

*Дорогой матери и дорогому отцу,
которые создали мой геном
и вылепили мой коннектом*

Введение

Ни дороге, ни тропинке не пробраться сквозь этот лес. Длинные, тонкие, гибкие ветви деревьев распространились повсюду, заполняя всё пространство благодаря своему безудержному росту. Даже солнечному лучу не под силу осветить узкие промежутки между переплетенными ветвями. Все деревья в этом темном лесу выросли из ста миллиардов семян, посеянных вместе. И каждое дерево обречено умереть в тот же день, что и его собратья.

Это волшебный лес. В нем есть всё. Более того, иногда мне кажется, что он — вообще всё на свете. Каждая книга и каждая симфония, каждое безжалостное убийство и каждый акт милосердия, любовные утехы и жаркие ссоры, шутки и горести, — всё берет начало именно в этом лесу.

Как ни удивительно, лес этот уместается в емкости диаметром меньше фута. И подобных лесов на Земле семь миллиардов. Случилось так, что и вам выпало присматривать за таким. Речь идет о лесе, который произрастает внутри вашего черепа. А деревья в лесу — особые клетки, именуемые нейронами. Задача нейробиологии¹ — исследовать эти загадочные ветви, приручить джунгли нашего сознания (см. рис. 1).

Нейробиологи уже начали подслушивать звуки этих джунглей — электрические сигналы в мозгу. Ученые сумели запечатлеть фантастические формы леса с помощью скрупулезных рисунков и точнейших фотографий нейронов. Но можно ли понять весь гигантский лес по нескольким разрозненным деревьям?

¹ В последние 5–6 лет в отечественной научно-популярной литературе всё чаще встречается термин «нейронаука», прямая калька с английского термина «neuroscience». Нейронаука не ограничивается собственно биологией и может включать в себя, например, нейropsychологию. В дальнейшем мы будем в зависимости от контекста использовать термины «нейробиология», «нейрофизиология» и лишь изредка — более обобщенный термин «нейронаука». (Здесь и далее — примечания переводчика.)

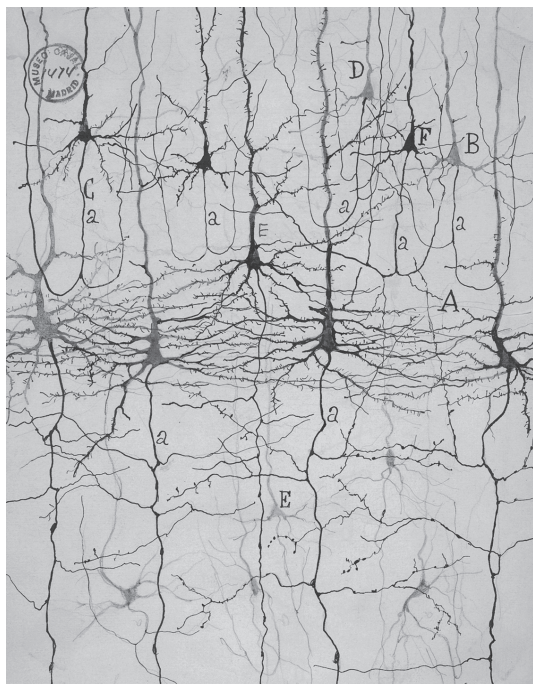


Рис. 1. Джунгли сознания: нейроны коры головного мозга, окрашенные по методу Камилло Гольджи (1843–1926) и зарисованные Сантьяго Рамоном-и-Кахалем (1852–1934)¹

В XVII веке французский философ и математик Блез Паскаль писал о необъятности Вселенной:

Пусть человек созерцает Природу во всем ее обширном величии; пусть отстранит от своих глаз низменные предметы, что окружают его, и увидит ослепительный свет, озаряющий мир подобно вечному маяку; пусть Земля предстанет перед ним как малая точка, лежащая в границах огромного круга, описываемого этой звездой, и пусть он затрепещет при мысли, что эта бескрайняя окружность сама по себе кажется лишь малой песчинкой с точки зрения тех звезд, что движутся по небосводу.

¹ Подробнее о Гольджи и Кахале см. в главе 8.

Пораженный и смущенный этими раздумьями, Паскаль признавался, что его страшит «вечное безмолвие этих бесконечных пространств». Он размышлял о пространстве *внешнем*, о космосе, однако нам достаточно мысленно обратиться внутрь себя, чтобы разделить его страх. У каждого из нас внутри черепа располагается орган столь неизмеримо сложный, что его вполне можно назвать бесконечным.

Я сам нейробиолог и в свое время лично ощутил этот паскалевский ужас. Ощущал я и связанное с ним смущение. Иногда мне приходится публично выступать, рассказывая о положении дел в нашей сфере науки. После одного из таких выступлений меня буквально засыпали вопросами. Что вызывает депрессию и шизофрению? В чем необычность мозга Эйнштейна или Бетховена? Как научить моего ребенка лучше читать? Мои ответы не удовлетворили слушателей, и я увидел разочарование на их лицах. Наконец я со стыдом извинился перед аудиторией. «Простите, — сказал я. — Вы подумали, что я профессор, поскольку многое знаю. Но на самом деле я профессор, потому что знаю, как многого я *не знаю*».

Попытки изучить такой сложный объект, как мозг, могут показаться едва ли не тщетными. Миллиарды его нейронов напоминают деревья множества пород и имеют фантастические очертания. Лишь самые целеустремленные исследователи надеются хотя бы одним глазком заглянуть внутрь этого леса, но даже они видят очень мало и очень плохо. Неудивительно, что мозг остается загадкой. Моих слушателей интересовали дефектные или гениальные мозги, но даже обычная работа обычного мозга еще ждет своего исчерпывающего объяснения. Каждый день мы вспоминаем прошлое, воспринимаем настоящее, воображаем будущее. Каким образом наш мозг справляется со столь непростыми задачами? Пожалуй, тут есть пока лишь один уверенный ответ: никто этого по-настоящему не знает.

Устрашенные сложностью человеческого мозга, многие нейробиологи предпочли изучать животных, поскольку нейронов у них значительно меньше, чем у человека. Червь, изображенный на рис. 2, лишен того органа, который мы именуем мозгом. Нейроны у него рассеяны по всему телу, а не сосредоточены в отдельном органе. Вместе они



Рис. 2. Круглый червь *C. elegans*

образуют нервную систему, состоящую всего из трех сотен нейронов. Что ж, с этим еще можно попробовать справиться. Наверняка даже Паскаль, с его склонностью к депрессии при мысли о бесконечной сложности природы, не испугался бы нейронного леса червя *Caenorhabditis elegans* (*C. elegans*) — так по-научному называется этот червячок длиной всего один миллиметр.

Каждый нейрон этого червя имеет характерное местоположение, форму и даже имя, присвоенное специалистами. Черви в чем-то подобны станкам, массово изготавливаемым на конвейере. У любого имеется нервная система, состоящая из одного и того же набора деталей, и эти детали всегда расположены одинаково.

Более того, существует полная карта этой стандартизированной нервной системы. Результат (см. рис. 3) напоминает летную карту из тех, что встречаются на последних страницах журналов, выпускаемых авиакомпаниями. Четырехбуквенное имя каждого нейрона похоже на буквенный код, имеющийся у каждого аэропорта мира (правда, аэропортам присваивают трехбуквенные). Линии отражают *связи* между нейронами, подобно тому как линии на летной карте соответствуют маршрутам между городами. Мы называем два нейрона «связанными», если в точке, где они соприкасаются, есть небольшой стык, сочленение, именуемое *синапсом*. Через синапс один нейрон отправляет послания другому.

Инженеры знают: для того, чтобы сделать радиоприемник, нужно определенным образом соединить проводами различные детали — резисторы, конденсаторы, транзисторы. Нервная система представляет собой набор нейронов, связанных «проводами» — тонкими ветвями, о которых мы говорили выше. Вот почему карту, показанную на рис. 3, первоначально называли «монтажной схемой» или «схемой

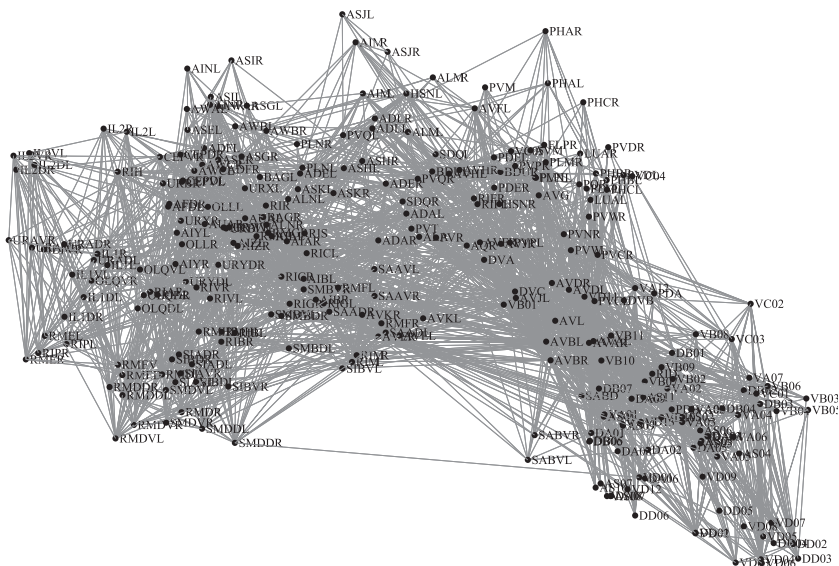


Рис. 3. Карта нервной системы *C. elegans* — «коннектом»

подключения». Недавно появился новый термин — *коннектом*. Это слово ассоциируется не с электротехникой, а с геномикой. Вероятно, вы слышали про ДНК — длинную молекулу, напоминающую цепь. Отдельные звенья этой цепи — *нуклеотиды*, небольшие молекулы четырех типов, обозначаемые буквами А, Г, Ц и Т¹. Ваш *геном* — последовательность нуклеотидов вашей ДНК, представляемая как длинный ряд букв четырехбуквенного алфавита. На рис. 4 показан фрагмент этой книги в три миллиарда знаков. Полный ее объем — миллион страниц.

А коннектом — вся совокупность связей между нейронами нервной системы. Сам термин (как и *геном*) предполагает полноту охвата. Коннектом — не одна связь и даже не множество. Это *все* связи. Ваш мозг в принципе можно исчерпывающе описать такой же диаграммой, как и для червя *C. elegans*, только эта диаграмма будет куда сложнее. Позволит ли ваш коннектом узнать о вас что-нибудь интересное?

¹ Аденин, гуанин, цитозин и тимин.

[...]