

УДК 57
ББК 28
Б78

Перевод с французского Нины Дубыниной

Бокар, Ж.

Б78 Общение всего живого = *La Communication du vivant* / Жоэль Бокар ; перевод с французского Нины Дубыниной. — Минск : Дискурс, 2020. — 224 с.
ISBN 978-985-90515-2-4.

Долгое время считалось, что общаться способны только представители вида *Homo sapiens*. Но речь не единственный способ общения. Все живые существа: животные, растения, бактерии, грибы и даже каждая их клетка — используют химическое общение, зачастую очень сложное и исключительно эффективное, а многие, кроме того, применяют для связи друг с другом жесты, звуки и световые сигналы. И дело не просто в удовольствии от контактов с себе подобными. Коммуникация очень важна для жизни и эволюции — настолько, что высказывание Декарта «Я мыслю, следовательно, я существую» вполне можно было бы заменить фразой «Я общаюсь, следовательно, я существую».

УДК 57
ББК 28

ISBN 978-985-90515-2-4 © Joël Bockaert, 2017
© ODILE JACOB, 2017
© DRFP/Odile Jacob, фотография автора
на обложке, 2019
© Перевод на русский язык, издание на русском
языке, оформление. ЧУП «Издательство
Дискурс», 2020

Оглавление

Введение	11
-----------------------	----

Глава 1. Коммуникация на уровне бактерий:

хорошее начало	17
-----------------------------	----

Происхождение жизни и бактерий	18
--------------------------------------	----

Бактерии вступают в диалог со своими соседями и со своими хозяевами.	21
--	----

Вирулентность — результат коммуникации и сотрудничества.	25
--	----

Чтобы выжить, надо «прикрыться»: биопленки. . . .	27
---	----

Общение с помощью туннелей	29
----------------------------------	----

Почему необходимы коллективные действия.	30
--	----

Являются ли симбиотические бактерии нашим вторым «я»?	31
--	----

Внутриклеточный симбиоз эукариотических клеток и бактерий.	37
--	----

Глава 2. Общение с помощью химических

сигналов	39
-----------------------	----

Феромоны	41
----------------	----

Запахи и вкусовые ощущения	53
----------------------------------	----

Гормоны.	59
---------------	----

Нейромедиаторы.	67
----------------------	----

Появление нейрофармакологии и ее успех	71
Наркотики или нейромедиаторы?	81
«Умные наркотики»: надежды и проблемы	85
Нейромедиатор в газообразном состоянии... и достаточно мощный	89
Глава 3. Общение с помощью физических импульсов	91
Магнитное поле и коммуникация	92
Электричество как средство связи	93
Свет во всем его спектре	95
Акустическая коммуникация: вибрация, сейсмические волны и звуки	98
Осязание и проприоцепция	104
Глава 4. Коммуникационные рецепторы	107
Долгий путь от гипотезы до открытия рецепторов	107
Две Нобелевские премии за рецепторы, сопряженные с G-белками	111
Рецепторы, сопряженные с G-белками: общаться, чтобы жить и получать удовольствие	115
Рецепторы — ионные каналы	117
Другие рецепторы информационных молекул ...	121
Механорецепторы	122
Глава 5. «Кем бы я был без тебя — лепечущим младенцем?»	125
Что такое человек?	125
Общение и социальный интеллект	127
Особенности человеческого мозга	139

Обучение и память: формировать и стабилизировать синаптические сети	145
Язык — «Большой взрыв» в коммуникации	152
Лицо и взгляд	156
Смех, улыбка, слезы	162
Общение с помощью тела	165
Подражание и общение	166
Эмпатия и коммуникация	168
Общение на уровне бессознательного	170
Глава 6. Удовольствие от общения и его патологии	175
Удовольствие от общения и сотрудничества	176
Патологии общения у человека	179
Глава 7. Гиперкоммуникация	187
Не путайте информацию, коммуникацию и интернет-пропаганду	199
Заключение. «Я мыслю, следовательно, я существую» vs «Я общаюсь, следовательно, я существую»	201
Благодарности	207
Библиография	209

Посвящается Сильвии

Введение

Двадцать первый век станет эпохой обмена информацией. Если вы подключены к Сети, то, чем бы вы ни занимались, в какой бы точке планеты ни находились, на вас обрушивается лавина уведомлений, СМС-сообщений, телефонных звонков и электронных писем. Если вы хотите узнать новости от друзей или сообщить им что-то о себе, то вы заходите в «Фейсбук» или «Твиттер» и смотрите их фотографии в «Инстаграме», а это может занять целый день! У подростков темп жизни задается теми СМС, которые они получают и отправляют (в среднем более пятидесяти в течение дня).

Информационные технологии развиваются удивительно быстро. Развитие интернета началось в 1969 году в недрах Министерства обороны США. В 1990-х годах ученые из ЦЕРН создали первую систему гипертекста (<http>), и благодаря этому интернет, названный Всемирной паутиной, или Глобальной сетью, стал доступен для широкой публики. В 2012 году к интернету были подключены более 2,5 миллиарда пользователей. Сейчас за два дня появляется и передается больше информации, чем за всю предшествующую историю человечества. Эти огромные потоки информации называются большими данными (*big data*). Совокупность этих данных столь велика, что их уже трудно анализировать с помощью классических информационных методов. Можно сказать, что произошла настоящая революция, и это событие достойно особого внимания. Именно об этом явлении с восторгом говорит Мишель Серр в книге под названием «Девочка с пальчик». Героиню зовут так, потому что она ловко набирает СМС-сообщения и имейлы

при помощи больших пальцев. Мишель Серр полагает, что речь идет о появлении человека нового типа. Он наконец-то полностью свободен: имеет доступ ко всем знаниям, ему не нужны ни наставники, ни учителя. Он генерирует знания демократическим путем благодаря горизонтальным связям. Это культура сотрудничества вики, созданная десять лет назад Уордом Каннингемом («Википедия», «Викибукс», «Викиквотс»).

Откуда взялась эта потребность быть постоянно на связи с себе подобными и чувствовать себя частью сетевого сообщества, а также страх оказаться исключенным из него?

Homo sapiens (человек разумный) так быстро и охотно освоил новые информационные технологии потому, что получает от этого особое удовольствие, своего рода эмоциональную компенсацию. Поскольку общение дает преимущества в процессе естественного отбора, оно принимает все более сложные формы у таких социальных видов, как муравьи, пчелы, приматы и люди. Возможность получать удовольствие только ускоряет процесс. Любое удовольствие, которое повторяется неограниченное количество раз, стоит только нажать кнопку, может превратиться в зависимость.

Зависимость от средств коммуникации — болезнь современного общества. Для современного человека, живущего в глобальном мире, коммуникация играет такую же роль, как и совместная ловля блох у обезьян: они чувствуют себя менее одинокими. На самом деле отсутствие мобильной связи провоцирует синдром рабской зависимости и очень тяжело переживается теми, кто подвержен ей. Диагностика очень проста: человек страдает, если мобильный телефон не под рукой, а в случае его потери он испытывает беспокойство и панику. Из результатов недавно проведенного опроса следует, что 66 % опрошенных признают себя зависимыми от мобильного телефона (женщины в большей степени, чем мужчины). Наиболее подвержены этой зависимости лица в возрасте 18–24 лет.

В Японии собираются запустить большую программу исследований, призванную отвлечь детей от виртуальной реальности и видеоигр. Дети руководителей компаний «Гугл», «Эпл», «Фейсбук» и «Амазон» учатся в школах, где нет интернета. В США процветают реабилитационные центры digital free — не подключенные к Глобальной сети. Во Франции «Виши Спа Отель» предлагает отдых без интернета: гости сдают мобильные телефоны в сейф вместе с драгоценностями, там нет телевизора и звучит только расслабляющая музыка.

Человек разумный биологически предрасположен к общению; его мозг может мыслить за другого, и поэтому он способен к чрезвычайно разнообразным и сложным формам общения. Развитая речь стала основным фактором, ускорившим процесс человеческой коммуникации. Благодаря речи можно описывать события, рассказывать истории, соотнося их с определенным временем, создавать мифы и социальные нормы. С помощью речи нам легче планировать совместные действия и сотрудничать. Вполне очевидно, что позитивным фактором эволюции является именно сотрудничество, а не противостояние и насилие. Кроме того, обладая способностью изобретать, учиться и аккумулировать знания, *Homo sapiens* постоянно создает новые, все более сложные инструменты для общения. Так когда же в живом мире возникла такая потребность? Недавно ученые открыли, что бактерии общаются и сотрудничают. Это помогает им поражать другие организмы, устанавливая внутривидовые связи и опознавать другие виды.

Одноклеточные грибы типа пивных или пекарских дрожжей обладают коммуникационной системой, благодаря которой они спариваются и соединяются. Для воспроизводства половым путем индивиды испускают химические сигналы — феромоны, их опознают рецепторы, находящиеся на клеточной оболочке подобных индивидов противоположного пола. Ученые сделали еще более удивительное открытие: эти рецепторы имеют такой же

химический состав, что и рецепторы гормонов, нейромедиаторов, молекул запаха, молекул сладкого или горького, а также молекул света. У человека данная группа включает около тысячи рецепторов, то есть 3–4 % от всей совокупности генов. Это рецепторы, сопряженные с G-белками (GPCR) [3; 4]. Таким образом, биологические системы коммуникации появились сразу после возникновения жизни на Земле. Затем они усложнились и стали более разнообразными. Для этого, как заметил Франсуа Жакоб в книге «Игра возможностей» [5], были приспособлены молекулы, присутствовавшие в структуре более древних видов: «Биологическая эволюция основана на молекулярном конструировании, на повторном использовании старого для создания нового».

Общение в живой природе не ограничивается индивидами. Оно касается и взаимодействия внутренних органов, что необходимо для нормального функционирования и сотрудничества всех клеток многоклеточного организма. Совершенно очевидно, что эволюция многоклеточных существ была тесно связана с приобретенной их клетками способностью вступать в контакт друг с другом.

Мы будем говорить о разных видах межклеточной коммуникации в живом организме, но появление нервной системы имеет здесь особое значение. Ученые считают, что нейроны в том виде, в каком они нам известны сейчас, возникли в самом начале эволюции, примерно 600 миллионов лет назад. Электрический импульс проходит через нейроны гораздо быстрее, чем распространяются такие химические молекулы, как феромоны или гормоны. Благодаря нейронам, которые образуют сети и цепи, у животных появились новые возможности. Действительно, если представить себе, что сети могут создаваться, изменяться и стабилизироваться в процессе обучения, то с помощью нервной системы можно генерировать память и даже мышление.

Основной тезис этой книги заключается в том, что общение с себе подобными, друзьями или врагами, взаимодействие с окружающей экологической средой или между

клетками одного и того же организма является наиважнейшим фактором для появления жизни и ее эволюции. Это взаимодействие, которое наблюдается даже у бактерий, постоянно усложняется. У человека же оно превратилось в потребность, для удовлетворения которой он создает систему компенсационных вознаграждений и получает от этого удовольствие. И напротив, у человека, лишившегося общения, может развиваться психическое расстройство.

Куда же приведет человечество потребность в общении?

Глава 1

Коммуникация на уровне бактерий: хорошее начало

Человечество создало глобальную экономику, но столкнулось при этом с серьезными трудностями и кризисами, которые тоже носят глобальный характер. Возникли совершенно новые проблемы: как совместить демографический рост (1 миллиард человек в 1800 году и 7,5 миллиарда в 2015 году) и ограниченность или даже истощение основных природных ресурсов (вода, углеводороды, редкоземельные элементы и т. д.)? Как поведут себя новые сообщества? Будет ли человечество развивать стратегии сотрудничества и альтруизма, чтобы справиться с этими вызовами, или, наоборот, возобладают эгоизм и агрессивность? Сможет ли изучение социального поведения животных послужить положительным примером для людей и помочь им создать такие механизмы коммуникации, которые будут способствовать мирному и гармоничному развитию человеческих сообществ?

Происхождение жизни и бактерий

Примерно 4,5 миллиарда лет назад по Млечному Пути распространялись облака пыли и газа. Некоторые пылевые частицы склеились — возникло Солнце, вокруг которого из оставшейся пыли образовался диск. Внутри него пыль продолжала накапливаться, вследствие чего появились четыре планеты земной группы: Венера, Земля, Марс и Меркурий. Они начали остывать только спустя 300 миллионов лет, и после этого появилась необходимая для жизни вода. Возможно, она возникла потому, что под воздействием жары из древних скал начал выделяться пар. А может быть, из-за того, что Землю бомбардировали кометы? Некоторые астрономы считают, что первоначально на Земле не было воды, а океаны образовались из льда, попавшего сюда с комет. Однако космический зонд «Розетта», который в ноябре 2014 года сел на комету Чурюмова — Герасименко, обнаружил, что тамошняя вода содержит больше тяжелого водорода, чем вода наших океанов. Это ставит под сомнение гипотезу о том, что воду к нам занесли кометы. Дискуссия на этот счет продолжается.

Происхождение жизни на Земле сегодня изучается очень активно. Считается установленным, что жизнь возникла примерно 3,6 миллиарда лет назад. Тем не менее до сих пор непонятно, что стало ее источником. До того момента, как возникла жизнь в форме бактерий, появились органические молекулы, способные входить в состав живых организмов.

Советский ученый Александр Опарин (1894–1980) и британец Джон Холдейн (1892–1964) предположили, что жизнь образовалась из космического «бульона» и первичной атмосферы, содержавшей воду, углекислый газ, аммиак, азот и, возможно, соединения серы [6]. В 1953 году Стенли Миллер и Гарольд Юри провели первый эксперимент для подтверждения этой гипотезы [7]. Они пропустили

электрические разряды в замкнутом пространстве, содержащем воду, метан, аммиак и водород, чтобы симулировать эффект молнии. Ученым удалось получить ряд молекул аминокислот*. (Всего есть 22 аминокислоты, которые обычно присутствуют в организме любого живого существа; соединяясь определенным способом, они образуют пептиды** и белки, они же протеины***.) В 1960-е годы многие лаборатории повторили этот опыт. Изменив состав элементов и условия эксперимента, они получили азотистые соединения, состоящие из дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК является носителем генетической информации, закодированной в генах) и рибонуклеиновой кислоты (РНК копируют особые последовательности ДНК; некоторые из них — матричные РНК — используются для синтеза белков). Таким образом, молекулы, необходимые для возникновения жизни, можно синтезировать на основе простых химических молекул, которые присутствовали в «бульоне» и в первичной атмосфере.

Многие критиковали подобные эксперименты, так как первичная атмосфера состояла в основном из углекислого газа, а он не способствует синтезу некоторых молекул. Кроме того, совершенно непонятно, как происходило поэтапное формирование клеток. Должна была образоваться мембрана, окружающая все эти молекулы, и нужен был механизм воспроизводства генетического материала, который совершенно необходим в момент деления клетки. Маловероятно, что все события произошли столь быстро (менее чем за миллиард лет). Но стоит признать, что

* Аминокислоты — это молекулы, которые обладают кислотной (-COOH) и аминной (-NH₂) функциями, связаны с одним атомом углерода (C), одним атомом водорода (CH) и имеют боковую цепь. У каждой аминокислоты, встречающейся в живой природе, своя боковая цепь.

** Молекула, образованная путем соединения небольшого числа аминокислот.

*** Молекула, образованная путем соединения большого числа аминокислот.

довольно трудно представить процессы, которые могли происходить на этом временном отрезке.

Конечно, предлагались и другие теории происхождения жизни. Некоторые ученые считают, что молекулы, необходимые для ее зарождения, сформировались в первичном облаке. Они, кстати, обнаруживаются в межзвездном пространстве или на кометах. Космический зонд «Розетта» нашел их на комете Чурюмова — Герасименко. Земля оставалась очень горячей еще более 500 миллионов лет, и, может быть, из-за этого разрушались присутствующие там органические молекулы. Существует и такое предположение: после того как Земля остыла, произошло повторное «осеменение» органическими молекулами, доставленными с комет. Возможно, именно это и послужило причиной зарождения жизни на нашей планете.

Другие ученые полагают, что у всех живых организмов один общий предок — LUCA (англ. Last universal common ancestor — «последний универсальный общий предок»), который жил на Земле 3,5–4 миллиарда лет назад. Возможно, были и другие предшественники, но они не оставили потомства, способного эволюционировать. Жизнь как эволюция видов не является линейным процессом. Она шла различными путями, но, как нам известно, только один из них оказался успешным.

Какими материальными свидетельствами, оставшимися от эпохи зарождения жизни, мы располагаем? Окаменевшие строматолиты, содержащие бактерии, были обнаружены в скальных породах Южной Африки и Австралии, которые насчитывают примерно 3,5 миллиарда лет. Строматолиты — это структуры, образовавшиеся благодаря склеиванию осаждающихся частиц со слоем цианобактерий. В Гренландии недавно были найдены строматолиты, которым около 3,7 миллиарда лет. Очевидно, это следы древнейшей формы жизни на Земле. В наше время строматолиты можно обнаружить в таких агрессивных средах, как соляные озера или лагуны. Цианобактерии существуют благодаря фотосинтезу и совершенно не зависят от внешних

источников питания. Таким образом, они могут заселять различные водные среды. Цианобактерии выделяют кислород, и поэтому ученые предполагают, что именно они производили его в первоначальной атмосфере.

Бактерии вступают в диалог со своими соседями и со своими хозяевами

В теплых водах гавайских лагун только что вылупился из яйца прелестный маленький кальмар *Euprymna scolopes* (рис. 1). В окрестностях плавают несколько бактерий типа *Vibrio fischeri*. Их привлекает мускус, выделяемый вентральным карманом кальмара, который станет его люминесцентным органом [9; 10]. Реснички, расположенные по краям этого кармана, способствуют проникновению бактерий в его внутренние полости. Как только *Vibrio fischeri* оказывается внутри кармана, она выделяет трахеальный токсин [11]. Он так называется, потому что идентичен токсину *Bordetella pertusis*, который вызывает коклюш. Кашель — наиболее характерный симптом коклюша — возникает из-за того, что этот токсин разрушает реснички трахеи. Точно так же токсин, выделяемый бактерией *Vibrio fischeri*, будет разрушать реснички люминесцентного органа кальмара и трансформировать его.

Vibrio fischeri, которая живет в вентральном кармане кальмара, выделяет сигнальную молекулу — ацил-гомосеринлактон (АГЛ). Поскольку эта среда является чрезвычайно питательной, в течение дня плотность бактерий постоянно увеличивается. АГЛ постепенно накапливается и достигает такой концентрации, которая позволяет ему закрепиться на рецепторе LuxR. Соединение АГЛ-LuxR активирует ген, контролирующий синтез люциферазы. Люцифераза и люциферин вырабатывают свет в вентральном кармане кальмара, благодаря которому тропической

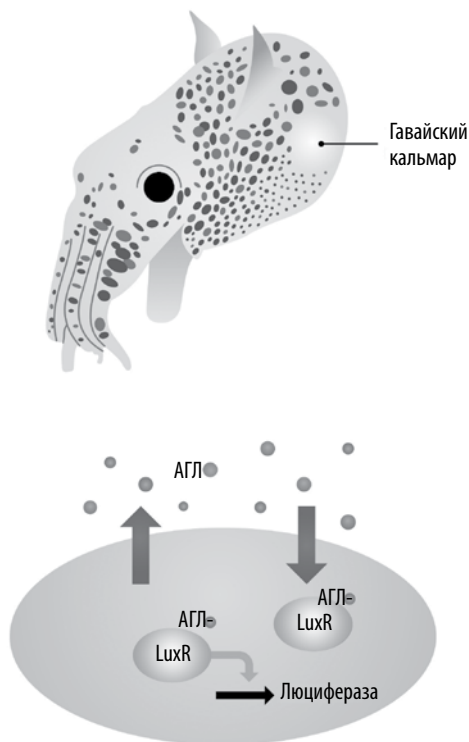


Рис. 1. Гавайский кальмар (сверху) и синтез люциферазы биOLUMИнесцентной бактерией *Vibrio fischeri* (снизу)

ночью при лунном свете его тень не видна хищникам. Такая система коммуникации через АГЛ-LuxR называется системой выявления кворума, потому что для коллективных действий, в данном случае для продуцирования света, необходим определенный кворум бактерий.

Люминесцентный орган, не имеющий ресничек или обладающий иной морфологией, не сможет принимать бактерий других видов. Уничтожая реснички, *Vibrio fischeri* приобретает право исключительной собственности на карман кальмара. Это открытие, сделанное Маргарет Макфол-Нгай из Висконсинского университета в Мадисоне, вызвало большое удивление. Никто не ожидал, что две бактерии,

существующие в совершенно разных экологических средах, могут выделять один и тот же токсин.

Это первый описанный в нашей книге пример тонкой коммуникации бактерий и многоклеточных организмов. Часто считают, что бактерии вредны и для хорошего самочувствия от них надо избавляться. Но такая плохая репутация не имеет под собой оснований. Существует около ста видов болезнетворных бактерий, но тысячи других видов, живущих на коже, в дыхательной системе и в кишечнике, не представляют опасности. В большинстве случаев мы мирно сосуществуем и они необходимы для нашего здоровья. Более того, бактерии существуют в состоянии симбиоза*. Когда же появились такие взаимосвязь и сотрудничество? Точно мы никогда не узнаем, но, скорее всего, началось все очень давно. Помните первичный бульон, где начали распространяться бактерии и где развились первые эукариоты одноклеточных и многоклеточных организмов? Им пришлось «договориться» и «выбрать» коммуникацию и взаимодействие вместо конфронтации.

Вернемся, однако, в воды лагуны, где растет *Euprymna scolopes*. Кальмар появился на свет несколько часов назад. Его люминесцентный орган уже созрел благодаря токсину бактерии *Vibrio fischeri*, которая имеет в своем распоряжении богатую кормовую базу, любезно предоставленную хозяином. Бактерия быстро размножается: ее численность удваивается каждые 20 минут, а плотность может достичь уровня 100 миллиардов на миллилитр.

А теперь да будет свет!

Каким же образом *Vibrio fischeri* продуцируют свет? Это происходит благодаря одной молекуле — люциферазе. Если концентрация *Vibrio fischeri* небольшая, то ген, ответственный за выработку люциферазы, не активизируется. *Vibrio fischeri* постоянно посылают в окружающую среду

* Симбиоз — тесный, длительный и полезный союз между двумя организмами, относящимися к разным видам. Оба организма оказывают друг другу услуги. Иногда они не могут существовать друг без друга.

химический сигнал — ацил-гомосеринлактон (АГЛ). Когда плотность бактерий увеличивается, АГЛ накапливается и достигает такого уровня концентрации, который позволяет ему закрепиться на рецепторе, называемом LuxR. Комплекс АГЛ-LuxR активирует ген, контролирующей выработку люциферазы (см. рис. 1). Этот механизм назвали принципом распознавания кворума [10]. Для того чтобы начался синтез люциферазы, нужно достичь определенного кворума — минимального количества бактерий.

Но какие же преимущества от совместного проживания с бактериями получает кальмар? Они делают его невидимым и тем самым защищают от хищников. Кальмар ведет ночной образ жизни, а в тропиках на мелководье при свете луны его тень хорошо видна врагам. Свет, который излучает вентральный карман, скрывает тень и делает его невидимым.

Через час после восхода солнца кальмар сбрасывает 90 % бактерий, которые ему больше не нужны. Зачем же их кормить? Ему вполне достаточно оставшихся бактерий, которые будут размножаться целый день, а вечером свечение появится снова.

Система распознавания кворума у бактерии *Vibrio fischeri* стала отправной точкой для изучения принципа взаимодействия бактерий. До 1970-х годов этот механизм коммуникации был совершенно неизвестен. Потом ученые обнаружили, что у бактерий есть различные функции, реализация которых требует коммуникации и кооперации. Грамотрицательные бактерии, к числу которых относятся и *Vibrio fischeri* (они называются грамотрицательными, так как не пропускают анилиновый краситель, открытый Гансом Кристианом Грамом), испускают информационные сигналы. Источником всех этих сигналов является ацил-гомосеринлактон. Таких бактерий насчитывается около сотни. Грамположительные бактерии (которые окрашиваются) подают сигналы пептидного типа, которые называются пептидами-самоиндукторами (autoinducing peptide, AIP).