странное создание – аллеганский скрытожаберник, весьма крупная плоская саламандра, живущая под камнями в ручьях и реках. Ее английское название – *hellbender*<sup>5</sup> – претендует на победу в номинации «самое звучное название земноводного».

В книге приводилась подробная таблица, отражающая степень изученности вопроса для каждого из видов, и по ней было легко найти источники, на которые ссылались авторы. Электрорецепторы были обнаружены на коже многих саламандр, а вот как именно они работают, оставалось невыясненным – в таблице стояли вопросительные знаки. Никто не знал, как амфибии используют электрорецепторы! Это было отличное направление для будущих исследований, а значит, и для потенциальной магистерской диссертации. Более того, несколько подходящих саламандр обитали в Смитсоновском зоопарке.

После недолгих уговоров мне дали добро на побочный проект по изучению электрорецепции у амфибий в павильоне рептилий и земноводных. Я начал с аксолотля, поскольку его способность воспринимать электрические поля уже была доказана. И действительно: каждый раз, когда прибор включался, аксолотль атаковал, нападая на источник электрического поля как на добычу. Этот маленький успех придал мне воодушевления подобно живительному эликсиру.

---

<sup>5</sup> Букв. «покоритель ада»; по одной из версий, поселенцы описывали эту амфибию как «существо из ада, намеренное туда вернуться». – *Прим. пер.*

Примерно в это же время в Мэрилендском университете состоялся семинар по эволюции мозга. Его проводил Гленн Норткатт, профессор нейробиологии из Калифорнийского университета в Сан-Диего. Так у меня появился шанс встретиться с авторитетным ученым, который знает о мозге и его эволюции больше, чем кто-либо другой. Я ужасно боялся подойти к нему. Что я скажу? Я шел на встречу, чувствуя себя примерно как на той проселочной дороге в Пенсильвании, когда хотел познакомиться с незнакомцем, способным взяться за дробовик.

Волноваться оказалось не о чем. Стрельбы (то есть блиц-проса по нейроанатомии) не случилось. Гленн дружелюбно пожал мне руку и стал спрашивать о работе в зоопарке. Мне только того и надо было! Я достал из рюкзака книгу об электрорецепции, открыл ту самую главу 16 и выпалил: «Не могу поверить, что никто до сих пор не выяснил, как саламандры реагируют на электричество!» И я в красках описал, как аксолотль атаковал электрическое поле. Чего я не знал, так это того, что Гленн и сам изучал аксолотлей у себя в лаборатории. Его заинтересовало мое исследование, а таблицу из главы 16, как мне показалось, он знал наизусть (справедливости ради, он знал наизусть всю книгу). Он одобрил идею изучать электрорецепцию саламандр для магистерской диссертации и даже предложил мне поступать в Калифорнийский университет в Сан-Диего.

Когда профессор ушел на следующую встречу, я закрыл

книгу и задумался о планах на будущее. И только тут я заметил на обложке его имя. Редактор серии! Я был в ужасе от своей оплошности. Неудивительно, что он так хорошо знал книгу, которую редактировал. Позже я немного успокоился и решил, что все сложилось неплохо: ведь знай я об этом раньше, я был бы слишком взволнован, чтобы так непринужденно обсуждать с профессором свои идеи.

И последний факт об этой книге. На ее обложке – три имени: Гленн Норткатт (редактор серии), Теодор Баллок и Вальтер Хайлигенберг (редакторы тома). Все трое впоследствии вошли в совет на защите моей магистерской. Гленн Норткатт стал моим научным руководителем. Неизвестно, как сложилась бы моя судьба, если бы кто-то не решил однажды, что книга «Электрорецепция» должна стоять на полке университетской библиотеки.

# Калифорнийское звено

Доктор Гульд написал рекомендацию, и меня приняли в Калифорнийский университет на программу по нейробиологии. Это была осень 1990 года. Обычно студенты магистратуры выбирают тему на втором или третьем году обучения, но я уже знал, что моя диссертация будет посвящена электрорецепторам и нейроанатомии земноводных. Правда, не так-то просто оказалось избавиться от мыслей о звездноносе. Можно сказать, что я был привит «антигеном», вызывавшим отсроченный, но системный иммунный ответ. Время шло, а я не мог перестать думать о таинственной звезде и ее функции. Но все же мне предстояло еще кое-чему научиться.

Начало обучения в магистратуре похоже на восхождение на гору. Ты упорно поднимаешься по крутому склону, с каждым шагом заполняя пробелы в знаниях. Узнать надо столько, что думать о самом подъеме некогда, но когда через некоторое время ты останавливаешься на минутку и оглядываешься назад, то где-то вдалеке видишь крошечную парковку и не веришь, что начал *настолько* издалека. Мы занимались микроскопией, клеточными культурами, препарировали человеческий мозг. Были семинары, лекции, новые друзья, а для расширения горизонтов можно было даже купить компьютер.

Нам предоставляли большую свободу в выборе предметов и лабораторий, что позволяло получить опыт работы с разными методами и оборудованием. Я уже поднаторел в области поведения животных, так что решил заняться чем-то диаметрально противоположным и выбрал микроскопию. В то время существовало два основных метода микроскопических исследований: световая микроскопия и электронная. Световой микроскоп – это то, что вы видите на столе в любой лаборатории, показанной в кино: прибор размером с кофеварку с двумя окулярами и подставкой для предметного стекла с образцом. Для студента-биолога умение смотреть в световой микроскоп все равно что умение водить машину: этому учатся все.

Другое дело – электронная микроскопия. Электронные микроскопы бывают двух типов: просвечивающие и сканирующие (растровые). Эти приборы обычно огромные и располагаются на консолях со множеством ручек и кнопок, а также с отдельным монитором для просмотра изображения (представьте себе уменьшенную версию обзорного экрана на звездолете «Энтерпрайз» из «Звездного пути»). Такой инструмент позволяет проникнуть в мир очень, очень (очень!) маленьких объектов. Обычный световой микроскоп дает увеличение в тысячу раз. Просвечивающий электронный микроскоп – более чем в миллион. Именно этого – абсолютной четкости – я и искал. Я записался на занятия в недавно открывшийся в Калифорнийском университете Нацио-

нальный центр микроскопии и визуализационных исследований (*National Center for Microscopy and Imaging Research*). Под просвечивающий электронный микроскоп там было выделено отдельное большое помещение, а выглядел прибор примерно как ракета-носитель «Сатурн-5», извергающая холодный туман и все такое. Техники с удовольствием поддерживали в нас трепет перед этим грандиозным агрегатом, приглушая свет и включая музыку в стиле нью-эйдж – Вангелиса, например, или *Tangerine Dream*.

Был там и другой электронный микроскоп – сканирующий, мой любимый. Если световой и просвечивающий микроскопы позволяют рассматривать срезы тканей и изучать их внутреннее строение, то сканирующий микроскоп дает невероятно детальное и зачастую очень красивое изображение всей поверхности неповрежденного образца. Вы наверняка видели такие снимки – настоящие произведения искусства, где блохи и муравьи превращаются в монстров, похожих на Годзиллу. А еще этот микроскоп позволяет идентифицировать все виды рецепторов на коже – вкусовых, обонятельных... и даже электрических.

Научившись пользоваться обоими приборами, я начал работать под руководством Гленна над выявлением электрорецепторов, механорецепторов и вкусовых луковиц на коже аксолотля и других видов саламандр. Мне предстояло составить схему расположения этих рецепторов. Профессор, можно сказать, занимался высшей математикой развития и эво-

люции органов чувств и мозга животных – он искал ответы на важнейшие вопросы: как и когда эволюционировали разные структуры. Я же всего лишь делал первые маленькие шаги к своей диссертации, посвященной электрорецепции у амфибий.

Однако теперь мне было доступно новейшее оборудование для изучения кожи животных и нервных окончаний в ней. И я все чаще стал вспоминать о звездносе. Есть ли на его звезде что-нибудь похожее на электрорецепторы? А может быть, там есть какая-то другая структура, которая объяснила бы функцию звезды? Очевидное решение – просто взять и проверить. Я не мог ответить на свой вопрос в Смитсоновском зоопарке, а здесь это было делом нескольких дней. Мне нужно было только связаться с Кармайном и отправиться на болота Пенсильвании.

Гленн не спешил одобрить эту авантюру, и его можно было понять. Кроты обитали в двух тысячах миль от Сан-Диего, так что затея не выглядела простой вылазкой в поле. К тому же крота нужно было усыпить мощным анестетиком – таким, который ветеринары используют для эвтаназии. Контроль над барбитуратами очень строгий, так что это было серьезной проблемой. У университетской лаборатории имелась лицензия на их использование, но если препарат найдут у меня в машине на другом конце страны, эта лицензия мне вряд ли поможет. (Я тогда носил длинные волосы и совсем не был похож на уважаемого ученого.) Я убедил

Гленна, что проблем не возникнет: буду соблюдать скоростной режим и не стану нарываться на неприятности. Наконец он уступил, но несколько раз повторил очень строго: «Будь крайне осторожен с этим флаконом – если у тебя возникнут неприятности, они начнутся и у меня».

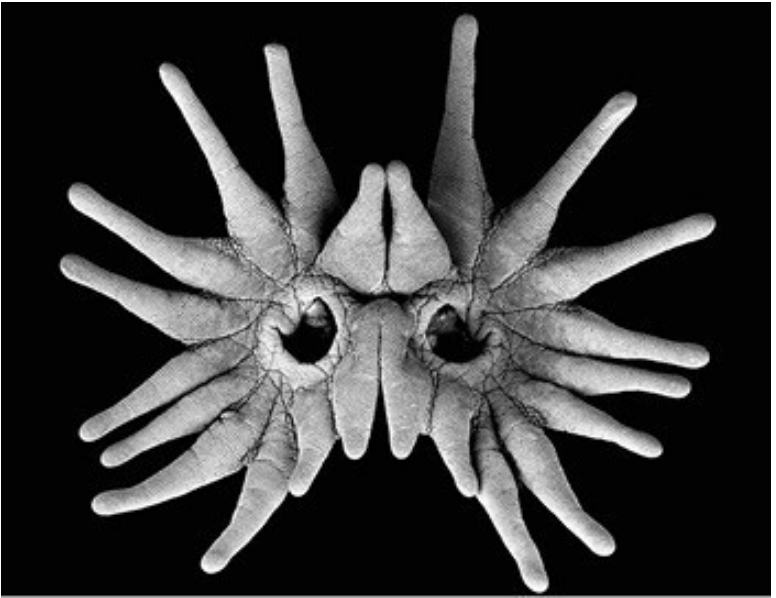
Я был крайне осторожен. Но спустя несколько недель я все-таки оказался в наручниках, а мэрилендский полицейский изучал флакон из лаборатории с самым строго контролируемым препаратом. Вскоре Гленн получил письмо, извещающее об этом событии, и запрос на внесение залога.



1.2. Мэрилендский полицейский надел на автора наручники и изучает подозрительный флакон

## 2

# Пастер был прав



Помимо фотографии меня в наручниках и наспех нацарапанной записки с просьбой о залоге Glenn нашел в конверте еще один конверт, поменьше. Там содержалась вся правда: просто мой университетский приятель (назову его Том) стал полицейским в штате Мэриленд, и мы всегда с ним видимся, когда я приезжаю. Я верил в чувство юмора своего научно-

го руководителя, а его отсутствия были готовым сценарием для розыгрыша. Так что мы с Томом устроили в отделении полиции креативную фотосессию, главным участником которой стал драгоценный флакон Гленна. Я отправил письмо и поехал дальше, к Кармайну.

Я не особенно волновался по поводу предстоящей охоты на звездоноса; за время работы в зоопарке это стало привычным делом. Я звонил Кармайну, и он всегда предлагал мне остановиться у него (уезжая, я прибирался и заполнял холодильник его любимым пивом). Нередко я брал с собой моего старшего брата, Билла, и Кармайн сам к нам заезжал: мы ловили рыбу, играли в покер и ели оленину. В общем, ночевки в фургоне и чипсы на ужин тут и рядом не стояли.

Но в этот раз у меня было совсем мало времени, и я поехал туда один. Я не подумал ни о времени года, ни о погоде, что оказалось большой ошибкой. Уровень воды изменился, а земля была усыпана листьями, закрывавшими привычные следы кротовых тоннелей. Хуже того: из-за изменения уровня воды тоннели тоже сместились, и я был совершенно растерян. Время поджимало, так что я в панике позвонил брату. Он все бросил, примчался из Мэриленда ко мне на помощь и в итоге сотворил маленькое чудо. Он осмотрелся, отошел метров на сто вдоль другого берега ручья и сказал: «Попробуем здесь». И все сразу получилось.

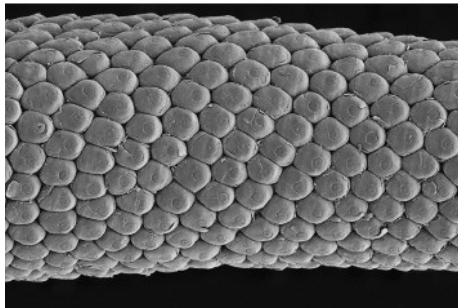
Вскоре я вновь был в Сан-Диего, за пультом сканирующего электронного микроскопа *Cambridge Stereoscan*. Нако-

нец-то я увижу загадочную звезду крупным планом! Несмотря на колоссальную разницу в масштабах, загрузка нового образца в этот прибор во многом напоминает отправку космического зонда на далекую планету: ты не можешь сам прогуляться по ее ландшафту, а вместо этого управляешь движущимся электронным пучком с помощью двух ручек, наблюдая за происходящим через мерцающий монитор. Реальность редко оправдывает ожидания: обычно вместо марсиан глазу предстает раскинувшаяся до самого горизонта серая равнина. Но не в этот раз. Я разогрел нить, сфокусировал луч – и замер.

Звезда состоит из 22 отростков, и я увидел, что все они покрыты маленькими «куполами», расположенными по образцу пчелиных сот. Диаметр каждого из них составлял около 50 микрометров (примерно как толщина человеческого волоса). Геометрический рельеф звезды походил на странную версию фасеточного глаза насекомого. Я знал, что купола – это органы Эймера, поскольку они были кратко описаны в исследовании 1960-х годов. Когда я увеличил изображение и стал перемещать электронный пучок вдоль поверхности звезды, стало ясно, что органы Эймера не просто расположены на звезде – сама звезда буквально *состоит* из органов Эймера! Но только ли из них? Может быть, там есть и другие сенсорные структуры, подобные электрорецепторам у акул и амфибий? Или, возможно, какие-нибудь химические детекторы? В моих руках был прибор, покрутив

одну из ручек которого можно получить вместо десятикратного стотысячекратное увеличение, так что мне удалось внимательно изучить всю поверхность звезды. Затем я рассмотрел еще одну звезду в разрезе – с помощью обычного светового микроскопа и специальных красителей для изучения нервных волокон. Я также исследовал органы Эймера через просвечивающий электронный микроскоп. В общем, в ход пошли все доступные инструменты.

И не напрасно. Прежде всего, я получил ответы на множество давних вопросов. Нет, звезда не нужна для обоняния: ни одного обонятельного рецептора. У крота, как и у человека, такие рецепторы расположены глубоко в полости носа, а не на его кончике. И нет, звезда – это не дополнительная лапа. Здесь нет мышц, а значит, этими отростками звездонос не может ничего двигать или подбирать. На снимке поверхности звезды, сделанном при помощи сканирующего микроскопа, нет ни электрорецепторов, ни вкусовых луковиц, ни каких-либо известных химических рецепторов. Только органы Эймера. Стало быть, чтобы определить функцию звезды, нужно разобраться с функцией органов Эймера.



2.1. Слева: на снимке, полученном с помощью сканирующего электронного микроскопа, видно, что поверхность средней части отростка звезды целиком состоит из органов Эймера. Справа: строение органа Эймера у звездоноса

Итак, что это такое и для чего они нужны? Если рассмотреть поверхность отдельно взятого куполообразного органа Эймера, в центре мы увидим круглый диск – верхушку столбика из клеток кожи (их взаимное расположение напоминает горку блинчиков на тарелке). Внутри столбика находится главный компонент любого органа чувств – нервные волокна. От пяти до десяти отдельных волокон проходят параллельно друг другу по краям столбика, а одно – через его центр. Наверху всей этой структуры, сразу под наружным слоем кожи, нервные волокна образуют холмики, идеально расположенные для распознавания легчайшего прикосновения к коже. Кроме того, в основании столбика имеется механорецептор – клетка Меркеля, улавливающая давление (у че-

ловека таких рецепторов очень много на кончиках пальцев). Прямо под клеткой Меркеля – еще один механорецептор, тельце Пачини, реагирующее главным образом на вибрации. Раскрою карты: впоследствии мы подтвердили все эти данные (и не только их), зафиксировав и проанализировав активность нервных волокон<sup>1-2</sup>. Наш главный подозреваемый – осязание – оказался виновен, как сказали бы в суде, «вне всяких разумных сомнений». Органы Эймера не способны обнаруживать электрические поля, но представляют собой образцовые механорецепторы.

Вам может показаться, что я спустил звезду с небес на землю. Если так, то сейчас подниму ее обратно. Исследование показало, что на звезде более 250 тысяч органов Эймера, и все они сосредоточены на площади менее одного квадратного сантиметра! Выходит, мы имеем дело с биологическим аналогом камеры сверхвысокого разрешения со множеством пикселей, только в случае со звездой эти «пиксели» осязательные. Еще больше впечатляет количество нервных волокон, по которым сигналы передаются от звезды в головной мозг крота.

Путь одного такого волокна от верхушки органа Эймера на кончике отростка до головного мозга напоминает путь ручейка, который впадает в ручей пошире, после чего тот впадает в реку, несущую свои воды в море. В основании органа Эймера нервное волокно объединяется с пятью или шестью другими. К этому небольшому нервному пучку присоединя-

ются десятки, а затем и сотни волокон от соседних органов Эймера. Ближе к основанию отростка нерв состоит уже из тысяч волокон. В основании половины звезды – одиннадцать крупных нервных пучков, по одному на каждый отросток. По мере приближения к мозгу эти пучки сливаются в еще более крупные, и в итоге информацию от каждой половины звезды несут по 56 тысяч нервных волокон. В сумме получается 112 тысяч волокон<sup>3</sup>.

Само по себе это число мало о чем говорит. Но вы только подумайте: человеческая рука считается вершиной эволюции во многом благодаря тонкому осязанию, позволяющему нам изготавливать инструменты, метать орудия, кидать бейсбольный мяч и печатать текст про нос крота. Однако кисть нашей руки содержит около 17 тысяч нервных волокон, а у кротовьей звезды их *в шесть раз больше*, и все они занимают участок площадью с кончик человеческого пальца. Я начал догадываться, что звездонос, вероятно, обладает самой чувствительной системой осязания на планете и воспринимает объекты окружающей среды невероятно детально.

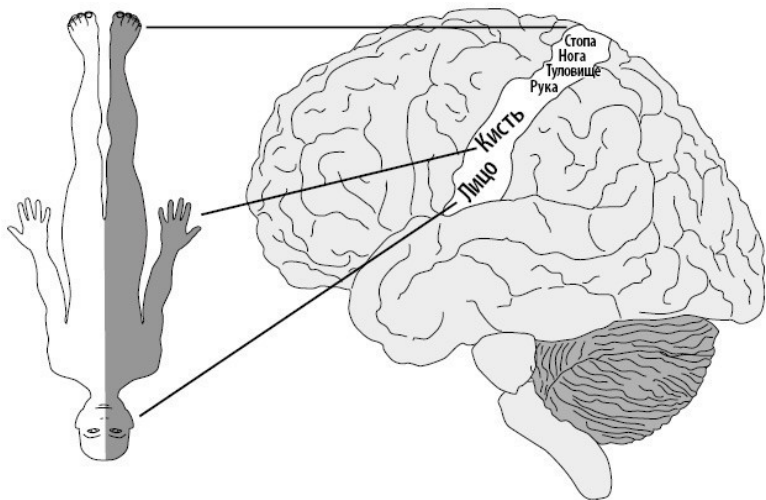
# Первый шанс

Итак, идея использовать современные методы микроскопии для выяснения картины себя оправдала: наконец-то у меня появилось множество достоверных данных о звезде, не говоря уже об эффектных снимках. Теперь предстояло тщательно описать результат: подсчитать органы Эймера, измерить их, оценить плотность их распределения на каждом из отростков и составить схему этого распределения. Эта методичная работа может показаться скучной и малозначимой. Но на самом деле это одна из важнейших составляющих научного исследования: именно на этом этапе мы зачастую случайно видим что-то такое, что становится первым шагом на пути к открытию.

Для меня такой случайной находкой стал тот факт, что между всеми отростками звезды имеется полоска кожи, свободная от органов Эймера<sup>4</sup>, причем даже там, где отростки отходят от основания звезды вместе. Стало быть, каждый отросток представляет собой самостоятельную сенсорную единицу, своего рода вибриссу. Размышляя над этим, я вспомнил, как в Мэрилендском университете нам рассказывали о вибриссах мышей и особых «картах» в неокортексе.

Новая кора, или неокортекс, – это часть головного мозга всех млекопитающих (и только млекопитающих), которая покрывает полушария и поделена на множество зон с раз-

личными функциями. И у каждого млекопитающего соматосенсорная, то есть осязательная, зона представляет собой своеобразную карту его тела. Представьте себе крошечного человечка, вытянувшегося вдоль вашей новой коры вниз головой (его называют латинским словом «гомункулус»). В принципе, так и устроена карта, но, как правило, на каждое полушарие мозга проецируется только одна половина тела (правая половина тела – на левую половину мозга, и наоборот), поэтому вам нужно представить себе половину человека, лежащего вверх ногами. Карикатурное на вид изображение гомункулуса, вытянутого вдоль соматосенсорной коры в средней части головного мозга, есть в каждом учебнике по введению в нейробиологию. Первую карту осязания человека составил нейрохирург Уайлдер Пенфилд. Он точно стимулировал неокортекс пациентов электрическим током и выяснял, какая часть тела реагирует на стимул.

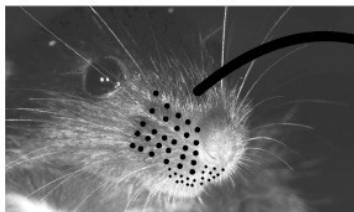


2.2. Карта человеческого тела в соматосенсорной коре с представлением гомункулуса (*лат.* «маленький человек»). Подобные карты имеются в первичной соматосенсорной коре (S1) у всех млекопитающих

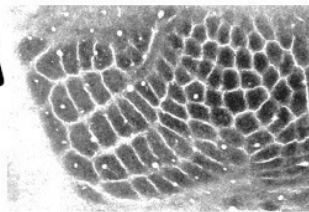
Мозг – структура, мягко говоря, сложная, и составление таких функциональных карт обычно требует скрупулезной записи нейронной активности или же применения стратегии Пенфилда. Однако в мозге мыши есть особая зона, которая стала настоящим подарком для исследователей неокортекса. Она называется баррельной корой, поскольку состоит из особых бочкообразных структур (баррелей), каждая из которых четко видна на фоне окружающей нервной ткани и состоит

из множества отдельных нейронов<sup>5</sup>. И каждый из этих баррелей соответствует одной вибриссе на противоположной стороне морды. Проще говоря, карту вибрисс на мозговой ткани мыши можно *увидеть* своими глазами (если, конечно, правильно подготовить препарат). И это очень важно.

Баррельная кора мыши – хрестоматийный пример соматосенсорной зоны. Но это еще не все. Четко различимая карта вибрисс на неокортексе мышей и крыс стала так называемой модельной системой для изучения функций этой области мозга и позволила сделать множество открытий. Баррельной коре посвящено более тысячи научных публикаций, пара книг и ежегодная конференция, которая так и называется – *Barrels*.



Расположение вибрисс



Видимая неокортикальная карта (баррели)

2.3. Вибриссы и ткань головного мозга мыши. Каждой вибриссе соответствует овал, видимый на неокортексе мыши, а вместе эти овалы составляют точную карту мышинной морды. Эта особенность сделала мышью идеальной моделью для изучения осязания

Признаюсь, когда я только начал рассматривать звезду под микроскопом, то обладал лишь остаточными знаниями об этой особенности мышиноного мозга. И все же эти знания, хоть и с натяжкой, позволили мне отнести к себе знаменитое изречение Луи Пастера: «Удача улыбается подготовленному разуму». Но у меня есть и собственный афоризм, который может вам пригодиться: «Не сдавайте свои учебники букинистам!» У меня все еще хранился учебник по нейробиологии («От нейрона к мозгу»<sup>6</sup>, второе английское издание, 1984<sup>6</sup>). Я отыскал изображение баррельной коры, и пока я в него всматривался, в моей голове забрезжил свет. Что, если на неокортексе крота можно увидеть карту звезды, подобную карте вибрисс у мыши? Вот было бы здорово! К тому же это почти наверняка привело бы к новым открытиям функций и особенностей неокортекса.

Я поделился этой мыслью с Гленном, и он одобрил продолжение исследований. Правда, для визуализации на неокортексе баррелей (или их аналогов у звездоноса) необходима специальная обработка ткани. Это на удивление редкий навык даже среди опытных нейробиологов. Чтобы правильно разрезать кору сверху донизу, для начала ее нужно

---

<sup>6</sup> Первое издание книги С. Куффлера и Дж. Николса «От нейрона к мозгу» (1975) было переведено и выпущено в СССР в 1979 году. Второе и третье издания на русский язык не переводились. Переработанное и дополненное четвертое издание вышло на английском языке в 2001 году, а на русском – в 2012 году. – *Прим. пер.*

ловко отделить от подлежащих структур и аккуратно расправить. Мы такими методами не владели. К счастью, Гленн знал, к кому обратиться за помощью: к Джону Каасу из Университета Вандербильта. Он написал о неокортексе столько, что хватило бы на целую книгу. Я отправил бы ему письмо по электронной почте, но такой роскоши у нас тогда не было. Так что я написал ему обычное письмо. В ответ он тоже написал обычное письмо, в котором пригласил меня в свою лабораторию.

## Увидеть – значит поверить

Университет Вандербильта расположен в Нэшвилле, примерно в тридцати часах езды по трассе I-40 из Сан-Диего в сторону коттеджа Кармайна. В этот раз, рассчитывая произвести впечатление, я не стал полагаться на удачу, так что снял копии с нескольких статей Джона и начитал их на магнитофон. Получилась своеобразная аудиокнига на кассетах. В дороге я успел прослушать все новейшие неокортексные хиты и немного из классического репертуара. Может, это и был апофеоз занудства, но эффект вышел примерно как у Нео из «Матрицы» с навыками кунг-фу; правда, в моем случае загрузка заняла куда больше времени.

Выяснилось, что волноваться мне было не о чем. Как и Гленн, Джон оказался дружелюбным и отзывчивым человеком, не кичившимся своим статусом. Он видел меня впервые в жизни, однако пригласил остановиться у себя. И вот мы уже сидели у него на кухне, пили пиво, говорили о мозге, о влиянии политики на науку, а потом и о более философских вопросах. В конце концов мы добрались до темы, которой я пренебрегал все студенческие годы: университетского баскетбола.

На следующий день, уже в лаборатории, я рассказал Джону о своем исследовании, показал детальные снимки звезды и едва различимые границы между отростками. Джон ска-

зал, что поиск интересующих меня структур на неокортексе крота – плевое дело, так что я в тот же день отправился на пенсильванские болота, и уже через две недели мы впервые увидели мозг звездноса.

Этап окрашивания препарированного и расплавленного неокортекса полон того же предвкушения, что и загрузка образца в электронный микроскоп, но результат, конечно, сильно отличается по масштабу. Хотя электронный луч и позволяет получить максимально возможное увеличение, плоский срез лучше всего рассматривать по старинке, с помощью диапроектора. Но пусть вас не обманывает простота этого прибора. Если вы все сделаете правильно, то сможете спроецировать на лист бумаги и показать всему миру ткань, которую не увидит невооруженным глазом.

Первые срезы я просматривал на выходных. Я увидел темные полосы, расположенные в виде звезды, именно там, где мы ожидали их увидеть. Проецирование коркового узора на бумагу особенно удобно тем, что его можно обвести карандашом, что я сразу и сделал с несколькими образцами. Ну а потом я запрыгнул в машину и поехал к Джону, чтобы нахально прервать его субботний отдых. Еще не войдя в дом, я начал показывать ему рисунки. Мы стояли на крыльце и обсуждали увиденное с одинаковым воодушевлением.

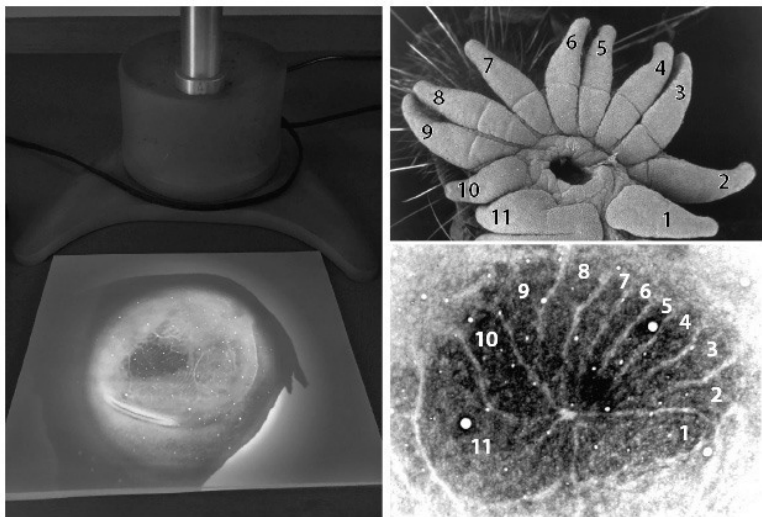
Для исследователей мозга это открытие значило очень много. По словам Джона, карта звезды была особенно важна потому, что опровергала давние теории о строении мозга

млекопитающих. Многие ученые полагали, что структурной единицей новой коры является колонка неокортекса и что весь неокортекс «вымощен» такими колонками, как плиткой. Баррели, различимые на карте вибрисс у мышей, полностью соответствуют этой концепции (срез колонки – это и есть баррель). Но карта звезды плохо вписывалась в эту теорию, поскольку полосы представляли собой вовсе не круглые элементы. Узор на неокортексе крота скорее подтверждал другую гипотезу, согласно которой на формирование и представление карты тела в первую очередь влияет расположение рецепторов на коже животного.

Вскоре я вновь был в дороге. Я возвращался в Сан-Диего, и у меня было тридцать часов, чтобы, глядя на убегающее за горизонт шоссе, поразмышлять о неокортексе. В начале пути по радио заиграла песня *Africa* группы *Toto*, и до сих пор, когда я слышу эту песню, в голове возникает образ звезды в неокортексе. Это была незабываемая поездка – и не только из-за моего увлечения наукой, но и по более прозаичной причине, знакомой всякому магистранту: новое открытие практически гарантировало мне успешную защиту диссертации.

При подготовке к защите я старался предугадать все возможные вопросы диссертационного совета, но оказался не готов к первому же из них. Стараниями Гленна вступление к моему докладу сопровождалось той самой фотографией меня в наручниках рядом с суровым полицейским. Не знаю,

удалось ли мне убедить совет в том, что я никогда не сидел в тюрьме, но месть Гленна имела и положительный эффект: после такого начала все прочие вопросы казались совсем простыми.



2.4. Карта звезды на ткани головного мозга, спроецированная с предметного стекла на лист бумаги (слева) и увеличенная для лучшей детализации (справа внизу). На каждую сторону неокортекса проецируется половина звезды (справа сверху), то есть на каждом полушарии видно одиннадцать сегментов (справа снизу). Обратите внимание: одиннадцатый сегмент намного больше остальных

Много лет спустя круг замкнулся. Описание карт мозга в пятом издании учебника «От нейрона к мозгу» теперь сопровождается снимками не только баррельной коры мыши, но и неокортекса звездоноса. Авторы книги и не подозревают, что на открытие меня вдохновило одно из ее предыдущих изданий.

# Нейрокомната смеха

Узор на неокортексе крота дал тот же эффект, что и изображения звезды, полученные с помощью электронного микроскопа. Он стал очередной хлебной крошкой на пути к следующему вопросу. И даже не просто крошкой, а целой горбушкой хлеба. Едва взглянув на карту звезды, я заметил кое-что требующее объяснения: один из сегментов занимал непропорционально большую часть карты. Несоответствие было столь явным, что поначалу мы пришли в замешательство. Мы ожидали (или по крайней мере надеялись) увидеть на неокортексе одиннадцать полос – по полосе на каждый отросток на противоположной стороне звезды. Но мы увидели десять примерно одинаковых полос и одну гигантскую – причем на месте самого маленького, одиннадцатого отростка. Что бы это могло значить? Чтобы ответить на этот вопрос, мы зарегистрировали электрическую активность мозга звездноса, и огромная полоса действительно оказалась проекцией одиннадцатого отростка. То, что мы наблюдали, называется кортикальным увеличением.

Кортикальное увеличение – это, можно сказать, то, как мозг «видит» тело, а видит он его совсем не так, как мы. Это больше похоже на отражение в кривом зеркале, которое значительно искажает пропорции. У человека огромную часть соматосенсорной карты занимают кисти рук, потому что на

их коже очень много сенсорных нейронов. А вот на туловище, ноги и предплечья, гораздо менее важные для осязания (никто не может читать шрифт Брайля, например, локтем), приходится куда меньше места. Как вы могли догадаться, в результате регистрации электрической активности мозга звездоноса мы получили «кротункулуса» с гигантской звездой и огромными передними конечностями.

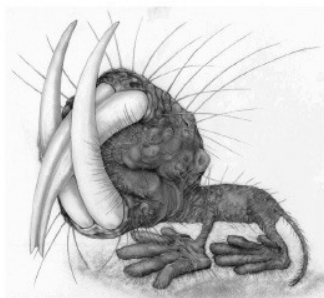
Описанное выше не так уж и удивительно; логично, что мозг отводит больше места для более важных частей тела. Но особое выделение одного сегмента звезды оказалось новой загадкой. Одиннадцатый сегмент занимает 25 % карты, но соответствует самому маленькому из отростков, на котором сравнительно немного органов Эймера<sup>3</sup>. Почему же именно этот отросток так важен для кротовьего мозга? Чтобы получить ответ, я внимательнее присмотрелся к поведению звездоноса и добрался до самых основ.



Звезднонос



Енот



Голый землекоп



Утконос

2.5. Пропорции частей тела животных в соматосенсорных картах неокортекса. Увеличение проекций важных для осязания частей тела называется кортикальным увеличением

Звезднонос, известный, помимо прочего, своим инопланетным видом и непостижимым образом жизни, делает ровно то, что сейчас делаете вы. Читая эти строки, вы переводите глаза с одного слова на другое. Если вы задержите взгляд, скажем, на точке в конце этого предложения, вы не сможете читать дальше. Попробуйте сделать это несколько

раз, и вы абсолютно четко (или абсолютно нечетко) осознаете, что в вашем глазу есть маленький центр с высоким разрешением (центральная ямка сетчатки) и гораздо бóльшая окружающая его область с низким разрешением. Мы сканируем пространство вокруг нас в низком разрешении и переводим взгляд на то, что хотим рассмотреть повнимательнее, используя высокое разрешение.

То же самое делает звездонос – только вместо зрительной «ямки» у него тактильная. Дотронувшись до чего-то интересного, и особенно съедобного, отростками каждой половины звезды с первого по десятый, он вдруг переключается только на одиннадцатую пару<sup>3</sup>. Такие движения звезды очень похожи на движения глазных яблок. У человека на перевод взгляда уходит около одной двадцатой секунды, у звездоноса – примерно столько же.

Вы, наверное, уже догадались, что центральной ямке в нашей зрительной коре отводится гораздо больше места, чем более крупным, но менее важным периферическим областям. Это позволяет эффективнее использовать ресурсы мозга, так что неудивительно, что эволюция пришла к одинаковому решению для людей и кротов (и многих других животных). Вместо высокой разрешающей способности всего органа чувств, что потребовало бы большего объема неокортекса для обработки сигнала, детально анализируется только небольшая зона. Получается своеобразный сенсорный фонарик, ярко и четко освещающий центр и тускло обозначаю-

ший периферию.

Как обычно, новое открытие привело к новому вопросу. Как такая маленькая часть тела животного отвоёвывала такую большую часть соматосенсорной карты? Это вопрос к самой сути нейробиологии, поскольку, ответив на него, можно понять, как то или иное млекопитающее эволюционировало, развивая свои способности. В неокортексе животных, полагающихся на зрение, отводится много места глазам; летучие мыши специализируются на эхолокации – и в их неокортексе доминируют органы слуха; а в неокортексе звездоноса главными стали органы осязания. Но чтобы выяснить, как формируется в новой коре такое распределение, нужно изучить развитие животного на ранних стадиях. Я должен был исследовать эмбрионы звездоноса, и это вывело меня на следующий уровень неизведанного.

## Жуткое звездодействие<sup>7</sup>

К тому времени я уже защитил диссертацию и работал научным сотрудником в лаборатории Джона Кааса в Университете Вандербильта, так что располагал всем оборудованием, необходимым для изучения неокортекса. Но для исследования эмбрионов требовался сканирующий электронный микроскоп, который находился в Калифорнийском университете. К счастью, я как раз собирался в Сан-Диего на конференцию, так что позвонил своему приятелю по магистратуре – специалисту по микроскопам Чарльзу Грэму – и спросил, смогу ли я воспользоваться прибором. Технические специалисты лабораторий – это невоспетые герои науки, пусть даже они выполняют столь важную преподавательскую миссию неофициально. Чарльз был моим вторым пилотом, пока я учился обращаться с микроскопом, и он научил меня решать любые проблемы. Но в этот раз проблема была не по технической части: дело в том, что почти все время микроскоп был занят.

«Я тебе доверяю, – сказал он мне по телефону. – Если хочешь, приходи ночью, я дам ключи». Его неоценимая помощь сэкономила мне месяцы, которые могли бы уйти на

---

<sup>7</sup> Отсылка к выражению «жуткое дальноедействие» – так Альберт Эйнштейн иронично называл принцип квантовой запутанности, который отказывался принять. – *Прим. пер.*

поиск другого аппарата и на обучение работе с ним.

Когда я наконец приготовил образцы и устроился перед мониторами, было далеко за полночь. В здании было темно, пусто и тихо. Я, как обычно, выключил свет, чтобы лучше видеть изображения. Расположенный рядом прибор, который покрывает препараты золотом, мерцал фиолетовым светом, а из емкости с жидким азотом, охлаждающим микроскоп, то и дело вырывались клубы холодного пара. Все это очень напоминало первые кадры научно-фантастического фильма.

Это может показаться глупым, когда вы сидите в ярко освещенном помещении, но многие взрослые люди боятся темноты (и узнают об этом только в полевых условиях). Мне пришлось преодолеть этот страх еще в зоопарке, и довольно быстро. И я никогда бы не подумал, что испытаю ужас, увидев изображение на мониторе микроскопа. Но именно это произошло, когда я нагрел нить и сфокусировал луч на первом эмбрионе звездноса. Выше я сравнивал сканирующий микроскоп с космическим зондом. Ну что ж, теперь я встретил инопланетян.

Не хочу, чтобы вы дурно подумали о звездносе, так что отмечу, что на стадии эмбриона мы все выглядим не лучшим образом. И все же я увидел парочку совсем уж странных вещей. Во-первых, передние лапы, которые аномально велики у взрослого звездноса, у эмбриона тоже были огромными, как у каменного тролля. Во-вторых, ноздри в центре звез-

ды напоминали глаза прищельца. На самом деле глаза у крота расположены ближе к задней части головы, за формирующейся звездой.



2.6. Жутковатый эмбрион звездоноса под электронным микроскопом. Формирующаяся звезда с двумя ноздрями похожа на голову инопланетянина, тогда как на самом деле голова и глаза крота расположены дальше, в глубине изображения. Обратите внимание на огромные формирующиеся передние лапы, которыми взрослые звездоносы роют тоннели

Но как бы жутко ни выглядел эмбрион, он представлял

собой кладезь новых ключей к пониманию того, как одиннадцатый отросток стал главным органом осязания и оккупировал больше всего пространства в неокортексе звездноноса. Оказалось, что не все отростки «созданы равными». Одиннадцатые отростки – самые крупные на раннем этапе формирования звезды. Кроме того, кожа и органы Эймера на них созревают раньше, и то же касается нервных волокон. Как ни крути, на старте развития одиннадцатые отростки опережают все прочие, которые пытаются их догнать и в конце концов обгоняют по размеру<sup>7</sup>.

А что насчет неокортекса? Что вполне предсказуемо, первым в развивающейся новой коре появляется сегмент одиннадцатого отростка, и уже на раннем этапе он занимает большую область. Это отлично согласуется с данными других исследований, которые показывают важность ранних событий в мозге, когда закладывается основа его структуры. Конкуренция нервных окончаний за пространство, особенно в развивающемся неокортексе, – доказанный факт, и раннее развитие органа дает преимущество в этой борьбе.

Я не силен как теоретик, но не могу не высказать заманчивое предположение. Что, если один из способов, которым эволюция подправляет карты мозга, – это изменение сроков развития сенсорной единицы? Если хочешь припарковаться поудобнее, надо выехать пораньше. Кстати, при развитии органов зрения у приматов центральная ямка сетчатки тоже закладывается раньше, чем периферические области<sup>8</sup>.

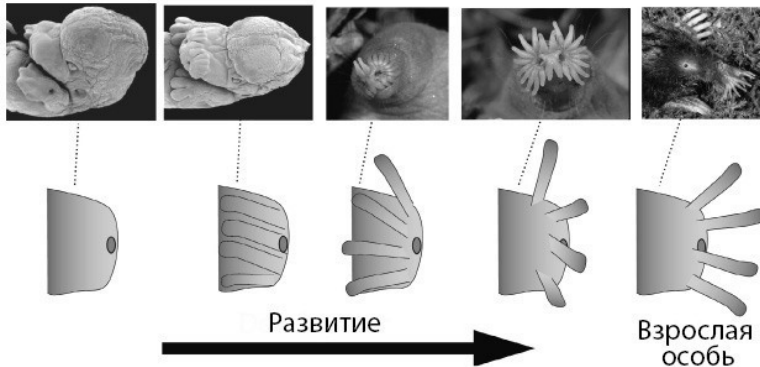
# Развитие, эволюция и гольф-клуб

Давайте представим, что нам нужно слепить звездоноса из пластилина. Как вылепить его звезду? Если мы работаем с одним куском пластилина, есть два варианта. Можно вытягивать отростки по отдельности из передней части морды, добирая недостающий материал у основания для достижения нужной длины. Или можно вытянуть один большой отросток в форме веера или лопатки, а затем разрезать его на несколько маленьких отростков, удалив лишний пластилин. Оба метода широко используются в лепке и оба близки к тому, как в реальности развиваются самые разные отростки в животном мире. Хороший пример – человеческая рука. В процессе ее развития природа использует обе стратегии: сначала из бугорка на поверхности тела развивается конечность, а затем из кистевой пластины на ее конце формируются пальцы (за счет постепенного отмирания клеток в пространстве между ними).

Эти два основных механизма – отращивание нужной формы и формирование ее за счет удаления материала – кажутся в высшей степени удобными и логичными, и именно так у большинства животных развиваются конечности и отростки. Опять же, как еще? Казалось бы, все разумные варианты исчерпаны. Однако звездоносы пошли своим путем.

На раннем этапе развития у эмбриона нет никаких при-

знаков будущей звезды, и кончик носа представляет собой просто гладкий слой эпидермиса. Затем довольно внезапно появляется «протозвезда», которая выглядит как одиннадцать валиков с каждой стороны морды. Но что это? Звезда в сложенном виде? Или звезда, спрятанная под кожей и формирующаяся внутри носа, чтобы показаться в свое время? Ни то ни другое. Это просто валики – волны на поверхности кожи формирующегося носа. По мере развития валики становятся более выраженными, но по-прежнему не являются отдельными отростками. У них нет нижней части. Они лишь намечены бороздками, как пальцы у Сфинкса. Вскоре под этими эпидермальными волнами вырастает новый слой эпидермиса, и каждый из валиков становится отдельной трубочкой, прикрепленной к носу эмбриона по всей длине. А уже после рождения звездоноса эти трубочки проступают целиком, отделяются от морды и отклоняются вперед, образуя отростки звезды, которые мы видим у взрослой особи<sup>9</sup>.



2.7. Развитие звезды «задом наперед». Вместо формирования отдельных отростков на носу крота образуются обращенные назад трубчатые структуры, которые затем отделяются и отклоняются вперед. Этот процесс отличается от развития аналогичных органов у других животных

Получается, что кожа кончика каждого отростка представлена тканью лицевой области, расположенной дальше от носа, чем ткань основания. То есть орган формируется «задом наперед», а такой механизм развития не наблюдается больше ни у одного представителя царства животных. Это, мягко говоря, нестандартный подход, а говоря откровенно – просто нелепо. Думаю, если на уроке лепки из пластилина кто-то решит сформировать звезду таким способом, этот кто-то как минимум закончит работу последним. Положа руку на сердце, я думаю, что такое даже в голову никому не

придет. Это совершенно неразумно.

Почему же развитие происходит именно так? Судя по всему, звездонос просто обожает оказываться в центре самых любопытных научных теорий и споров. Сначала речь шла о соматосенсорных картах неокортекса, а теперь – о взаимосвязи между внутриутробным развитием и процессом эволюции. В 1977 году известный палеонтолог и популяризатор науки Стивен Джей Гулд опубликовал свою первую книгу, «Онтогенез и филогенез» (*Ontogeny and Phylogeny*)<sup>10</sup>. Она была посвящена именно этой взаимосвязи (и вполне могла бы называться проще – «Развитие и эволюция»). Гулд особо подчеркивал тот факт, что эволюция не может позволить себе роскошь, доступную скульпторам, архитекторам и инженерам, и создавать что-то с нуля. Напротив, эволюция – это мастер, создающий новое, переиначивая пути развития старых форм, да еще и с дополнительным условием: все новое должно работать максимально эффективно. Зачастую это приводит к удивительным решениям, и сама их странность – лучшее доказательство эволюции. Если говорить точнее, Гулд, да и не только он, отмечает, что из-за такого кустарно-экспериментаторского характера эволюции иногда в процессе эмбрионального развития организма «воспроизводятся» стадии эволюционного процесса.

Иными словами, экстравагантное развитие лучей звезды у звездоноса может быть связано с тем, что на носу его предка органы Эймера располагались в виде отдельных полос, на-

правленных назад. И если в процессе эволюции они постепенно приподнимались и отделялись от кожи, то последовательность эволюционных этапов может отражаться в последовательности развития звезды у современного звездноноса.

Эта гипотеза эволюции звезды звучала очень здорово, но ей не хватало доказательств. Я даже не знал, существовали ли у звездноноса такой предок. Ископаемых кротовых носов не существует, вот в чем проблема. Но надежда оставалась: в мире насчитывается более тридцати видов кротов, и если хотя бы у одного из них обнаружится «протозвезда», это будет даже лучше окаменелости. К тому времени я уже познакомился со многими исследователями кротов и знал, что на Западном побережье США обитает вид, который весьма логично называется тихоокеанским кротом (*Scapanus orarius*) и с которого стоило начать.

Я немного покопался в литературе, и у меня возникла идея. Оказалось, что тихоокеанский крот наносит огромный ущерб фермам в округе Тилламук штата Орегон. Так что я прилетел в Портленд, арендовал там машину, доехал до Тилламука и заселился в прибрежный отель. Оказавшись в номере, я первым делом открыл телефонную книгу и позвонил в ближайший гольф-клуб.

– Здравствуйте! Скажите, пожалуйста, страдает ли ваше заведение от кротов?

– Разумеется. – В женском голосе слышалось подозрение. – Почему вы спрашиваете?

– Я бы хотел подъехать и поймать парочку особей, если позволите.

– Нет-нет, спасибо, мы уже решаем проблему. Нам не нужны морильщики. – Она явно собиралась повесить трубку.

– Постойте, я биолог. Я не ищу работу, кроты нужны мне для исследования, я их поймаю бесплатно.

Понадобилось еще немного времени, чтобы убедить женщину, что я не мошенник. Оказалось, что кротов здесь столько, что разные компании постоянно навязывают услуги по их отлову и истреблению. Наконец она убедилась в моих честных намерениях и разрешила приехать.

# Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «Литрес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на Литрес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.