

НОАМ ХОМСКИЙ, РОБЕРТ БЕРВИК

ЧЕЛОВЕК ГОВОРЯЩИЙ ЭВОЛЮЦИЯ И ЯЗЫК

«Если судить по энергии, размаху,
новизне и влиянию его идей,
Ноам Хомский — возможно,
самый важный из живущих
сегодня интеллектуалов»

«Нью-Йорк таймс», Бук Ревью



Why Only Us

Language and Evolution

Robert C. Berwick

Noam Chomsky

The MIT Press
Cambridge, Massachusetts
London, England

НОАМ ХОМСКИЙ
РОБЕРТ БЕРВИК

.....

ЧЕЛОВЕК ГОВОРЯЩИЙ

ЭВОЛЮЦИЯ И ЯЗЫК



Санкт-Петербург · Москва · Екатеринбург · Воронеж
Нижний Новгород · Ростов-на-Дону
Самара · Минск

2019

Ноам Хомский, Роберт Бервик
Человек говорящий. Эволюция и язык

Серия «New Science»

Перевел с английского С. Черников

Заведующая редакцией	<i>Ю. Сергиенко</i>
Руководитель проекта	<i>О. Сивченко</i>
Ведущий редактор	<i>Н. Гринчик</i>
Литературный редактор	<i>Е. Рафалюк-Бузовская</i>
Художник	<i>С. Заматевская</i>
Корректоры	<i>Е. Павлович, О. Порохняева</i>
Верстка	<i>А. Барцевич</i>

ББК 81.2/7-0

УДК 81(09)

Хомский Ноам, Бервик Роберт

X76 Человек говорящий. Эволюция и язык. — СПб.: Питер, 2019. — 304 с.: ил. — (Серия «New Science»).

ISBN 978-5-4461-0915-9

Человеческий язык — уникальная система общения, которая есть только у *Homo sapiens*. Почему и, главное, зачем мы научились разговаривать? Почему любой из нас в раннем детстве легко и непринужденно усваивает родной язык, а изучение иностранных языков — непростое дело? Существовал ли язык неандертальцев, доводилось ли нашим предкам с ними разговаривать? Что такое гипотеза лингвистической относительности и как она влияет на наше понимание природы человека? Ответы на эти и многие другие вопросы вы найдете в книге Ноама Хомского — величайшего, эксцентричного и неукротимого лингвиста современности, — написанной в соавторстве с Робертом Бервиком, специалистом по искусственному интеллекту.

16+ (В соответствии с Федеральным законом от 29 декабря 2010 г. № 436-ФЗ.)

ISBN 978-0262034241 англ. © 2016 Robert C. Berwick and Noam Chomsky
ISBN 978-5-4461-0915-9 © Перевод на русский язык ООО Издательство «Питер», 2019
© Издание на русском языке, оформление ООО Издательство «Питер», 2019
© Серия «New Science», 2019

Права на издание получены по соглашению с The MIT Press. Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Изготовлено в России. Изготовитель: ООО «Прогресс книга».
Место нахождения и фактический адрес: 194044, Россия, г. Санкт-Петербург,
Б. Сампсониевский пр., д. 29А, пом. 52. Тел.: +78127037373.

Дата изготовления: 12.2018. Наименование: книжная продукция. Срок годности: не ограничен.

Импортер в Беларусь: ООО «ПИТЕР М», РБ, 220020, г. Минск,

17.12.18. Формат 60×90/16. Бумага офсетная. Усл. п. л. 19,000.

Доп. тираж. Заказ 8719.

«Можайский полиграфический комбинат»
143200, г. Можайск, ул. Мира, 93.

www.oaompk.ru, www.oaompk.ru тел.: (495) 745-84-28, (49638) 20-685

ОГЛАВЛЕНИЕ

Благодарности	6
Глава 1. Почему сейчас?	8
Эволюция теории эволюции	33
Тройственная модель, вокальное научение и геномика	67
Глава 2. Эволюция биолингвистики	85
Глава 3. Архитектура языка и его роль в эволюции	135
Глава 4. Треугольники в голове	163
За гранью естественного отбора	163
Что?	166
Кто?	208
Где и когда?	222
Как?	233
Почему?	246
Литература	249
Примечания	282

БЛАГОДАРНОСТИ

Эволюция в том виде, в котором мы ее знаем, не могла бы происходить без перемен, изменчивости, отбора и наследования. Эта книга не исключение. Нам повезло: множество людей выдвигали свои гипотезы по поводу изменчивости языка, описывали варианты его мутации. Но, как всегда бывает в биологии, эволюция — даже при искусственном отборе — несовершенна. Только мы сами, а не наши гены и уж точно не те, кто нам помогал, несем ответственность за все сохраняющиеся недочеты. Только с помощью дальнейших неоднократных (незначительных или серьезных) доработок главы этой книги могут стать «органом совершенства высшей степени». Время покажет. Мы надеемся: уже сейчас сможем передать нечто ценное, что пригодится следующему поколению, которое в дальнейшем сумеет объяснить загадку эволюции языка.

Мы в долгу перед Мэрилин Матц (Marilyn Matz), которой принадлежит идея этой книги. Мы хотим поблагодарить Королевскую академию наук и искусств Нидерландов, координировавшую проведение конференции,

которая легла в основу глав 3 и 4. Мы также благодарим главных организаторов этой конференции: Йохана Болхуса (Johan Bolhuis), Мартина Эверерта (Martin Everaert) и Рини Худжбрегтса (Riny Huijbregts). Глава 2 претерпела небольшие изменения с тех пор, как была впервые опубликована в сборнике *Biolinguistic Investigations* под редакцией Анны Марии Ди Шиулло (Anna Maria Di Sciullo) и Седрика Бозкса (Cedric Boeckx), издательство Оксфордского университета (Oxford University Press).

ГЛАВА 1. ПОЧЕМУ СЕЙЧАС?

Появляясь на свет, ребенок плачет, и этот плач — первый предвестник языка. Немецкие младенцы в своем плаче воспроизводят мелодику немецкой речи, а французские — французской. Этот навык, очевидно, приобретается *в утробе матери* (Mampe et al., 2009). В течение первого года жизни дети овладевают звуковой системой родного языка, а несколько лет спустя уже сами вовлекают взрослых в беседу. Эта удивительная видоспецифическая способность выучить любой человеческий язык (так называемая языковая способность) издавна вызывала серьезные вопросы. Какова природа языка? Как он функционирует? Как он развивался?

Последнему из этих вопросов — эволюции языка — и посвящена эта книга. Хотя часто утверждают обратное, на самом деле интерес к эволюции языка в генеративной

грамматике* не угасал с момента возникновения этого научного направления (середина XX века). Генеративная грамматика впервые в истории поставила задачу создать описания языков (то есть их грамматику), способные объяснить свойство, которое мы будем называть *базовым свойством* языка: язык — это вычислительная система, порождающая бесконечное множество выражений, каждое из которых имеет определенную интерпретацию в семантико-прагматической и сенсомоторной системах (грубо говоря, в мышлении и в звуковой речи). Поначалу задача казалась невыполнимой. Построение грамматики, хотя бы просто адекватной фактам соответствующего языка, требовало от лингвистов больших усилий, и в результате получались настолько сложные описания, что речи об их эволюции идти не могло. Вот почему работы, затрагивающие проблему эволюции языка, публиковались редко (за некоторыми важными исключениями).

Что же изменилось с тех пор? Прежде всего, лингвистическая теория достигла зрелости. Сложные системы правил ушли в прошлое, их сменили гораздо более простые, а значит, эволюционно более приемлемые подходы.

* Термин *generative grammar* имеет два значения: научное направление, возглавляемое Н. Хомским, а также созданный этим направлением способ формализованного описания языков и других подобных им систем. Здесь и далее *generative grammar* в первом значении переводится как «генеративная грамматика», а во втором значении — как «порождающая грамматика». — *Здесь и далее примеч. пер.*

Кроме того, в биологии и генетике прояснилось устройство некоторых важнейших биологических компонентов, обслуживающих язык, в первую очередь системы ввода-вывода вокального научения и продукции — это составная часть системы, которую мы будем называть экстернализацией. Таким образом, можно воспользоваться стратегией «разделяй и властвуй» и оставить в стороне этот сенсомоторный аспект экстернализации, сосредоточившись на более существенных свойствах языка.

Несмотря на нехватку эмпирических данных, отдельные аспекты происхождения языка стали более понятны за последние 20 лет, по мере развития лингвистической теории. В частности, теперь есть основания полагать, что ключевой компонент человеческого языка (тот двигатель, который приводит в действие синтаксис языка) куда проще, чем считали несколько десятилетий назад. И для эволюционной биологии, и для лингвистики это обнадеживающий факт. Биологам хорошо известно, что чем уже задан фенотип (буквально — внешняя форма, «то, что на виду»), тем лучше биологическое понимание того, как он мог развиваться, и, соответственно, тем меньше расхождение между человеком и другими видами, которые не обладают языком. Располагая этим лучше определяемым фенотипом, можно приступить к решению дилеммы, которая с самого начала омрачала дарвиновское объяснение эволюции языка. В литературе она известна как «проблема Дарвина» или «проблема Уоллеса» (более верное название) — по имени Альфреда Рассела Уоллеса, первооткрывателя (наряду с Дарвином) эволюции путем

естественного отбора. Уоллес первым указал на сложность, с которой может столкнуться любая адапционистская теория человеческого языка в стиле Дарвина: невозможно представить такую биологическую функцию, к выполнению которой не мог бы приспособиться вид, лишенный языка¹.

В самом деле, язык — это камень преткновения для разъяснений эволюции. С одной стороны, дарвинисту хочется видеть его развитие как градуальный переход от предковой формы путем незначительных модификаций. С другой стороны, язык, которым не обладает больше ни один животный вид, выглядит как биологический скачок, нарушающий принцип Линнея — Дарвина «Природа не делает скачков» (*Natura non facit saltum*): «Естественный отбор действует, только пользуясь слабыми последовательными вариациями; он никогда не может делать внезапных, больших скачков, а всегда продвигается короткими, но верными, хотя и медленными шагами» (Дарвин, 1859/1991: 165). Мы твердо уверены, что это противоречие между дарвиновской непрерывностью и изменениями можно устранить. В этом и заключается одна из главных целей наших очерков.

Что же сам Дарвин? Не отклоняясь от своих принципов непрерывности и бесконечно малых эволюционных шагов, в труде «Происхождение человека» (1871) он предложил «певческую» теорию (*Caruso theory*) эволюции языка: мужские особи, которые лучше пели, оказывались в половом отношении предпочтительнее для женских особей. А это, в свою очередь, вело к совершенствованию

голосового аппарата (так же, как, например, у павлина совершенствовался хвост). Улучшению вокальных данных сопутствовал общий рост объема мозга, что в конце концов привело к появлению языка как орудия мыслительной деятельности:

«По мере того как голос все более и более употреблялся в дело, голосовые органы должны были развиваться и совершенствоваться по закону наследования результатов упражнения, а это, в свою очередь, должно было повлиять на развитие речи. Нет, однако, ни малейшего сомнения, что соотношение между постоянным употреблением языка и развитием мозга представляло еще большую важность. Умственные способности у отдаленных прародителей человека должны были быть несравненно выше, чем у какой-либо из существующих обезьян, прежде чем даже самая несовершенная форма речи могла войти в употребление. С другой стороны, можно принять, что постоянное применение и усовершенствование речи оказало влияние на мозг, давая ему возможность и побуждая его вырабатывать длинные ряды мыслей. Длинный и сложный ряд мыслей не может теперь существовать без слов немых или громких, как длинное исчисление — без цифр или алгебраических знаков» (Дарвин, 1871/1953: 205–206).

Не так давно «певческая» теория Дарвина была в каком-то смысле возрождена. Ее обновленный вариант, основанный на современной лингвистической теории метрической структуры, предложил один из авторов

этой книги (Бервик) на первой конференции Evolang в Эдинбурге в 1996 году². Активным популяризатором одного из вариантов дарвиновской теории «музыкального протоязыка» стал в последние годы Фитч (Fitch, 2010). Эта теория, отмечает Фитч, во многих отношениях опередила свое время. Мы разделяем мысль Дарвина, высказанную в приведенной выше цитате, о тесной связи языка с мышлением, с «внутренним ментальным инструментом» (internal mental tool), по выражению палеоневролога Гарри Джерисона (Jerison, 1977: 55)*. Эмпирические лингвистические доводы в пользу этой точки зрения представлены в главе 3.

Вопреки мнению некоторых ученых, до 1990-х годов, когда возникла новая волна интереса к эволюции языка и «проблеме Дарвина», эта тема вовсе не была под замком — вроде сумасшедшего дядюшки, которого 30 лет продержали на чердаке. Совсем наоборот: в 1950-е, 1960-е и на протяжении 1970-х в Кембридже, штат Массачусетс**, она вызывала оживленный интерес. Эту заинтересованность отражает, например, предисловие Эрика Леннеберга к его книге «Биологические основания языка» (Biological Foundations of Language). В предисловии, датированном

* У авторов указана ссылка на работу Джерисона 1973-го, а не 1977 года, но это может быть не вполне точно: см. подробный комментарий к цитате из Джерисона в главе 2.

** Там расположен Массачусетский технологический институт (MIT), с которым связана академическая карьера обоих авторов.

сентябрем 1966 года, автор выражает признательность всем, с кем он сотрудничал «на протяжении последних 15 лет» (Lenneberg, 1967: viii), — Роджеру Брауну (Roger Brown), Джерому Брунеру (Jerome Bruner), Джорджу Миллеру (George Miller), Гансу Тойберу (Hans Teuber), Филипу Либерману (Philip Liberman), Эрнсту Майру (Ernst Mayr), Чарльзу Гроссу (Charles Gross), а также Ноаму Хомскому (Noam Chomsky). На наш взгляд, книга Леннеберга актуальна и сейчас. В особенности ее шестая глава «Язык в свете эволюции и генетики» (Language in the Light of Evolution and Genetics) до сих пор выглядит образцом тонкого эволюционистского мышления, как и более ранняя работа этого же автора (Lenneberg, 1964)*. Можно сказать, что наши очерки развивают проблематику, о которой уже писал Леннеберг.

Насколько нам известно, именно Леннеберг, опередив свое время, предложил вести лонгитюдный сбор речевого материала, адресованного ребенку (child-directed speech). Он открыл (по материалам наблюдений, проведенных в Школе Перкинса для глухих** в Уотертауне,

* В библиографии нет описания этой работы. Возможно, имеется в виду статья: Lenneberg, E. H. 1964. A biological perspective on language. In: *New directions in the study of language*, ed. E. H. Lenneberg. Cambridge, MA: MIT Press.

** На самом деле Школа Перкинса — это учебное заведение для слепых, хотя среди ее воспитанников есть и слепоглухие. Сам Леннеберг говорит, что наблюдения проводились в школах для глухих по всей стране (Lenneberg, 1967: 320).

штат Массачусетс) спонтанное изобретение жестового языка как полноценного человеческого языка; обнаружил, что язык успешно осваивается даже при тяжелых патологиях; предъявил данные, свидетельствующие о существовании критического периода для изучения языка. Леннеберг указал на разобщенность между синтаксисом языка и другими когнитивными способностями. Он ввел новые термины, например «готовность мозга к языку», использовал генеалогический анализ семей с языковыми расстройствами, изучая данные о состоянии гена FOXP2 как доказательство того, что язык опирается на генетику. Наконец, он заметил, что «нет необходимости предполагать существование особых “генов языка”» (Lenneberg, 1967: 265). Леннеберг также сравнил концепции «непрерывной» и «прерывистой» эволюции языка и высказался в пользу второй точки зрения отчасти потому, что ее подкрепляли важнейшие факты, например наблюдаемое единообразие языковой способности: «Одинаковая способность к пользованию языком у всех рас наводит на мысль, что это явление должно быть более древним, чем расовая дифференциация» (Lenneberg, 1967: 266).

Итак, интерес к вопросам, связанным с эволюцией языка, не угасал никогда. В 1950–1960-х годах, конечно, едва ли можно было добавить что-нибудь к тому, что об эволюции языка сказал Леннеберг. Типичные порождающие грамматики тех лет состояли из большого количества сложных трансформационных правил, применяемых в определенном порядке.

Чтобы увидеть, насколько все это замысловато, достаточно беглого взгляда на приложение II к «Синтаксическим структурам» Хомского (Хомский, 1957/1962: 522–526), где приводятся 26* глубоко детализированных правил для фрагмента английского языка. И все равно внимание исследователей к эволюции языка не ослабевало. Время от времени по этой теме проводились конференции, например, в 1975 году состоялась международная конференция в Нью-Йоркской академии наук (Harnad, Steklis and Lancaster, 1976). Тогда (и даже немного раньше — с середины 1960-х) уже было ясно, что сложные системы правил, совершенно несхожие в разных языках, хотя и могут адекватно описывать каждый язык в отдельности, не дают ответа, почему детям удастся настолько легко учить любой язык. Стало понятно, что отчасти эту загадку можно разгадать, выявив ограничения в биологической системе, отвечающей за изучение языка, — ограничения в универсальной грамматике (UG), теории наследственного компонента языковой способности³. На упомянутой конференции 1975 года один из авторов этой книги (Хомский) отметил — как и в начале этой главы, — что фенотип языка должен, по-видимому, подчиняться каким-то ограничениям, которые бы сужали цель эволюции. Так, действие языковых правил часто бывает ограничено до каких-то областей.

* На самом деле правил 27, а не 26. В английском издании «Синтаксических структур» 1957 года, как и во всех последующих переизданиях, нумерация правил сбита; в русском переводе 1962 года восстановлена верная нумерация.

Например, по-английски можно сказать *Who did Mary believe that Bill wanted her to see?* («Кого, как полагала Мэри, Билл хотел, чтобы она увидела?»), и местоимение *who* («кого») будет восприниматься как прямое дополнение при глаголе *see* («увидела»). Но аналогичное предложение невозможно построить, если местоимение *who* входит в именную группу, то есть нельзя сказать *Who did Mary believe the claim that John saw?* (букв.: «Кого Мэри поверила утверждению, что Джон увидел?») (Chomsky, 1976: 50)*. (См. об этом также в главе 4.) В заключении упомянутого доклада было сказано: «Есть все основания думать, что этот “ментальный орган”, человеческий язык, развивается в соответствии со своими генетически предопределенными характеристиками, и лишь небольшие модификации дают в результате тот или иной язык» (Chomsky, 1976: 57). Подобные вопросы возникли, как только были предприняты попытки создать порождающую грамматику хотя бы для одного языка.

В следующие десять лет похожие открытия стали появляться все чаще, к тому же был накоплен значительный массив систематических ограничений в универсальной грамматике, который стал известен как теория принципов и параметров (Principles and Parameters, P&P). Подробные трансформационные правила синтаксических структур (например, *пассивизация*, которая в английском языке

* Это так называемое передвижение (movement), или, более конкретно, извлечение (extraction), вопросительного слова. Русские переводы примеров выглядят не очень удачно, потому что русский синтаксис устроен иначе.

переводит именные группы из позиции прямого дополнения в позицию подлежащего, или *вопросительная инверсия*, которая в вопросительных предложениях передвигает слова типа *who* («кто») в начало) в теории принципов и параметров были заменены единой операцией «Передвинь любую составляющую» («Передвинь α »). Чтобы отсеивать недопустимые передвижения, были введены ограничения, например ограничение на вопросительные *wh*-слова, о котором шла речь выше. Все это наделялось конечным набором допустимых видоизменений, которые позволяли бы объяснить различия между языками, скажем тот факт, что в японском языке используется постпозиция глагола (*verb final*), а английский и французский характеризуются препозицией глагола (*verb initial*). Как отмечено в книге Марка Бейкера (Бейкер, 2002/2008), теория языка приобрела сходство с таблицей Менделеева, атомы из которой образуют различные молекулы.

К началу 1990-х, когда теория принципов и параметров уже позволяла объяснить значительный диапазон межъязыковых различий, ученые попытались сузить множество используемых правил и ограничений до минимально возможного набора, который бы вытекал из принципов эффективности или оптимальности вычислений. Этот поиск простейшего описания человеческого языка привел к значительному упрощению — к сужению языкового фенотипа.

Как можно охарактеризовать этот суженный фенотип? Шестьдесят лет исследований в рамках генеративной

грамматики позволили сформулировать несколько базовых принципов человеческого языка. Синтаксическая структура языка обладает по крайней мере тремя ключевыми свойствами, каждое из которых предусмотрено положениями минимализма: 1) синтаксис человеческого языка имеет иерархическую природу и безразличен к линейному порядку элементов, тогда как ограничения на линейное упорядочение применяются на этапе экстернализации; 2) конкретная иерархическая структура, связанная с каким-либо предложением*, влияет на его интерпретацию; 3) глубина релевантной иерархической структуры не ограничена сверху. Отметим, что если все это верно, то из свойства 1 следует, что любая адекватная лингвистическая теория должна предусматривать *какой-нибудь* способ построения наборов иерархически структурированных выражений, который бы игнорировал линейный порядок. Из свойства 2 вытекает, что на уровне значения (meaning) структура, по крайней мере отчасти, обуславливает интерпретацию. Наконец, из свойства 3 следует, что выражения потенциально бесконечны. Этими свойствами должна обладать любая адекватная синтаксическая теория, именно поэтому они входят в состав минималистского описания языка.

* В русской грамматической традиции принято различать предложение (абстрактную схему) и высказывание (ее речевую реализацию). Здесь идет речь именно о высказывании, хотя тут и далее sentence переводится как «предложение».

Чтобы убедиться, что перечисленные свойства в самом деле присущи языку, рассмотрим простой пример, который мы будем использовать далее, в главах 3 и 4. В чем разница между английскими предложениями *Birds that fly instinctively swim* и *Instinctively birds that fly swim*? Первое предложение неоднозначно по смыслу*. Наречие *instinctively* («инстинктивно») может относиться к глаголу *fly* («летают») или *swim* («плавают»), то есть птицы либо «инстинктивно летают», либо «инстинктивно плавают». Во втором предложении перенос наречия *instinctively* в начало совершенно меняет дело: теперь наречие не может относиться к глаголу *fly*, а только к *swim*, то есть птицы «инстинктивно плавают». Это звучит странно. В конце концов, *instinctively* ближе к *fly*, чем к *swim*, в терминах линейного расстояния: между *instinctively* и *fly* заключены только два слова, а между *instinctively* и *swim* — три. Но носители языка связывают наречие не с более близким к нему глаголом *fly*, а с более удаленным — *swim*. Причина в том, что в терминах структурного расстояния *instinctively* ближе именно к *swim*, чем к *fly*: глагол *swim* вложен на один уровень синтаксической структуры глубже, чем наречие *instinctively*, а *fly* — еще на уровень глубже. (Это показано на рис. 4.1 в главе 4.) Таким образом, очевидно, что для синтаксиса языка важно не линейное, а лишь структурное расстояние.

* Эту неоднозначность сохраняет, например, такой русский перевод: «Инстинктивно летающие птицы плавают».

Иерархические свойства не только играют ведущую роль в синтаксисе языка, более того — у них нет какого-либо определенного предела, хотя, конечно, трудность обработки высказываний может возрастать, как, например, в английском предложении *Intuitively people know that instinctively birds that fly swim* («Интуитивно люди знают, что инстинктивно птицы, которые летают, плавают»). Если придерживаться тезиса Черча — Тьюринга, то никакой альтернативы нет: мы *вынуждены* ввести понятие рекурсии, чтобы адекватно описывать подобные факты. Поэтому многое тут не вызывает вопросов. Три перечисленных свойства вместе составляют *минимальные* требования к любой адекватной теории синтаксиса человеческого языка.

Впрочем, в некоторых современных работах по нейробиологии приматов можно встретить решительный отказ от всех трех наших положений. Высказывается мысль, что достаточно постулировать ограничения на линейный порядок — и нет надобности вводить иерархические ограничения и понятие рекурсии. Эта точка зрения имеет далекоидущие последствия и для нейробиологического исследования языка, и для его эволюционного моделирования. Но она ошибочна.

Так, Борнкессель-Шлезевски и соавторы (Bornkessel-Schlesewsky et al., 2015) утверждают, что это свидетельствует о преемственности между человеком и остальными приматами: «Мы не придерживаемся мысли... что для человеческого языка необходим более совершенный

и качественно особый вычислительный механизм (например, “дискретная бесконечность”*, порождаемая рекурсией)... Способность составить вместе два элемента А и В в определенном порядке, чтобы получить последовательность АВ, является вычислительной основой способности к обработке (processing)... человеческого языка» (Bornkessel-Schlesewsky et al., 2015: 146).

Они пришли, возможно, к важнейшему с точки зрения эволюции выводу: «Есть серьезные основания полагать, что вычислительная архитектура у обезьян (nonhuman primates)... способна качественно выполнять необходимые вычисления» (там же: 143). Если этот тезис верен, он должен иметь глубокие эволюционные последствия. Тогда «основными вычислительными биологическими предпосылками человеческого языка, в том числе способностью к обработке предложения и дискурса, обладают уже обезьяны» (там же: 148).

Однако, как мы недавно видели, утверждения Борнкессель-Шлезевски неверны. Человеческому языку даже и близко не хватает линейной (нерекурсивной) обработки. Это значит (и это отмечено в работе Борнкессель-Шлезевски и соавторов), что механизмов, обнаруженных у приматов, принципиально недостаточно для объяснения фактов, типичных для человеческого языка. А если так, то мозг обезьяны плохо позволяет моделировать многие аспекты человеческого языка.

* Discrete infinity — термин из работ Хомского с соавторами.

Кратко изложим суть нашего минималистского анализа. В лучшем случае для построения иерархических структур, необходимых синтаксису человеческого языка, можно обойтись одной операцией — *соединением* (Merge)*. Эта операция принимает на вход любые два синтаксических элемента и объединяет их в новое иерархически структурированное выражение большего размера.

В самом простом виде операцию соединения можно определить как создание множества. Когда имеются синтаксический объект X (словоподобный атом или конструкция, которая сама по себе является результатом соединения) и другой синтаксический объект Y , их соединение даст новый иерархически структурированный объект в виде множества $\{X, Y\}$. Ему также присваивается ярлык (label) с помощью какого-либо алгоритма, удовлетворяющего требованию минимальности вычислений. Например, получив на вход слова *read* («читать») и *books* («книги»), операция соединения возвратит $\{read, books\}$ и результату будет присвоен ярлык с помощью минимального поиска, который обнаружит вершину сочетания по ее признакам — в данном случае вершиной будет глагол *read*. Это согласуется с традиционным представлением

* Такой перевод дается в учебниках (Тестелец, 2001; Митренина и др., 2012), монографии (Слюсарь, 2009). В книгах (Бурлак, 2011; Бикертон, 2009/2012) использован вариант «слияние»; в русскоязычной исследовательской литературе по синтаксису термин Merge часто остается без перевода.

о словосочетании *read books* как о глагольной группе. Полученное синтаксическое выражение может затем поступить на вход дальнейших вычислений, демонстрируя базовое свойство человеческого языка.

Об этом подходе будет сказано больше в следующих главах, а сейчас читателю просто нужно понять, что сужение фенотипа таким образом, как показано выше, облегчает бремя объяснений, возложенное на теорию эволюции. Приходится объяснять гораздо меньше — и это упрощает парадокс Дарвина. Это недавнее сужение фенотипа человеческого языка стало первой причиной, почему мы решили выпустить этот сборник очерков.

Вторая причина состоит в том, что на сегодняшний день мы лучше понимаем биологические основы языка. Теперь можно эффективно применять стратегию «разделяй и властвуй», чтобы свести сложную эволюционную проблему «языка» к рассмотрению трех отдельных частей, предусмотренных базовым свойством: 1) внутренней вычислительной системы, которая строит иерархически структурированные выражения, интерпретируемые определенным образом на интерфейсах с двумя другими внутренними системами; 2) сенсомоторной системы, служащей для экстернализации как выдачи синтаксического анализа (*parsing*); 3) концептуальной системы, служащей для формирования умозаключения (*inference*), интерпретации, планирования и организации действий — всего того, что нестрого называют мышлением. Важно отметить, что экстернализация включает в себя не только вокальное/моторное научение

и продукцию, но и такие аспекты языка, как словообразование (морфология)* и его связь со звуковыми системами языка (фонологией и фонетикой), просодия, а также корректировка вывода для снижения нагрузки на память в процессе продукции.

Еще важнее для нас то, что язык позволяет использовать для ввода-вывода почти любую модальность ощущений — слуховую, зрительную или осязательную (хорошо, что не обонятельную). Заметим, что внутренняя иерархическая структура сама по себе не несет информации о порядке развертывания словосочетаний, слов или иных единиц. Так, например, порядок слов «дополнение — глагол» (этим японский отличается от английского и французского языков, которым присущ порядок «глагол — дополнение») во внутренней иерархической структуре вообще никак не отражен. Последовательное упорядочение единиц во времени, характерное для каждого языка, обусловлено требованиями экстернализации. В случае слуховой модальности вывод обычно называется речью и включает в себя вокальное научение и продукцию. Но модальность вывода также может быть зрительной и моторной, как в жестовых языках.

Отчасти благодаря сравнительному, нейрофизиологическому и генетическому исследованию певчих птиц

* В западной лингвистической традиции словообразование рассматривается как часть морфологии — деривационная морфология.

складывается понимание, что биологическая основа вокального научения — это эволюционно конвергентная система, которая тождественным образом, но независимо развивалась у птиц и людей. Вполне может оказаться, что за вокальное научение — способность выучить различные звуки в определенном порядке — отвечают около 100–200 генов (Pfenning et al., 2014). Вокальное научение и у певчих птиц, и у млекопитающих, которые обладают этой способностью, сопровождается, судя по всему, нейробиологической особенностью — проекциями из голосовых областей моторной коры* в голосовые мотонейроны мозгового ствола, как показано в верхней части рис. 1.1. У видов, неспособных к вокальному научению, например у кур или макак, эти прямые проекции отсутствуют, как показано в нижней части рис. 1.1⁴.

Недавние открытия Коминса и Джентнера (Comins and Gentner, 2015) и Энгессер с соавторами (Engesser et al., 2015) говорят о том, что способность к научению не ограничивается простым построением последовательностей. По словам Коминса и Джентнера, скворцы проявляют способность к формированию абстрактных категорий, похожих на те, что используются в звуковых системах человеческих языков. А Энгессер и соавторы утверждают, что им удалось у одного вида птиц, красноголовых шилоклювых тимелий (*Pomatostomus ruficeps*), обнаружить «фо-

* Vocal cortex motor regions. Предлагаемый перевод обусловлен тем, что на рисунке отмечена именно моторная кора.

немные противопоставления». Такую видоспецифическую возможность предвидел Коэн (Coen, 2006). В еще более новой работе (Takahashi et al., 2015) сообщается, что детеныши мармозеток* «оттачивают» свои вокализации почти так же, как это делают человеческие младенцы, и этот процесс можно смоделировать так, как предлагал Коэн. Бервик и соавторы (Berwick et al., 2011) уже продемонстрировали, что строгая линейная последовательность элементов в птичьем пении опирается на усвоение ограниченного числа положительных примеров (количество которых поддается вычислению). Если все это верно, то мы можем оставить в стороне данный аспект языковой системы экстернализации и сосредоточиться на тех аспектах, которые остаются центральными, присущими только человеку.

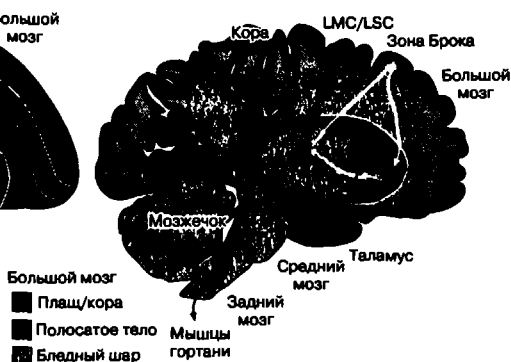
Наконец, в качестве небольшого неврологического свидетельства в поддержку нашего подхода «разделяй и властвуй» упомянем о том, что исследовательская группа Дэвида Поппела (David Poeppel) недавно провела ряд экспериментов методом магнитоэнцефалографии (МЭГ), направленных на изучение динамической активности коры головного мозга. Результаты показали, что иерархическое вовлечение в языковую структуру разобщено с линейным вовлечением в поток слова (Ding et al., 2015). О языке и мозге будет сказано больше в главе 4.

* По-русски эти обезьяны также называются игрунками.

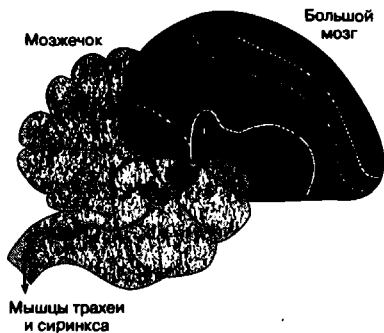
Певчая птица



Человек



Цыпленок



Макака



◀ **Рис. 1.1.** Сравнительный анализ связей в головном мозге, связность мозга и типы клеток у видов с вокальным научением и без него. *Сверху:* только у видов с вокальным научением (самец зебровой амадины, человек) есть прямые проекции из голосовой моторной коры в голосовые мотонейроны мозгового ствола — они отмечены красными стрелками. Сокращения: (амадина) RA — ядро аркопаллиума; (человек) LMC — ларингеальная моторная кора в прецентральной извилине; LSC — ларингеальная соматосенсорная кора. *Снизу:* у видов без вокального научения (цыпленок, макака) нет этих прямых проекций в голосовые мотонейроны. Адаптировано из: Pfenning et al., 2014. Воспроизводится с разрешения AAAS*

* Американская ассоциация содействия развитию науки.

Перейдем к нашей третьей причине: кажется (по крайней мере нам), что важные выводы Леннеберга о природе эволюции языка и ее биологической стороне оказались под угрозой забвения. Так, например, в работах Леннеберга внимательно рассмотрены аргументы за и против эволюционных «последовательных» подходов в теории Дарвина и противоположный им «непоследовательный» подход, которого придерживался он сам. Эта тема кажется особенно актуальной, учитывая новые направления в теории эволюции, которые помогают по-иному взглянуть на каждую из этих двух позиций. Как и любая обширная научная область, современная эволюционная биология пошла дальше своего основоположника, отойдя от первоначального дарвиновского взгляда на эволюцию как на адаптивные изменения в результате отбора особей.

Дарвин действительно допустил несколько ошибок. Пожалуй, самая известная его ошибка была исправлена в так называемой синтетической теории эволюции (Modern Synthesis), которая сложилась к середине XX века и объединила эволюцию путем естественного отбора с менделизмом и дискретным наследованием (генами). Это дало хорошую модель наследования, которой не было у Дарвина, и в конечном счете привело к становлению современной геномной эпохи в эволюционном анализе. Дарвин принимал современную ему (ошибочную) теорию наследования — смешанное наследование (blending inheritance). В соответствии с этой теорией, если скрестить красные

цветы с белыми, у всего потомства лепестки будут окрашены в промежуточные тона — разные оттенки розового. От смешения быстро теряется разнообразие, на котором основано действие естественного отбора. Вспомним, как в детстве мы брали мокрую кисточку и водили ею по палитре акварельных красок. Спектр чистых цветов от фиолетового до желтого сливался при этом в один грязно-коричневый. Но если у всего потомства будут одинаковые «грязно-коричневые» признаки, то естественному отбору станет нечего отбирать. Ни одна особь не будет отличаться от средней в лучшую или худшую сторону; все они будут одинаковым образом просеиваться через сито естественного отбора. Где нет разнообразия, там нет естественного отбора и за одно-два поколения весь дарвиновский механизм остановится. Хотя на самом деле гибриды красных и белых цветов иногда оказываются розовыми, все же нужен какой-то способ, чтобы сохранить разнообразие в последующих поколениях.

Ответ нашел Мендель: наследственную информацию передают дискретные частицы — гены (хотя в его время не было возможности убедиться, что это действительно так). Только в первой половине XX века основоположники синтетической теории эволюции — Сьюэлл Райт, Рональд Фишер и Дж. Б. С. Холдейн — показали, как можно последовательно совместить менделевскую дискретную наследственность с дарвиновской эволюцией путем естественного отбора. Были построены математические модели, демонстрирующие, как именно дарвиновский

механизм может функционировать из поколения в поколение и изменять частоту признаков в популяциях.

Дарвин также серьезно заблуждался и в своем негласном допущении, что биологические популяции бесконечны, и в допущении, что эволюция путем естественного отбора — это вполне детерминированный процесс, хотя бы даже и в популяциях бесконечного размера. Все шестеренки эволюционной машины: приспособленность, миграция, фертильность, спаривание, развитие и пр. — вынуждены «покоряться пращам и стрелам» своей биологической судьбы. Нередко вместо самых приспособленных выживают самые удачливые, и это может сделать эволюцию вовсе не такой гладкой и непрерывной, как виделось Дарвину. Чтобы убедиться в этом, нужны тонкие математические расчеты, и, насколько мы можем судить, ни в одной из новейших книг, посвященных эволюции языка, эта проблема не рассмотрена со всех сторон. Сам Дарвин в автобиографии отмечал: «Способность следить за длинной цепью чисто отвлеченных идей очень ограничена у меня, и поэтому я никогда не достиг бы успехов в философии и математике» (Дарвин, 1887/1957: 149).

Далее в этой главе мы подробнее обсудим две последние идеи, но только в обратном порядке. Начнем с эволюционной теории, а затем рассмотрим подход «разделяй и властвуй» наряду с эволюцией и геномикой. Детали, относящиеся к минималистской программе и сильному минималистскому тезису (Strong Minimalist Thesis), содержатся в главах 2 и 3.

Эволюция теории эволюции

Для начала разберемся, в чем главное отличие современной эволюционной теории от теории об эволюции языка. Мы вернемся в 1930-е годы — во времена расцвета синтетической теории эволюции, которая упоминалась выше. Похоже, что большинство современных авторов работ об эволюции языка учитывают ошибки Дарвина, связанные с наследованием, и смотрят на них сквозь призму синтетической теории эволюции, а некоторые даже отмечают очевидное влияние ограниченного размера популяции на эволюционные изменения. Например, эффект выборки в небольших популяциях, который иногда называют дрейфом генов, может привести к случайной утрате полезных признаков (их частотность в популяции снижается до 0) или случайному полному закреплению неполезных признаков (их частотность возрастает до 1). Нетрудно понять, с чем это связано. Мы можем поступить так же, как Сьюэл Райт (Sewall Wright) и Рональд Фишер (Ronald Fisher): рассматривать биологическую популяцию как ограниченный набор разноцветных шариков в банке, где каждый шарик — это индивид или вариант гена. Допустим, в банке 80 % белых шариков и 20 % красных. Размер популяции статичен — отсутствуют селекция, мутация или миграция, которые могли бы каким-либо образом повлиять на цвет шариков. Теперь мы имитируем генерацию небольшой популяции (размер 5). Для этого мы наугад выбираем шарик из

банки, смотрим на цвет и кладем его обратно в банку — и так пять раз. Цвета пяти выбранных шариков описывают новое поколение потомков. Мы будем считать их первым поколением. Затем повторим эту процедуру, следя за тем, чтобы во втором раунде были отражены любые возможные изменения частоты того или иного цвета. Например, мы можем вытащить четыре белых шарика и один красный, что будет соответствовать первоначальному соотношению белого и красного. Однако мы могли бы вытащить, допустим, три белых шарика и два красных (то есть 60 % белых и 40 % красных) — и в этом случае во втором поколении мы бы с вероятностью 2:5 получили красный шарик. Эта игра может продолжаться бесконечно.

Очевидно, что мы можем вообще не достать красный шарик, и тогда красный цвет исчезнет — раз в банке больше нет красных шариков, то невозможно как по волшебству заставить их появиться (если, конечно, мы не считаем, что есть шанс, что белые шарiki вдруг мутируют в красные). Каждый раз, когда мы достаем шарик из банки, в среднем наши шансы выбрать красный шарик составляют 1:5, то есть 20 %, те же шансы и у любого другого «индивида» в популяции. Следовательно, вероятность, что красный шарик не будет выбран в каком-то одном заходе, в среднем составляет 1 минус его шанс быть выбранным, то есть $1 - 1/5 = 4/5$. Вероятность, что красный шарик не будет выбран в двух заходах, вычисляется по формуле $4/5 \times 4/5$ и составляет 16/25. И так далее.

Средняя вероятность того, что в первом поколении красный шарик не будет выбран все пять раз, равна $(4/5)^5$, то есть около 0,328. Это практически одна треть, следовательно, красный шарик может исчезнуть и частота встречаемости красных шариков снизится с 20 % до 0. То же самое будет, если мы достанем красный шарик все пять раз подряд. В этом случае частота встречаемости белых шариков снизится с 80 % до 0 и вероятность, что это произойдет в первом поколении, составляет в среднем $(1/5)^5 = 0,00032$, то есть гораздо ниже, чем вероятность полностью лишиться красных шариков. В таком случае вероятность смешивания белых и красных шариков будет дрейфовать между 0 и 1 из поколения в поколение совершенно случайным образом (отсюда и термин «дрейф генов»).

В действительности несложно продемонстрировать, что в этих простых условиях под влиянием дрейфа генов любой отдельный цвет в конце концов исчезнет или зафиксируется. Для большей наглядности покажем дрейф генов на примере траектории движения пьяного человека. Он, пошатываясь, выходит из бара, делая произвольный шаг на каждое движение часовой стрелки в одном из двух направлений: вперед или назад. Это произвольный маршрут в одной плоскости. Докуда дойдет пьяный человек спустя какое-то время? Интуитивно кажется, что, раз пьяный начинает шататься всего в одном шаге от бара, он должен постоянно возвращаться к стартовой точке. Но предположение, что случайные шаги приводят к тому,

что человек топчется вокруг стартовой точки, ошибочно. На самом деле случайные шаги всегда куда-то ведут — и расстояние от стартовой точки увеличивается пропорционально квадратному корню из времени, как и количество шагов (Rice, 2004: 76). Если мы примем шаги за частоту встречаемости признака или гена в пределах от 0 до 1, то в среднем половину времени пьяный будет достигать единицы (1) (тогда признак или ген будет закрепляться в популяции и фиксироваться в этом состоянии) и половину времени — нуля (0) (в этом случае признак будет исчезать и оставаться в значении 0). Ведущие ученые в сфере синтетической теории эволюции разработали статистические модели для демонстрации и прогнозирования этих эффектов в математических категориях (хотя бы частичного).

Однако большинство современных авторов склоняются к синтетической теории эволюции, ни один из недавно сформулированных подходов к эволюции человеческого языка не отражает в полной мере переход от традиционного дарвинизма к его всецело стохастической современной версии. Речь о том, что некоторые стохастические эффекты связаны не только с выборкой (как в случае с произвольным дрейфом), но и с направленными стохастическими вариациями в приспособленности, миграции и наследуемости (то есть со всем, что влияет на частоту встречаемости гена). Приспособленность — это вовсе не всемогущее «универсальное алгоритмическое средство», как кто-нибудь может подумать. Боль-

шая роль тут принадлежит вероятности и случайности. Пространство возможностей настолько обширно, что большинство «решений» неосуществимо с помощью эволюции путем естественного отбора, несмотря на безграничное время и миллиарды организмов, которые находятся в ее распоряжении. Чаттерджи и коллеги (Chatterjee et al., 2014) недавно предоставили формальные подтверждения этой точки зрения. Они доказали, что в целом время, необходимое на адаптацию, экспоненциально зависит от длины геномной последовательности (а этого времени совершенно недостаточно, даже если речь идет о геологических эрах). (Эволюции путем естественного отбора иногда приписывают «способность параллельного выполнения задач» из-за огромного количества задействованных организмов.)

Продemonстрируем стохастический эффект на примере из реальной жизни. Стеффансон и соавторы (Steffanson et al., 2005) обнаружили довольно масштабный сбой в 17-й человеческой хромосоме⁵. У жительниц Исландии, у которых наблюдается изменение в этой хромосоме, количество детей на 10 % больше (0,0907), чем у тех жительниц Исландии, у которых такого изменения нет. Назовем эти две группы С+ (есть изменение в хромосоме) и С (нет изменения). В соответствии с дарвиновской терминологией женщины из группы С+ «более приспособлены», чем женщины из группы С (у группы С+ наблюдается преимущество при отборе, равное 0,1). Другими словами, на каждого ребенка, рожденного женщиной

из группы С, приходится 1,1 ребенка из группы С+. (Мы специально заключили определение «приспособленный» в кавычки⁶.)

Теперь, опираясь на наши знания о репродукции человека, можно без труда понять, что в действительности ни одна женщина из группы С+ не могла бы реально родить ровно в 1,1 раза больше детей, чем женщина из группы С. Это было бы слишком по-соломоновски. В реальности все женщины, участвующие в исследовании (16 959), родили 0, 1, 2, 3, 4, 5 или больше детей (2657 женщин родили пятерых или более детей). В среднем женщины из группы С+ родили на 10 % больше детей, чем женщины из группы С, причем некоторые из «более приспособленной» группы С+ не родили вообще ни одного ребенка (и таких немало — 764 женщины). В этом-то вся суть: любой отдельный индивид (или ген) может быть на 10 % «более приспособленным», чем популяция в целом, но при этом не оставить потомства (или копий гена). Так, в нашем примере 764 «более приспособленные» женщины проявили нулевую приспособленность. Следовательно, приспособленность — это (должно быть) случайная переменная. Вычисляется среднее ее значение — и она варьируется вокруг него (иначе говоря, присутствует распределение вероятности). Поэтому приспособленность как таковая имеет стохастический характер, как и дрейф генов (а также миграция, мутация и тому подобное). Но, в отличие от дрейфа генов, приспособленность, или преимущество при отборе, име-

ет определенное направление — она не шатается туда-сюда, как пьяница.

Все сказанное может повлиять на результаты эволюции, которые, как мы видим, не освещаются в современных работах по эволюции языка, но при этом сразу же всплывают, когда речь идет о любом новом генетическом или индивидуальном изменении, причем сценарий именно такой, как мы описывали, говоря о возникновении языка в маленьких группах и популяциях. Разумеется, очень важно, чтобы модели были проработаны достаточно хорошо, чтобы отражать этот уровень детализации.

Кроме того, можно было бы возразить, что приспособленность и дарвиновская эволюция относятся исключительно к усредненной популяции, а не к отдельным индивидам. Во время эволюции важную роль играет частота встречаемости приспособленности в сравнении с неприспособленностью, а не то, что происходит с каждой отдельной женщиной. Это до определенной степени верно, но неприменимо, когда количество индивидов или копий гена очень мало (а именно такая ситуация наблюдается, когда речь идет о возникновении любого нового признака).

Почему так происходит? Если мы смоделируем подобную ситуацию через распределение вероятности, то вероятность, что отдельный индивид (или ген), на 10 % более приспособленный, чем остальные, будет утрачен всего за одно поколение, удивительно высока — более чем одна треть⁷, около 0,3495. И это при огромном преимуществе

приспособленности (на один или два порядка выше), чем обычно отмечается в реальности. Более того, если отдельный индивид (или ген) не обладает вообще никаким преимуществом при отборе (он нейтрален, то есть его приспособленность равна 1), то вероятность, что он утратится через одно поколение, выше, чем у его гораздо более приспособленного сородича. Правда, выше не намного: вероятность полной утраты повышается с 0,350 до 0,367, то есть всего на 2–3 %. Поэтому вопреки тому, что можно было бы предположить и что пишут в книгах по эволюции языка, здесь ситуация совсем иная, чем в случае с дрейфом генов, когда чем меньше популяция, тем выше шансы утраты или закрепления. Размер популяции никак не влияет на вероятность исчезновения или выживания в пределах одного поколения, когда мы говорим о небольшом количестве копий генов или индивидов.

Почему это важно? Каждый раз, когда появляется новый вариант гена или индивид с новым вариантом, обычно он оказывается единственным в своем роде, или как максимум их таких 4–5 (если новый признак в результате мутации проявился у всего потомства данного индивида). Размер популяции не влияет на распространение этого изменения опять же вопреки тому, что обычно пишут в современной литературе по эволюции языка. Как отмечает Гиллеспи (Gillespie, 2004: 92), «нам кажется, что (размер популяции) не имеет отношения к размеру потомства, произведенного одиночным (геном) ... Когда (ген) получает большее распространение

и фокус нашего внимания смещается с количества копий к частоте встречаемости, его стохастическую динамику вернее всего описать как дрейф генов» [выделено авторами]. В двух словах: когда впервые появляются новые варианты гена, индивиды, у которых есть данные признаки, сначала должны вылезти из «стохастического гравитационного колодца», где не действуют законы естественного отбора.

Когда количество таких индивидов (или копий гена) достигает необходимого уровня приспособленности, в игру вступает естественный отбор. И тогда уже на 10 % более приспособленные индивиды начинают знакомую нам дарвиновскую гонку и добиваются до вершины — до полного закрепления признака и достижения частоты его встречаемости в популяции на уровне единицы. (Почему тогда более приспособленные исландские женщины из группы С+ не стали превалировать на всей территории страны или хотя бы на побережье?)

И где же находится этот необходимый уровень? Если новый признак или вариант гена несет в себе преимущество при отборе, равное 10 %, то существует 99%-ная вероятность, что этот «новый парень на районе» не исчезнет, то есть частота его встречаемости будет составлять 1, а не 0. Это число равно примерно 461. Важно то, что этот уровень тоже не зависит от размера популяции. Гиллеспи (Gillespie, 2004: 95) четко оговаривает этот момент: «В первых поколениях значение имеет только случайное количество потомков... При моделировании

дальнейшей судьбы этих индивидов N (размер популяции) не учитывается».

Иначе говоря, чтобы стать действительно современным ученым-эволюционистом, необходимо перестать смотреть на ситуацию «сквозь призму гена» и взглянуть на нее «глазами игрока». (Читатели, которые хотят подробнее изучить этот вопрос, могут обратиться к работе Райса (Rice, 2004) (главы 8 и 9) или Райса, Пападапулоса и Хартинга (Rice, Papadopoulos and Harting, 2011).) Какой из этого можно сделать вывод? Получившуюся картину эволюции необходимо дополнить реальной биологией и стохастическим поведением. Речь о стохастическом характере миграции (сравните, например, как выглядел остров Эллис раньше и как сегодня), стохастическом характере наследования (ведь вы не так уж сильно похожи на своих дедушку с бабушкой), взаимодействии генов (нет какого-то одного-единственного гена языка) и скачках приспособленности при увеличении частоты встречаемости (что думаете по поводу перенаселенности?). Если мы это сделаем, то легковесное предположение о том, что адаптивная эволюция неуклонно движется в направлении максимальной приспособленности, разваливается на части. Довольно трудно охватить одновременно все последствия влияния тысячи и одного взаимодействующего гена, не говоря уже о том, чтобы помочь им всем достичь оптимальной приспособленности.

Некоторые ученые считают, что можно избежать сложностей естественного отбора, если рассматривать эволю-

цию с точки зрения теории игр, в рамках так называемых эволюционно стабильных стратегий (Maynard-Smith, 1982). Более того, считается, что так можно окончательно решить проблему, связанную с многоплановой максимизацией приспособленности (Fitch, 2010: 54). Это не совсем верно. Решение так и не было найдено, по крайней мере пока. Теория игр действительно занимает очень важное место в современном подходе к эволюции, потому что касается того, что отдельный индивид должен делать, исходя из действий и стратегий других индивидов. В результате она оказывается весьма удобной применительно к частотозависимому отбору, когда приспособленность меняется в зависимости от того, сколько других индивидов придерживаются той же стратегии, например принимают решение обзавестись потомством раньше, а не позже. Подобные многоплановые частотозависимые сценарии обычно очень трудно поддаются какому-либо иному анализу. По сути, мы думаем, что частотозависимые эффекты могут полностью оправдать ожидания, когда дело касается эволюции человеческого языка, при динамичном взаимодействии индивидов, обладающих/не обладающих языком. Нам понадобится предложенная Новаком модель эволюционной динамики для языка (2006).

Мы не станем придерживаться частотозависимой/игровой теоретической линии, потому что не уверены, насколько точно в нашем случае будут выполняться остальные условия. Эволюционный анализ в рамках теории игр вовсе не панацея, как его иногда пытаются представить

(даже несмотря на то, что его часто упоминают на таких конференциях, как Evolang). Анализ в рамках теории игр дает наилучшие результаты, когда размер популяции велик, стабилен, не подвержен мутациям и когда не наблюдается половой рекомбинации. То есть именно в тех случаях, когда мы можем не беспокоиться о стохастических эффектах или когда нас в первую очередь интересует, как популяция сумела достичь стабильности (это абсолютно противоположно тому, как мы обычно изучаем данный вопрос; в рассматриваемый период времени эффективный размер человеческой популяции был небольшим и вовсе не стабильным). И наконец, теория игр часто оказывается оторванной от наблюдений, полученных в результате изучения популяционной генетики и молекулярной эволюции. А это важная часть наших знаний об эволюции в современной геномной эпохе, представляющая собой большой массив новых данных, которыми мы уже располагаем или которые только будут получены. Чтобы не быть голословными, скажем, что недавно ученым (таким как Мартин Новак и другие (Humphrik, Hill and Nowak, 2014; McNamara, 2013)) удалось довольно удачно объединить классические генетические модели синтетической теории эволюции с анализом в рамках теории игр. Теория игр остается важнейшей частью инструментария современных ученых-эволюционистов, но у нее есть недочеты, которые еще только предстоит преодолеть в контексте молекулярной эволюции. (Подробная информация представлена в работе Райса (Rice, 2004) (глава 9) или Райса,

Пападапулоса и Хартинга (Rice, Papadopoulos and Harting, 2011). Резюмируя вышесказанное, обратимся к книге Екклесиаста 9:11, где совершенно верно сказано: «Не проворным достается успешный бег, не храбрым — победа, не мудрым — хлеб, и не у разумных — богатство, и не искусным — благорасположение, но время и случай для всех их».

Если мы на правильном пути, значит, изучая эволюцию языка, должны принимать во внимание стохастические эффекты. По сути, всегда есть элемент случайности, когда кто-то сталкивается с появлением абсолютно нового признака (такого как глаз). Это подчеркивает Геринг (Gehring, 2011), соглашался с этим (хотя и неохотно) даже Дарвин. Мы вернемся к вопросу о глазе чуть позже. Главное — необходимо понимать, что, как сказал эволюционист Г. Аллен Опп (H. Allen Orr), «адаптация — это не естественный отбор» (Orr, 2005a: 119). Поэтому мы должны быть очень внимательными всякий раз, когда наблюдаем одновременно оба этих явления.

Переход от детерминистского дарвинизма к его абсолютно стохастической версии — результат более сложного математического и биологического понимания эволюции и стохастических процессов (возникшего после публикации в 1859 году дарвиновского «Происхождения видов»). Подобный переход вполне закономерен в любом развивающемся научном направлении (эволюция самой теории эволюции), но создается впечатление, будто многие авторы не стали отказываться от изначального

дарвиновского видения эволюции исключительно как процесса адаптивного отбора. Теперь нам уже известно (как из теоретических, так и из эмпирических данных), что Дарвин и синтетическая теория эволюции не всегда были правы, и тому есть множество доказательств (Kimura, 1983; Orr, 1998, 2005a; Grant and Grant, 2014; Thompson, 2013). При этом совершенно не обязательно полностью отказываться от дарвинизма. В работах на эту тему упоминается вирусная трансмиссия (крупномасштабный горизонтальный перенос генов и макромутаций), приводятся наблюдения из сферы эволюции и развития, или «эво-дево».

Тогда как же эволюционируют организмы — постепенно или скачкообразно? Этот вопрос стал предметом полемики между Стивеном Дж. Гулдом и его оппонентами (Turner, 1984; Gould and Rose, 2007). Конечно, верно и то и другое. Иногда адаптивное эволюционное изменение происходит очень медленными темпами — на протяжении миллионов лет (это соответствует классической концепции Дарвина). Но порой эволюционное изменение (даже крупномасштабное изменение в поведении, например пищевые предпочтения бабочек-парусников (Thompson, 2013: 65)) может происходить относительно быстро, что не может не удивлять. Такая ситуация была зафиксирована у сотен различных видов, то есть в каждой крупной филогенетической группе, как подтверждает недавнее исследование Томпсона (Thompson, 2013).

Нас не должно сбивать с толку то, что, по утверждению некоторых исследователей, дарвиновская постепенность иногда увеличивает свою обычную скорость. Однако важнейший вопрос заключается в том, какова эта обычная скорость, когда дело касается эволюционных изменений. Нас интересует как долгосрочная перспектива (сотни тысяч поколений и миллионы лет, ушедших на эволюцию инструментария, связанного со звуковым научением у людей и у птиц), так и краткосрочная (несколько тысяч лет и сотни или тысяча поколений, потребовавшихся на адаптацию). В недавних случаях: у жителей Тибета развилась способность адаптироваться к жизни на больших высотах, где не хватает кислорода; способность усваивать лактозу во взрослом возрасте в культурах, где занимаются молочным животноводством (Bersaglieri et al., 2004); недавно развившаяся способность строить иерархические синтаксические структуры (наша ключевая тема).

Некоторые из этих признаков миновали период медленных генетических изменений, «последовав» совету биолога Линн Маргулис (Lynn Margulis): самый простой способ получить полноценные, абсолютно новые гены — это съесть их. Очевидно, что у жителей Тибета регуляторный участок ДНК, ставший ответной реакцией организма на гипоксию, появился через наших родственников — денисовцев, то есть они получили эти гены в результате интрогрессии (Huerta-Sanchez et al., 2014). Вероятно, у людей в процессе приспособления

к выживанию в Европе выбраковалось несколько важных адаптивных признаков, свойственных неандертальцам и денисовцам, включая пигментацию кожи, изменения в иммунной системе и пр. (Vernot and Akey, 2014). Уточним: оказавшись «съеденными», гены должны были доказать свою состоятельность, но, как мы говорили ранее, подобная интрогрессия генов может «вытащить индивида из гравитационного колодца».

Если вы сомневаетесь в том, важен ли подобный «незаконный переход» через установленную Дарвином границу, вспомните, что именно Маргулис отстаивала когда-то отвергаемую, а теперь подтвержденную теорию о том, что организмы обрели органойды под названием митохондрии, которые теперь с помощью фагоцитоза обеспечивают наши клетки бесплатным обедом за счет одной другой клетки (Margulis, 1970). Вероятно, как считают биологи-эволюционисты Джон Мейнард Смит и Эрш Сатмари (John Maynard Smith and Eörs Szathmáry, 1995), эта древнейшая версия «Завтрака на траве» Эдуарда Мане стала толчком к одному из восьми «основных этапов эволюции». Мейнард Смит и Сатмари подчеркнули важный момент, что из этих восьми этапов (от появления ДНК до половой сферы и возникновения языка) шесть, включая язык, по всей видимости, были уникальными эволюционными событиями в рамках единственной линии наследования, а несколько этапов отличались относительно высокой скоростью (как мы писали выше).

Ничто из вышеперечисленного не противоречит главным постулатам традиционного дарвинизма.

Поэтому, безусловно, иногда происходят резкие геномные/фенотипические скачки, и в результате случается «сдвиг начальной точки действия селекции», как пишет биолог Ник Лейн (Nick Lane, 2015: 3112). Так, Лейн описывает удивительный и явно единоразовый и внезапный переход от простой одноклеточной формы жизни — прокариотов (с кольцевой ДНК, без оформленного ядра, без половых различий и, по сути, бессмертных) — к тем пищевым привычкам, которые привели к появлению сложной формы жизни — эукариотов, включая нас (с линейной ДНК, митохондриями, ядром, сложными органами, и у которых присутствуют, по Вуди Аллену, секс, любовь, смерть и язык). Лейн отмечает, что «не нужно путать генетические эволюционные скачки с адаптацией» (2015: 3113). В масштабах геологических эпох эти изменения произошли очень быстро.

Все это подчеркивает роль случайности, непредвиденности, биохимического и физического контекста в истории эволюционных изменений. Эволюция путем естественного отбора действует вслепую, у нее нет «цели» лучше развить интеллект или язык. Некоторые события происходят лишь единожды и вряд ли когда-либо повторятся, например возникновение клеток, имеющих ядро и митохондрии, половых различий и пр. С этим согласны и другие биологи-эволюционисты. Эрнст Майр в известном споре с Карлом Саганом отметил, что наш интеллект

сам по себе и применительно к языку, вероятно, также относится к этой категории:

«Ничто не демонстрирует невероятность возникновения развитого интеллекта лучше, чем миллионы... ветвей наследования, которые так и не смогли его достичь. С момента возникновения жизни существовали миллиарды, возможно, целых 50 миллиардов видов. Только один из них сумел достичь такого уровня развития интеллекта, чтобы создать цивилизацию... Я могу представить себе только две возможные причины такой исключительности. Первая заключается в том, что развитый интеллект, вопреки нашим ожиданиям, вовсе не является преимуществом при естественном отборе. По сути, все остальные виды живых организмов, миллионы видов, прекрасно обходятся без высокоразвитого интеллекта. Вторая возможная причина столь малой распространенности интеллекта — это то, что его очень сложно обрести... что неудивительно, поскольку головному мозгу требуется очень много энергии... Большой мозг, допускающий появление интеллекта, развился менее чем у 6 % живых существ по линии гоминидов. Вероятно, для высокого уровня развития интеллекта необходимо сочетание редких благоприятных обстоятельств» (Mayr, 1995).

С учетом данных, полученных Чаттерджи и соавторами (Chatterjee et al., 2014), у нас появилось более четкое понимание того, какой признак может быть «невероятно слож-

но достижимым»: с вычислительной точки зрения его сложно получить путем естественного отбора.

Рассмотрим другой пример быстрого эволюционного изменения, который может показаться более основательным и надежным, поскольку изменение произошло недавно и было тщательно изучено. Одно из наиболее фундаментальных и длительных экспериментальных наблюдений естественного отбора в действии — 40-летнее исследование П. Р. Гранта и Б. Р. Гранта. В центре внимания исследования была эволюция двух видов дарвиновых вьюрков с острова Дафне-Майор (Галапагосские острова): среднего земляного вьюрка и большого земляного вьюрка (Grant and Grant, 2014). Этот эволюционный анализ можно назвать максимально простым и прямолинейным. Что же Грантам удалось выяснить? Эволюционное изменение иногда сопровождалось различием в приспособленности, но было ровно столько же примеров, когда такой связи не наблюдалось. В итоге различие в приспособленности никак не влияло на результаты эволюции. Отбор происходил как скачкообразно, так и постепенно. Отдельные события, такие как появление на острове Дафне-Майор нового вида вьюрков под названием «большая птица», закончились гибридизацией птиц с уже существующими на острове видами вьюрков и вспышками эволюционных изменений, которые подстегивали внешние экологические события. Все эти наблюдения демонстрируют, чего можно ожидать в случае с эволюцией человеческого языка. Как мы отметили выше,

межгрупповая гибридизация денисовцев и неандертальцев с нами повлияла на адаптивную эволюцию человека. Мы вовсе не имеем в виду, что так возник язык. По сути, этот вариант вовсе исключается, если мы руководствуемся данными о том, что имела место интрогрессия генов, но мы хотим показать читателю, что эволюция может коснуться как зайца, так и черепахи.

Тогда почему дарвиновская эволюция путем естественного отбора обычно воспринимается именно как постепенный и медленный процесс? Дарвин опирался на трехтомный труд Лайеля (Lyell) «Основные начала геологии» (Principles of Geology, 1830–1833) (с изложенными там идеями он познакомился во время путешествия на корабле «Бигль»), а также на его принцип униформизма — в настоящем действуют те же силы, что и в прошлом, горы постепенно разрушаются, с течением эпох превращаясь в песок. Дарвин очень точно следовал «Основным началам геологии». Так же поступают многие ученые, изучающие возникновение языка. Вооружившись наработками Дарвина и Лайеля, они перенимают принцип строгой последовательности: язык, как глаза и любой другой признак, должно быть, возник в результате «многочисленных, последовательных, небольших модификаций» (Darwin, 1959: 189).

Но действительно ли это так? В первую очередь рассмотрим последовательность. В процессе чтения становится ясно, что под последовательностью подразумевается, что эволюционные события должны следовать друг за другом. Это всегда соблюдается, поэтому мы можем

смело оставить в стороне это ограничение. Остаются характеристики «многочисленные» и «небольшие». Сразу же после выхода в свет «Происхождения видов» «бульдог Дарвина» (такое прозвище получил Гексли (Huxley) за свои яркие полемические выступления) набросился на Дарвина с критикой обоих этих определений; 23 ноября 1859 года он написал Дарвину: «Вы возложили на себя лишние сложности, когда так безоговорочно приняли принцип *Natura non facit saltum*»* (Huxley, 1859). Дарвин далеко развил идею о постепенной эволюции глаза в «Происхождении видов», хотя был уверен только в следующем: естественный отбор вступил в силу после того, как зрительный рецептор и пигментная клетка в результате эволюции сформировали частично функциональный светочувствительный прототип глаза. Он, вопреки нашим ожиданиям, не мог объяснить первопричину возникновения пигментной клетки и зрительного рецептора.

Современная молекулярная биология стала источником новых данных. Описанный Дарвином прототип глаза состоял из двух частей: светочувствительной клетки («нерва») и пигментной клетки, экранирующей фоторецептор. «В обширном классе *Articulata* мы можем начать с оптического нерва, просто покрытого пигментом» (Darwin, 1859: 187). Но Дарвин не мог объяснить, что происходило с глазом до этого момента. В конечном итоге ученый остановился на том же варианте, который избрал в качестве

* Природа не делает скачков (пер. с лат).

источника возникновения самой жизни. Он относит это к числу случайных эффектов, которые выходят за рамки объяснительной части его теории. «Каким образом нерв сделался чувствительным к свету, вряд ли касается нас в большей степени, чем то, как возникла самая жизнь; замечу только, что если самые низшие организмы, у которых не найдено нервов, способны воспринимать свет, то кажется вполне возможным, что известные чувствительные элементы их саркоды могли концентрироваться и развиваться в нервы, одаренные этой специальной чувствительностью» (Darwin, 1859: 187).

Если подумать, то эта дарвиновская дилемма предстанет перед нами в новом свете. Геринг (2011) более подробно проанализировал развитие глаза. Глаз — это результат как случайности, так и необходимости, о чем говорил и Моно (Monod, 1970). Для функционирования простейшего глаза необходимы два компонента: клетка-фоторецептор и пигментная клетка. Первоначальное образование фоторецептора — случайное событие. Не было какого-либо трудоемкого отбора путем проб и ошибок: в клетках появились светочувствительные пигментные молекулы, впоследствии этот процесс стал регулироваться геном *Ракб*. Сторонний наблюдатель увидит, что прошел очень длительный геологический период времени, в течение которого в клетках не было фоторецептивного пигмента, а потом относительно быстро появились клетки с ним (пигмент либо захватывался, либо нет). При этом не возникло никакой необходимости в «многочисленных и небольших

модификациях». Уточним, что молекуле требовалось пройти через решето отбора. В результате она видоизменялась, но это было уже после описанного выше ключевого события. Точно так же прототип пигментной клетки возник на основе широко распространенного пигмента меланина, который присутствовал в одной клетке с уже захваченным фоторецептивным пигментом. В какой-то момент эта единая клетка разделилась на две, что также было стохастическим событием, вероятно контролируемым регуляторным геном, отвечающим за разграничение клеток. Если смотреть «со стороны», можно увидеть относительно длительный период застоя, за которым последовало деление на две клетки по принципу «все или ничего» (дочерние клетки либо появлялись, либо нет). «На основе этих размышлений мы делаем вывод, что дарвиновский прототип глаза возник из одной клетки путем клеточной дифференцировки, ген *Raxb* контролирует клетку-фоторецептор, а *Mitf* — пигментную клетку» (Gehring, 2011: 1058).

Подытожим вышесказанное. После возникновения дарвиновского двухклеточного прототипа глаза не последовало классического продолжения — отбора путем проб и ошибок. Вместо этого произошло два отдельных стохастических и внезапных события, связанных с ключевым изменением — «фотопленкой» глаза. А дальше? После множества изменений и усовершенствований корпуса глазного фотоаппарата, объектива и прочих элементов (причем изменения происходили именно так, как писал Дарвин) с пленкой стало гораздо меньше возни.

Тут нельзя привести сравнение, что эволюция отказалась от Kodak, перешла на Polaroid, а потом остановилась на цифровой съемке. Две первоначальные ключевые инновации не были ни многочисленными, ни небольшими⁸. На шкале времени они выглядят как две белые вороны. Это два внезапных, крупных и быстрых изменения, которым практически ничего не предшествовало (шаблон застоя и изменения, похожий на то, что происходило в нашей собственной ветви, как описано ниже⁹).

Тем не менее «фундаменталист от дарвинизма» мог бы по-прежнему настаивать на том, что цепочка наследования подразумевает плавность, постепенность и последовательность на каждом этапе, поэтому велика вероятность того, что среди современных видов найдутся те, у кого присутствуют те или иные общие признаки, на которых строится человеческий язык. В этом контексте даже недавнее открытие, что шимпанзе могут готовить еду (Warneken and Rosati, 2015), в буквальном смысле раздувает пожар, заставляя нас поверить, что наши ближайшие из существующих родственников близки нам и в плане языка. Однако, как мы видели ранее в данной главе (когда говорили о работах Борнкессель-Шлезевски с соавторами и Фрэнка с соавторами) и увидим далее в главе 4, шимпанзе не похожи на нас с лингвистической точки зрения.

Кто-то может назвать эту фундаменталистскую, униформистскую картину «микромутационным подходом». В качестве альтернативы этой традиционной картины часто приводят — преимущественно в качестве карикату-

ры — ее полную противоположность, так называемую (и печально известную) гипотезу «обнадеживающих уродов», предложенную Гольдшмидтом (Goldschmidt, 1940). Гольдшмидт утверждал, что огромные, скачкообразные геномные и морфологические изменения — даже возникновение новых видов — могут происходить всего за одно поколение. Поскольку «обнадеживающие уроды» не могут считаться правдоподобной гипотезой, многие бросаются в крайности и отвергают возможность любого другого типа изменений, кроме микромутаций. Однако это ошибка. Как мы уже видели, есть все основания полагать, что такой подход не оправдывает себя даже просто с эмпирической точки зрения. Многие эволюционные изменения, например клеточное ядро, линейная ДНК и язык (мы так считаем вслед за Лейном (2015)), никак не вписываются в картину «микромутации — обнадеживающий урод». В теоретическом плане микромутационный подход застыл во времени на уровне примерно 1930 года (незадолго до расцвета синтетической теории эволюции). В 1930 году один из трех лидеров синтетической теории эволюции Р. Э. Фишер (R. A. Fisher) опубликовал работу «Генетическая теория естественного отбора» (*Genetical Theory of Natural Selection*), в которой представлена простая геометрическая математическая модель адаптации (адаптация сравнивается с фокусировкой микроскопа) (Fisher, 1930: 40–41). Интуитивно понятно, что если приблизиться к точно сфокусированному изображению, то еще лучшего фокуса можно

добиться только с помощью крошечных изменений. Если сильно крутануть колесо фокусировки, мы, вероятно, отдалимся от наблюдаемой точки. Этот фрагмент текста сумел окончательно убедить следующие несколько поколений биологов-эволюционистов, и эта уверенность сохранялась вплоть до недавних пор.

Фишер опирался на данную модель, утверждая, что все адаптивные эволюционные изменения микромутационны, то есть представляют собой ничтожные изменения, фенотипический эффект которых приближается к нулю. Как говорит Orr (Orr, 1998: 936), «благодаря этому факту естественный отбор, по сути, выступает в качестве *единственного источника креативности в эволюции...* Поскольку отбор приводит к адаптации с помощью постепенных, перетекающих из одного в другое вариаций, мутация сама по себе почти или вообще не меняет фенотипическую форму» (выделено авторами).

В частности, модель Фишера предполагает, что мутации с ничтожно малым влиянием на фенотип могут прижиться с вероятностью 50 %, а вероятность, что приживутся какие-либо существенные мутации, уменьшается в геометрической прогрессии. Если мы будем придерживаться модели Фишера, то по определению гены, значительно влияющие на фенотип, не могут влиять на адаптацию. Как отмечает Orr (Orr, 1998: 936):

«Трудно переоценить историческое значение модели Фишера. Его анализ единолично убедил большинство эволюционистов в том, что факторы, оказывающие

большое влияние на фенотип, мало или вообще никак не влияют на адаптацию» (см.: Turner, 1985; Orr and Coyne, 1992). «В действительности анализ литературы позволяет сделать вывод, что практически каждая авторитетная фигура в синтетической теории эволюции, столкнувшись с необходимостью обосновать микромутационизм, апеллирует к модели Фишера как к единственному источнику (Orr and Coyne, 1992; Dobzhansky, 1937; Huxley, 1963; Mayr, 1963; Muller, 1940; Wright, 1948). Дж. Б. С. Холдейн (J. B. S. Haldane), скорее всего, единственное исключение».

И действительно, похоже, что каждая работа, посвященная эволюции языка, опирается на мнение Фишера, а вместе с этим, соответственно, доминирующую роль приписывает естественному отбору. Типичным примером может служить следующий комментарий Фитча (Fitch, 2010: 47), также ссылающийся на метафору «фокусировка микроскопа»: «Ключевой аргумент против адаптивной роли существенных качественных изменений — это то, что макромутации, которые мы наблюдаем в природе, скорее препятствуют адаптивной функции, нежели совершенствуют ее. Организмы — это отлаженные системы, и индивиды, родившиеся с большим количеством случайных изменений, вряд ли в итоге окажутся более приспособленными к жизни». Таллерман (Tallerman, 2014: 195), цитируя Эйприл и Роберта Макмэн (McMahon and McMahon, 2012), говорит, что и она сама, и два этих автора разделяют градуализм Фишера: «Макмэн и Макмэн (2012, лингвист

и генетик) отмечают, что “биологическая эволюция обычно происходит медленно и поступательно, а не резко и внезапно”, а по поводу “макромутации, вызывающей немедленное и радикальное изменение” они говорят, что “последнее очень маловероятно с точки зрения эволюции”».

Но Фишер ошибся. Проведенные в 1980-х годах эксперименты, касающиеся генетической основы процесса адаптации, показали, что отдельные гены могут оказать удивительно большое воздействие на фенотип. Здесь опять же стоит привести полную цитату из работы Орра:

«В 1980-х... появились способы, которые наконец позволили получить точные данные о генетике адаптации, — анализ локусов количественных признаков (ЛКП)... При анализе ЛКП генетическую основу фенотипических различий между популяциями или видами можно исследовать с помощью большого набора молекулярных маркеров, локализованных на генетической карте. В работах, посвященных микробиальной эволюции, микробы помещаются в новую среду, и происходит их адаптация к этой среде. Затем с помощью генетических и молекулярных инструментов можно идентифицировать некоторые или все генетические изменения, сопутствующие данной адаптации. Результаты обоих способов анализа были удивительными: эволюция часто сопровождалась генетическими изменениями, имевшими довольно существенные последствия (по крайней мере в некоторых случаях), при этом общее число измене-

ний было довольно небольшим... (рассматривались результаты) нескольких классических исследований, включая те, в которых анализировалась эволюция костных пластинок на боках (уменьшение их количества) или брюшных колючек трехиглой колючки, утрата личиночных трихом ("волосков") у дрозофил, а также эволюция кукурузы (появление новых видов) и мимулуса. Изучение микроорганизмов также помогло выяснить, что генетические изменения на ранних этапах адаптации часто оказывают более сильное влияние на приспособленность, чем те, которые произошли позднее, а также что параллельная адаптивная эволюция происходит на удивление часто» (Orr, 2005a: 120).

На самом деле еще раньше Орра серьезный пробел в модели Фишера обнаружил Кимура (Kimura, 1983). Этот пробел обусловлен стохастической природой реальной биологической эволюции, о которой мы говорили раньше. Фишер неверно трактовал вероятность стохастической утраты полезных мутаций. Кимура отметил, что изменения, влекущие серьезные последствия для фенотипа, скорее всего, утратятся. Согласно модели Кимуры, для адаптации наиболее вероятны мутации среднего размера. Однако эта модель также подразумевала, что модификация происходит в несколько этапов, совершая своего рода «адаптационную прогулку», а не за один шаг (Orr, 1998). Как говорит Орр (2005a: 122): «Адаптация в модели Фишера включает в себя несколько мутаций,

имеющих относительно большой фенотипический эффект, и множество мутаций с относительно малым эффектом... Таким образом, для адаптации характерен шаблон снижающегося эффекта: более влиятельные мутации обычно проявляются раньше, а менее влиятельные — позже». Данное эволюционное изменение можно представить в виде отскакивающего от земли мячика: сначала идет самый сильный скачок, а за ним следуют все более мелкие скачки (это последовательность со снижающимся эффектом). Это открытие повлияло на сценарии эволюции языка, которые строятся на том, что сначала произошло некое микромутационное изменение. Иными словами, вместо редких и неожиданных макромутационных изменений на первом этапе может случиться совершенно противоположное (иногда так и происходит). Современная теория эволюции, лабораторные опыты и исследования в естественных условиях подкрепляют данную точку зрения (и им не нужны для этого никакие «обнадеживающие уроды» Гольдшмидта). Вот вам золотая середина. Иначе говоря, что на самом деле произошло в той или иной ситуации — это вопрос из эмпирической сферы. Как мы уже привыкли, в биологии гораздо больше от прецедентного права, чем от ньютоновской физики. Ключевые моменты, о которых мы поговорим далее в этой главе и в главе 4, указывают на относительно быстрые изменения. Иногда говорят о промежутке времени между появлением анатомически современных людей в Африке (около 200 000 лет назад) и их

последующей миграцией с Африканского континента 60 000 лет назад.

Что мы можем для себя вынести из этого современного подхода к дарвинизму и эволюционным изменениям? Если в двух словах, то вы получаете то, за что платите, то есть покупаете весь комплект со всеми последствиями. Если вы выбираете модель Фишера, то вы в обязательном порядке выбираете и микромутационизм, а значит, автоматически отказываетесь от всего, кроме естественного отбора, принимая его за единственный двигатель эволюции языка. Вы также теряете возможность объяснить происхождение сложных клеток из одноклеточных прокариот, возникновение глаза и многое другое. Если же вы не соглашаетесь с моделью Фишера и придерживаетесь более современной точки зрения, то оставляете дверь открытой для гораздо более широкого диапазона возможностей.

Теперь вернемся к истории развития человечества, изучим палеоархеологическую хронологию нашей эволюционной ветви, которая служит подтверждением того, что изменения происходили отнюдь не постепенно, а как циклический шаблон «разрывов между моментами появления (и исчезновения) новых технологий и новых видов» (Tattersall, 2008: 108). Основная мысль прослеживается четко. Согласно Таттерсалу, когда появился новый морфологически уникальный вид человека, одновременно с этим не происходило никаких технологических или культурных инноваций. Скорее наоборот, технологические/культурные инновации возникают

гораздо позже, чем появляется каждый новый вид человека (речь идет о сотнях тысяч лет). Другими словами, как пишет Таттерсаль (Tattersall, 2008: 103), «технологические инновации не связаны с возникновением новых видов гоминидов». Например, самые древние найденные орудия, относящиеся к олдувайской культуре, относятся к периоду около 2,5 миллиона лет до нашей эры. Не так давно были обнаружены еще более древние орудия, датируемые периодом 3,3 миллиона лет до нашей эры (их нашли в Кении, в районе Ломекви (Harmand et al., 2015)). Они использовались, вероятно, около миллиона лет, пока в ашельской культуре не появился топор. Однако, как отмечает Таттерсаль (2008: 104), эта инновация «существенно отстала по времени от появления на Земле нового вида гоминидов, человека работающего». В недавнем исследовании Сванте Паабо, ведущий ученый, занимающийся анализом ДНК и секвенированием геномов неандертальца и денисовца, придерживается того же мнения: «Всего каких-то 2,6 миллиона лет назад предок человека начал изготавливать каменные орудия труда, которые обнаружены во время археологических раскопок. Но на протяжении сотен тысяч лет изготавливаемые орудия не менялись» (Pääbo, 2014b: 216).

Точно такое же отставание наблюдается в поведенческом и бытовом развитии, в то время как головной мозг человека постепенно увеличивался в размере (причем емкость черепа неандертальца была в среднем больше, чем у современного человека). Только после появления

в Африке первых современных людей мы видим, что начинаются быстрые изменения как в процессе производства орудий труда, так и в плане возникновения первых несущих символическое значение артефактов (расписанные ракушки, использование красителя, геометрические изображения, обнаруженные в пещере Бломос, созданные приблизительно 80 000 лет назад (Henshilwood et al., 2002)). Паабо соглашается с этой точкой зрения и утверждает, что должно было быть нечто, что отделило нас от неандертальцев и стимулировало широкомасштабное распространение нашего вида, который никогда до этого не пересекал океан и не покидал пределов Африки, а после этого распространился по всей планете всего за несколько десятков тысяч лет. Что же это было?

Вслед за Таттерсалем Паабо отмечает отсутствие изобразительного искусства и других примеров современного символического поведения у неандертальцев. Это указывает нам, в каком направлении нужно мыслить (Pääbo, 2014b). Очевидно, что у наших предков к тому моменту, когда они мигрировали из Африки, «это» уже было и «этим», как мы вместе с Таттерсалем подозреваем, был язык. Но тут Паабо не соглашается. Он предполагает, что нас отличает «наше стремление к совместному вниманию и способность учиться сложным вещам от других» (Паабо рассматривает язык как один из аспектов культурного научения, разделяя взгляды коллеги Майкла Томаселло (Michael Tomasello) (Pääbo, 2014b: 3757–3758)). Мы считаем, что он ошибается по поводу того, какое место

занимает язык и как он приобретает. Похоже, что Паббо обратился к «боасианской» антропологии, пользовавшейся большой популярностью в прошлом веке (эту тему мы обсудим в следующей главе).

В любом случае результатом миграции наших предков из Африки стало то, что определенный вид человека — мы — в конечном итоге занял доминирующую позицию, впитал в себя все самое лучшее из геномов неандертальца и денисовца и отбросил все ненужное. Вероятно, это слишком приукрашенная картина, но, принимая во внимание то, что мы знаем о последующей истории нашего вида, все это одновременно и выглядит очень знакомо, и продолжает вызывать вопросы.

Однако мы не видим «постепенности» появления орудий, технологий или других новшеств (таких как огонь, жилище, изобразительное искусство). Человек научился обращаться с огнем приблизительно миллион лет назад, но это практически на полмиллиона лет позже, чем появился человек работающий. Таттерсаль отмечает, что такой шаблон (когда за застоем следует скачок развития) вполне вписывается в концепцию экзаптации (эволюция путем естественного отбора всегда берет уже существующие черты и по-новому их применяет). Невозможно предугадать, будет ли какая-либо черта полезна в будущем. Поэтому новые черты не имеют привязки к тем функциям, которые им будут приписаны впоследствии. Выступая в роли сита, естественный отбор может только пропустить через себя то, что находится в его распоряжении. Любые новше-

ства обязательно должны возникать как-то иначе (как золотые самородки, которые удастся намыть). Значит, те элементы, которые предшествовали появлению языка и стали его составляющими, уже существовали. Но что это были за составляющие?

Тройственная модель, вокальное научение и геномика

Любая теория возникновения языка должна объяснять, какие именно изменения произошли. В нашей тройственной модели это место занимают три компонента, о которых мы говорили ранее: 1) операция соединения (Merge) со словоподобными атомами, грубо говоря, «центральный процессор» синтаксиса человеческого языка; 2) сенсомоторный интерфейс, являющийся частью языковой системы экстернализации (вокальное научение и продукция); 3) концептуально-интенциональный интерфейс (мышление). Сейчас мы сосредоточимся на вокальном научении и продукции, обеспечивающихся сенсомоторным интерфейсом.

Как говорилось в начале данной главы, благодаря примерам из животного мира, например певчим птицам, исследователи приближаются к пониманию механизмов вокального научения — генетического компонента, выполняющего последовательную обработку ввода-вывода. По мнению Пфеннинга и соавторов (Pfenning et al., 2014),

этот компонент может быть схожим у разных видов, способных к вокальному научению, поскольку в связи с эволюционными и биофизическими ограничениями существует всего несколько способов формирования системы вокального научения. Но при этом у каждого отдельного вида есть свои характерные особенности, выражающиеся, например, у человека в слухе и речи или в жестах и визуальном восприятии.

Эта картина ввода-вывода совпадает с тем, что нам известно о гене FOXP2. Мы считаем, что FOXP2 — это в первую очередь часть системы, которая составляет основу сенсомоторного интерфейса, участвующего в экстернализации синтаксических структур (образно выражаясь, это скорее принтер, подключенный к компьютеру, нежели центральный процессор компьютера). В главе 3 рассказывается о том, какие лингвистические данные подтверждают эту точку зрения. Но существуют и другие основания. Недавно проведенное исследование с участием трансгенных мышей, которым вживили человеческий ген FOXP2, свидетельствует о том, что его человеческий вариант участвует в «модифицировании корково-ядерных путей», развивая способность переводить моторные навыки, полученные декларативным путем, в процедурную память, например при обучении езде на велосипеде (Schreiweis et al., 2014: 14253). Это открытие вполне вписывается в наши представления об экстернализации. Переход от декларативных к (бессознательным) моторным навыкам — это именно то, что

делают дети, когда учатся исполнять изысканный «танец» рта, языка, губ, речевого тракта или пальцев, который мы называем речью или жестами. Разумеется, многое нам по-прежнему неизвестно. Авторы отмечают: «Как эти открытия связаны с влиянием человеческой версии FOXP2 на развитие головного мозга человека и появление таких свойств, как язык и речь, мы все еще не знаем» (Schreiweis et al., 2014: 14 257).

По нашему мнению, эксперимент Шрайвайс (Schreiweis), а также открытия Пфеннинга и коллег (Pfenning et al., 2014) убедительно доказывают, что вокальное научение и продукция в экстернализационной системе языка присущи не только человеку. От птиц нас отделяют приблизительно 600 миллионов лет эволюционного развития, но тем не менее специализированные участки, отвечающие за пение и речь, а также геномная специализация у способных к вокальному научению певчих птиц (например, зебровых амадин, колибри) и способных к вокальному научению видов человека обладают невероятным сходством. И наоборот, у неспособных к вокальному научению птиц (куриц, перепелок, голубей) и неспособных к вокальному научению приматов (макак) отсутствует подобная геномная специализация (как у певчих птиц или людей).

Пфеннинг и соавторы проанализировали тысячи генов и профилей генной экспрессии в головном мозге певчих птиц, попугаев, колибри, голубей, перепелок, макак и людей, пытаясь соотнести характерные уровни экспрессии генов (транскрипция на высоком или низком уровне)

со сложной иерархической декомпозицией участков головного мозга у исследуемых видов. Ученые стремились выяснить, насколько похожи подобласти головного мозга, где происходит экспрессия тех или иных генов, у разных способных к вокальному научению видов (певчих птиц, попугаев, колибри, человека) по сравнению с видами, неспособными к вокальному научению (голубями, перепелками, макаками). Ответ: одни и те же профили транскрипции генов могли совпадать у всех способных к вокальному научению видов, но не совпадали у видов, способных к вокальному научению, с видами, неспособными к вокальному научению. Если мы представим себе гены в виде набора звуковых контроллеров в усилителе, то у способных к вокальному научению видов все они «настроены» параллельно, а у остальных видов — иначе.

Например, у певчих птиц и у человека схожим образом происходит подавляющая регуляция гена аксонального наведения *SLIT1* (целевой ген для *FOXP2*) в сходных областях головного мозга: у птиц это одна из областей крыши больших полушарий (ядро акропаллиума), а у человека — моторная зона коры, управляющая движениями гортани. Как отмечают Пфеннинг и соавторы, белок, кодируемый геном *SLIT1*, «действует вместе с рецептором аксонального наведения *ROBO1*, а мутации рецептора *ROBO1* вызывают дислексию и нарушения речи у людей... *ROBO1* — это один из пяти генов-кандидатов с конвергентными аминокислотными заменами у способных к голосовому научению млекопитающих»

(2014: 2156846–10). Ген *SLIT1*, очевидно, принимает участие в развитии, благодаря чему нейронные пути в головном мозге у певчих птиц и у человека должным образом «организованы».

Подобно *FOXP2*, многие обнаруженные таким способом гены подавляют или активизируют работу ДНК и соответствующих продуцируемых белков. Но мы пока еще не знаем, какова причинно-следственная связь между ними. Пфеннинг (из личной беседы) планирует дальнейшие исследования, чтобы хотя бы частично ответить на этот вопрос. В частности, он хочет выявить ДНК-мотивы, которые «регулируют регуляторы». В основу именно этого подхода положены все те сведения, которые мы приводили ранее, говоря об эволюции и эволюционных изменениях. Благодаря новаторскому исследованию Кинг и Уилсона (King and Wilson, 1975) нам теперь известно, что человек и шимпанзе на макромолекулярном уровне (белки, участвующие в биохимических процессах организма) идентичны на 99 %. И это сходство будет еще больше, если мы сравним людей с нашими предками — не людьми. Кинг и Уилсон пришли к очевидному и важному выводу: различия между людьми и обезьянами, по всей видимости, связаны с регуляторными элементами. Это значит, что изменения в кодирующих белок генах не могут быть связаны с эволюцией (особенно с той, которая сделала нас людьми, поскольку это произошло относительно недавно).

За последние 40 лет появилось немало подтверждений теории Кинг и Уилсона, включая некодирующие ДНК

и другие компоненты, регулирующие деятельность генов (от упаковки ДНК в хроматин до регуляции ДНК с помощью микро-РНК в период развития, в частности развития головного мозга). Все это часть так называемой «эво-дево»-революции (Somel, Liu and Khaitovich, 2011).

Мы сосредоточим свое внимание всего на одном факторе генетической регуляторной системы, контролирующей ДНК, — на так называемых энхансерах и на том, почему эволюция регуляторных систем оказала столь существенное влияние. (Мы не имеем возможности в рамках данной книги обсудить остальные геномные области, которые связаны с эволюционными изменениями, например цис-регуляторные элементы (Wray, 2007).) Энхансер — это небольшой участок ДНК, включающий в себя около 1500–2000 нуклеотидов (аденин, тимин, цитозин, гуанин), который не кодирует какой-либо функциональный белок (как, например, ген HBB кодирует белковую цепь «гемоглобин — бета-глобин», или ген FOXP2 кодирует белок FOXP2). Энхансер не кодирует никаких белков вообще, поэтому его относят к некодирующим ДНК. Какова его функция? Энхансер располагается чуть «выше» или «ниже» точки начала кодирующего белок гена (приблизительно на расстоянии миллион нуклеотидов). Он выпетливается, чтобы связаться с этой начальной точкой и другими элементами, необходимыми для катализации транскрипции ДНК, — промотором, РНК-полимеразой II и любыми факторами транскрипции (возможно, даже самим FOXP2). Когда

все компоненты в сборе, свеча промотора зажигается (довольно затейливым образом) — и запускается двигатель транскрипции ДНК.

С точки зрения эволюции энхансеры интересны как минимум по двум причинам. Во-первых, они имеют гораздо более узкую специализацию, чем кодирующие белок ДНК. В отличие от кодирующей белок ДНК, которая может выполнять в организме сразу несколько функций (обычно так и бывает), влияя на различные ткани и клетки, энхансер влияет всего на один участок ДНК, поэтому он действует узконаправленно и в сочетании с промоторами и факторами транскрипции. Следовательно, изменить энхансер, не повливав попутно на другие участки, гораздо проще, чем кодирующую белок ДНК. Энхансер состоит из модулей, и это идеально подходит для эволюционных опытов — можно особо не опасаться разрушить сложный комплексный механизм, изменив в нем какую-то одну деталь. Во-вторых, энхансер активен только на одной из двух цепей ДНК (обычно это та же цепь, которая отвечает за кодирование белка). Это отличает его от кодирующей белок ДНК, которая в отдельных случаях (в так называемом гомозиготном состоянии, для определения фенотипа) должна задействовать обе цепи, как в классическом примере с голубым цветом глаз. И это второе преимущество для эволюции: организм не должен ждать, пока изменения затронут обе цепи ДНК. Вывод следующий: эволюционная отладка происходит гораздо проще, когда речь идет об энхансерах (у людей их насчитывается более

100 000, и каждый связан с определенным геном). Поэтому нет ничего удивительного в том, что исследователи, которых интересует вопрос вокального научения у птиц и людей, в первую очередь решают сосредоточить внимание именно на энхансерах. Это направление исследований оказалось верным: недавно появились данные, подтверждающие, что у человека и у шимпанзе на уровне ДНК есть различие, в результате которого по-разному происходит деление нервных клеток. Как именно, мы опишем далее (Boyd et al., 2015).

Возвращаясь к нашему вопросу, попытаемся разобраться, какое значение имеют полученные данные с точки зрения эволюции и вокального научения. Пфеннинг и соавторы (2014: 1333) подводят итог: «Из открытия о том, что конвергентные нейронные пути, отвечающие за вокальное научение, сопровождаются конвергентными молекулярными изменениями во множестве генов у видов, которых от общего предка отделяют миллионы лет, следует тот вывод, что у отвечающих за сложные признаки маршрутов в головном мозге могло быть не так много способов эволюционного развития». Другими словами, «инструментарий», с помощью которого было сконструировано вокальное научение, мог состоять из (устойчивого) набора в 100–200 генетических специализаций (абсолютно для всех видов), которые можно было быстро «загрузить» (следовательно, они относительно быстро эволюционировали). Это вписывается в нарисованную нами картину относительно быстрого возникновения

языка, а также в нашу методологию, предусматривающую проведение грани между эволюцией экстернализационной системы ввода-вывода и «центрального процессора» синтаксиса человеческого языка.

Что еще современная молекулярная биология может рассказать нам об эволюции человеческого мозга и языка? Мы не станем приводить здесь подробный анализ этой быстро развивающейся области, но выделим несколько ключевых моментов, а также обрисуем основные трудности.

Благодаря новым открытиям, связанным с древним генетическим материалом, мы теперь можем представить, какие геномные различия можно обнаружить, а также посмотреть, как это соотносится с известными геномными различиями между нами и секвенированными геномами неандертальца, денисовца и шимпанзе.

Что касается различий, то с момента отделения нашей эволюционной ветви от наших исчезнувших предков, например неандертальцев, прошло относительно немного времени (от 500 000 до 700 000 лет), а современные люди появились на юге Африки около 200 000 лет назад, следовательно, между этими двумя событиями отводилось около 400 000 лет на эволюцию. С помощью инструментов популяционной генетики (в том числе оценки интенсивности отбора, размера популяции и уровня мутации ДНК) мы можем вычислить, сколько отдельных прошедших положительный отбор геномных областей (то есть тех, в которых у современного человека не наблюдается

вариаций и которые поэтому неважны с функциональной точки зрения) могло закрепиться в человеческой популяции, причем тех, которые различаются у других видов (не человека). Так называемый эффективный размер человеческой цивилизации 200 000 лет назад составлял, по оценкам некоторых источников, около 10 000 человек — довольно небольшая цифра по сравнению со многими другими млекопитающими (Jobling et al., 2014). Интенсивность отбора (приспособленность, обозначенная буквой s) довольно трудно оценить, но один из ярчайших примеров недавнего времени свидетельствует о том, что в отношении гена лактазы LCT (Tishkoff et al., 2007) действует отбор с интенсивностью до 0,1. Это очень высокий показатель. Используя все эти параметры, в ходе одного недавнего исследования ученые пришли к выводу, что в данном случае могло произойти до 700 полезных мутаций, и только 14 из них закрепились в человеческой популяции, даже учитывая сильное преимущество при отборе, при $s = 0,01$ (Somel, Liu and Khaitovich, 2013). Низкий процент закрепившихся мутаций обусловлен эффектом «стохастического гравитационного колодца», о котором говорилось в предыдущем разделе. Вероятность утраты при этом составляла приблизительно $(1 - s/2)$, то есть 98 % из 700, или 686 утраченных мутаций и 14 закрепившихся.

Эта умозрительная оценка оказалась довольно близка к тем данным, которые были получены опытным путем. Полногеномное секвенирование неандертальцев и дени-

совцев указывает на существование 87 и 260 (соответственно) функциональных геномных различий (на уровне аминокислот), которые закрепились у современного человека, но отсутствовали у этих двух исчезнувших видов (Pääbo 2014a, дополнительная таблица 1). Как пишет Паабо, подобные различия играют важную роль, поскольку как минимум на уровне генома они показывают, что именно делает нас людьми. Что касается различий неандертальца и человека, то мы наблюдаем всего 31 389 однонуклеотидных различий (случаев однонуклеотидного полиморфизма, SNP, ОНП) из 4 миллиардов возможных; 125 инсерций или делеций нуклеотида; 3117 различий в регуляторных областях (слову «регуляторный» дается особое определение) и 96 аминокислотных различий в пределах 87 генов. (В некоторых генах встречается несколько аминокислотных различий.) О чем говорит нам этот «список различий»?

Большинство из 30 000 с лишним однонуклеотидных различий, скорее всего, не играют совершенно никакой роли в естественном отборе — они нейтральны. Вслед за Паабо мы пока отбросим 3000 или около того регуляторных различий и сфокусируемся только на имеющихся между нами и неандертальцами 87 различиях в кодировании белков (это не так уж много). Например, у нас есть тот же самый белок FOXP2, что и у неандертальцев, хотя, по некоторым данным, регуляторная область гена FOXP2 не закрепилась в человеческой популяции, и у неандертальцев и людей ее варианты немного различаются¹⁰, о чем

мы поговорим в главе 4. Среди генов, которые кодируют различные белки, некоторые наверняка не связаны с языком и познанием. Например, как минимум три различных гена отвечают за формирование кожи, и это вполне оправданно, учитывая, что человек утратил волосяной покров на теле, в результате чего изменилась пигментация кожи.

Другие геномные различия — более вероятные кандидаты на роль источников когнитивной эволюции. Например, Паабо отмечает, что существует три варианта генов, которые присутствуют у нас, но которых нет у неандертальцев, — *CASC5*, *SPAG5* и *KIF18A*. Они задействованы в так называемой пролиферативной зоне, где происходит деление стволовых клеток для формирования мозга (Pääbo, 2014a). Однако на момент написания данной статьи мы не знаем, влияют ли кодируемые данными генами белки на различия в развитии или в фенотипах человека и неандертальца, например на размер и «устройство» мозга (общая емкость черепа неандертальцев была в среднем больше, чем у нас, причем наблюдается некоторая асимметрия в сторону увеличенной затылочной части мозга). И это главная сложность, которую необходимо преодолеть. Нужно понять связь между генотипом и фенотипом.

Нам известен ответ на этот вопрос, по крайней мере в отношении одного регуляторного геномного различия, связанного с развитием мозга (различия между нами и другими высшими приматами, а не с неандертальцами (Boyd et al., 2015)). В истории развития человека произо-

шло общее увеличение емкости черепа и размера головного мозга: от человека умелого (примерно 2–2,8 миллиона лет назад), объем черепа которого, по современным оценкам, составлял приблизительно 727–846 см³, до человека прямоходящего с объемом черепа около 850–1100 см³ и далее. В этом отличие человека от остальных высших приматов. В чем причина увеличения головного мозга? Если мы посмотрим на энхансерные области человека, прошедшего через быстрое эволюционное развитие, то увидим, что многие из них расположены рядом с генами, задействованными в конструировании головного мозга (Prabhakar et al., 2006; Lindblad-Toh et al., 2011). Бойд и соавторы сфокусировались на одном из энхансеров, отличающих нас от шимпанзе (HARE5), и вывели трансгенных мышей, у которых была либо человеческая, либо обезьянья вариация HARE5. Наблюдались ли у обоих видов мышей какие-либо различия в росте коры головного мозга? Да, у мышей с человеческим вариантом энхансера размер мозга была приблизительно на 12 % больше по сравнению с мозгом обычных мышей и мышей с обезьяньим вариантом HARE5, вероятно, благодаря увеличению скорости деления нейральных клеток-предшественниц. Как уже было описано ранее, энхансер HARE5 действует вместе с промоторной областью ключевого гена FZD8, участвующего в формировании неокортекса. Это исследование указывает одно из направлений исследований (пусть и не самое простое), чтобы получить экспериментальные свидетельства того, что каждый

из 87 генов, отличающих неандертальцев от людей, влияет на фенотип. Но нам нужна информация не только об этом. Даже зная, что энхансер HARE5 ускоряет рост мозга, мы по-прежнему не понимаем, как увязать этот рост с когнитивным фенотипом, который мы называем языком.

Какое из 3000 с лишним регуляторных различий может быть с этим связано? Сомель и коллеги отмечают: «Появляется все больше свидетельств того, что человеческий мозг претерпел фундаментальные изменения в результате нескольких генетических событий, произошедших за короткий промежуток времени между эволюционным разделением человека и неандертальца и возникновением современного человека» (Somel, Liu and Khaitovich, 2013: 119). Ученые особенно выделили следующее различие между нами и неандертальцами — регуляторный участок ДНК, расположенный над регулятором синаптического роста MEF2A (миоцитарным усилительным фактором-2). Они называют его потенциальным транскрипционным регулятором пролонгированного синаптического развития коры головного мозга человека — это одна из характерных особенностей человеческого развития, пролонгированный период детства (Somel, Liu and Khaitovich, 2013: 119). Однако в таком случае на один маленький участок ДНК ложится немалый груз ответственности.

Другие претерпевшие изменение гены и регуляторные элементы, связанные со строением черепа и ростом нейронов и накопившиеся со времен нашего последнего

общего с шимпанзе предка до современности, опять-таки свойственны всему роду людей (Номо) в целом. Например, ген *SRGAP2* играет роль в развитии коры головного мозга и созревании нейронов. За период эволюционного развития человека этот ген дублировался трижды, одна из этих дубликаций совпадает по времени с появлением рода людей 2–3,5 миллиона лет назад (Jobling et al., 2014: 274). Подобная дубликация генов, как известно, оказывает большое влияние на эволюционные изменения, поскольку один из дубликатов может «пуститься в свободное плавание» и примерить на себя новые функции (см. примечание 9 на с. 226) (Ohno, 1970).

Какой из всего этого можно сделать вывод? Вероятно, вопросом на \$64 000 будет следующий: был ли у неандертальцев язык? Количество геномных различий между нами, неандертальцами и денисовцами настолько мало, что некоторые авторы отвечают на этот вопрос утвердительно. Мы довольно скептически смотрим на эту ситуацию. Мы не понимаем геномную или нейронную подоплеку базового свойства. Практически невозможно определить даже то, был ли язык у анатомически современных людей, живших 80 000 лет назад. Мы можем опираться только на символические подсказки, свидетельствующие о речевом поведении. Наряду с Таттерсалем (2010) мы отмечаем, что материальные свидетельства наличия у неандертальцев символической деятельности невероятно скудны. И наоборот, у анатомически современных людей, живших на юге Африки около 80 000 лет назад, еще до миграции

в Европу, совершенно точно присутствуют признаки символического поведения. В главе 4 мы вернемся к этому вопросу.

Наша основная проблема заключается в том, что нет полного понимания, каким образом в нашей нейронной «биологической вычислительной системе» осуществляются даже самые простые вычислительные операции. Например, как неоднократно подчеркивал Рэнди Галлистел, самое первое, что любой программист хочет знать о компьютере, — это как данные заносятся в память и как извлекаются оттуда (это важнейшие операции в машине Тьюринга и в любом вычислительном устройстве). И все же нам не до конца известно, как этот базовый элемент вычислительного процесса реализован в головном мозге (Gallistel and King, 2009). Например, одна из наиболее распространенных гипотез о том, как реализован процесс обработки иерархической структуры в языке, гласит, что это происходит посредством рекуррентной нейронной сети с экспоненциальным уменьшением, действующей по принципу магазинной памяти (Pulvermüller, 2002). К сожалению, простые биоэнергетические вычисления демонстрируют нежизнеспособность этой версии. Как отмечает Галлистел, каждый потенциал действия, или спайк, требует гидролиза 7×10^8 молекул АТФ (базовое молекулярное хранилище «энергии» для живых клеток). Исходя из расчета «одна операция — один спайк», Галлистел вычислил, что для достижения необходимой вычислительной мощности потребуется порядка 10^{14} спай-

ков в секунду. Теперь мы тратим немало времени на размышления и чтение книг, таких как эта, наша кровь закипает, но, вероятно, не до такой степени. Подобные вопросы подрывают любые методологии, в основу которых положены последовательности спайков (включая теории динамических систем), вызывая определенные сложности, которые часто игнорируются (Gallistel and King, 2009). Следуя моде давать имена ключевым проблемам когнитивной лингвистики (например, «проблема Платона» или «проблема Дарвина»), мы будем придерживаться названия «проблема Галлистела». В главе 4 подробно описывается проблема Галлистела в контексте вычислений и операции соединения.

Приблизительно 50 лет назад Марвин Минский (Marvin Minsky) в своей книге «Вычисления: конечные и бесконечные машины» (1967) описал проблему Галлистела практически теми же словами, подчеркивая, как мало все изменилось: «К сожалению, у нас до сих пор очень мало точных данных и даже отсутствует какая-либо общепризнанная теория о том, как информация хранится в нервных системах, то есть как они учатся... Одна из гипотез предполагает, что кратковременная память “динамична” — хранится в виде импульсов, вибрирующих вокруг замкнутых нейронных цепей... Недавно вышло несколько публикаций, предполагающих, что память, как и генетическая информация, хранится в виде полинуклеотидных цепей, но я не видел, чтобы хотя бы одна теория включала в себя убедительные механизмы ввода и вывода

данных» (Minsky, 1967: 66). Насколько нам удалось выяснить, слова Минского до сих пор актуальны и проблема Галлистела остается нерешенной. Эрш Сатмари был прав, когда написал, что «лингвистика находится на такой же ступени, на которой находилась генетика сразу после Менделя. Существуют правила (построения предложений), но мы до сих пор не знаем, какие механизмы (нейронные сети) за ними стоят» (1996: 764).

Конечно, мы очень хотим знать, что делает нас людьми и как на генетическом уровне развился язык. Поэтому ученые пытаются найти какие-либо явные следы естественного отбора, положительного выметания отбором, произошедшего приблизительно в то время, когда человек разумный возник как вид. Это может стать неопровержимым свидетельством того, насколько несовершенны наши знания об истории нашей популяции и об относительной редкости случаев выметания отбором. Возможно, эволюция просто отталкивается от вариаций, которые уже присутствуют в популяции, как утверждают Куп и Пшеворский¹¹ (Jobling et al., 2014: 204). В любом случае генетический анализ свойств, таких как язык, стал «теперь центральной проблемой эволюционной генетики человека» (Jobling et al., 2014: 204). Нам остается только согласиться.

ГЛАВА 2. ЭВОЛЮЦИЯ БИОЛИНГВИСТИКИ

Прежде чем обсуждать язык, особенно в контексте биологии, следует прояснить, как мы понимаем этот термин. Иногда термин «язык» используется для обозначения человеческого языка, иногда — для обозначения любой символической системы или способа коммуникации либо репрезентации (например, когда речь идет о языке пчел, языках программирования или языке небесных светил). Мы будем придерживаться первого определения и отметим, что изучение человеческого языка как объекта биологического мира получило название биолингвистической перспективы.

Среди множества вопросов о языке самых важных — два. Во-первых, почему языки вообще существуют, и только у людей? (В эволюционной биологии такое явление

называется аутапоморфией.) Во-вторых, почему языков так много? Это базовые вопросы о происхождении и разнообразии, которые интересовали Дарвина и других мыслителей-эволюционистов и которые составляют основу современной биологии (почему в мире наблюдается именно такой ряд жизненных форм, а не какой-нибудь иной?). С этой точки зрения наука о языке отлично вписывается в современную биологическую традицию, несмотря на кажущуюся абстрактность ее деталей.

Большинство палеоантропологов и археологов сходятся в том, что оба озвученных вопроса — вполне свежие по меркам эволюционного времени. Около 200 000 лет назад ни один из них не пришел бы на ум, потому что языков еще не существовало. А около 60 000 лет назад ответы на них были бы такими же, как и сейчас. В те времена наши предки мигрировали из Африки и стали расселяться по всей планете, и с тех пор, насколько известно, языковая способность, в принципе, не изменилась (что неудивительно для столь короткого срока). Указать более точные даты не получится, но для наших целей они не особо важны, ведь в общем и целом картина выглядит верной. Еще один важный момент: если взять младенца, рожденного в Амазонии, в индейском племени, которое в своем развитии застряло на уровне каменного века, и перевезти его в Бостон, то по языку и другим когнитивным функциям его не отличишь от местных детей, чья родословная прослеживается вплоть до первых английских колонистов. Обратное тоже верно. Единообразие способности к языку,

присущей нашему виду (так называемой языковой способности), убеждает нас в том, что этот признак анатомически современного человека должен был уже существовать к моменту, когда наши предки ушли из Африки и расселились по миру. Еще Эрик Леннеберг (Lenneberg, 1967: 261) обратил внимание на этот факт. Насколько нам известно, помимо случаев патологии, языковая способность присуща всей человеческой популяции¹.

Более того, с древнейших времен, о которых сохранились письменные свидетельства, и до наших дней фундаментальные параметрические свойства человеческого языка остаются одними и теми же, варьируемые происходит лишь в установленных пределах. Например, ни один язык при образовании пассивных конструкций типа *The apple was eaten* («Яблоко было съедено») не использует счет позиций так, чтобы показатель пассива размещался, скажем, после третьей позиции в предложении. Этот факт созвучен с выводами недавнего томографического исследования (Musso et al., 2003). В отличие от любого машинного языка человеческие языки допускают дислокацию (displacement): словосочетание может интерпретироваться в одном месте, а произноситься в другом, как в предложении *What did John guess?* («Что угадал Джон?»). Такое свойство происходит из операции соединения. Звуки всех человеческих языков строятся из конечного, фиксированного инвентаря или базового множества артикуляционных жестов — таких, например, как колебания голосовых связок, которые отличают звук «б»

от «п», хотя не во всех языках «б» и «п» различаются. Проще говоря, языки могут делать разные «заказы» из доступного им всем «меню» структурных элементов, но само это «меню» неизменно. Адекватно моделировать изменчивость такого выбора* можно с помощью простых моделей на основе динамических систем. Это демонстрируют Нийоги и Бервик (Niyogi & Berwick, 2009), моделируя переход английского языка от порядка слов как в немецком (с глаголом в конце предложения) к более современному. Однако подобные языковые изменения не следует путать с эволюцией языка как таковой.

Таким образом, в центре нашего внимания оказывается любопытный биологический объект — язык, который появился на земле не так давно. Это видоспецифическое свойство без значительных различий (за исключением случаев тяжелой патологии) присуще всем людям. Язык, по сути, не похож ни на что другое в органическом мире и играет важнейшую роль в человеческой жизни с самого ее зарождения. Это центральный компонент того, что Альфред Рассел Уоллес, основоположник (наряду с Дарвином) современной эволюционной теории, назвал «умственной и нравственной природой человека» (Wallace, 1871: 334). Речь идет о способностях человека к творческому воображению, языку и вообще к симво-

* В оригинале труднопереводимая метафора; видимо, язык сравнивается с платьем, а его история — с периодически меняющейся модой то на длинные, то на короткие платья.

лике, записи и интерпретации явлений природы, сложным социальным практикам и т. п. Данный комплекс иногда называют человеческими способностями (*human capacity*). Он оформился совсем недавно у маленькой группы обитателей Восточной Африки, потомками которых являемся все мы, и отличает современного человека от других животных, что повлекло колоссальные последствия для всего биологического мира. Считается, что именно возникновение языка сыграло главную роль в этом внезапном и колоссальном преобразовании (отметим, что эта мысль звучит вполне правдоподобно). Кроме того, язык — один из компонентов человеческих способностей, доступный для глубокого изучения. Вот еще одна причина, по которой даже исследования чисто лингвистического характера в действительности пересекаются с биолингвистикой, хотя и выглядят далекими от биологии.

С биолингвистической точки зрения язык можно представлять как «орган тела» (наравне со зрительной, пищеварительной или иммунной системами). Подобно им, язык — субкомпонент сложного организма, обладающий значительной внутренней целостностью, так что изучать его нужно отдельно от его сложных взаимодействий с другими системами в жизненном цикле организма. В данном случае язык — когнитивный орган, как и системы планирования, интерпретации, размышления (*reflection*) и т. п., обладающие характеристиками, которые называются ментальными и сводятся к «органической структуре мозга»,

по выражению Джозефа Пристли (Josef Priestley), ученого и философа XVIII века (Пристли, 1775/1968: 131)*. Пристли сформулировал этот вывод после того, как Ньютон, к собственному изумлению, продемонстрировал, что мир — вовсе не машина, вопреки главным положениям научной революции XVII века**. Это заключение фактически устранило традиционный дуализм души и тела, потому что исчезло ясное понятие о «(физическом) теле» или «материи», которое существовало в XVIII–XIX веках. Язык можно воспринимать как ментальный орган, причем слово «ментальный» просто указывает на определенные характеристики мира, которые можно изучать точно так же, как и химические, оптические, электрические свойства, надеясь в конце концов свести результаты воедино. Однако заметим, что в перечисленных областях науки такое объединение зачастую достигалось совершенно неожиданными способами и не обязательно путем редукции.

Как было сказано в начале главы, напрашиваются два очевидных вопроса о языке. Почему язык вообще суще-

* Приведена ссылка на существующий русский перевод трактата Пристли. В этом переводе, однако, *mental* переводится как «духовный», а не «ментальный». Вот цитата полностью: «... Свойство восприятия... и другие способности, называемые духовными (*mental*), являются результатом (необходимым или нет) такой органической структуры, как структура мозга».

** Это весьма парадоксальное утверждение Хомский обосновывает в лекции «Наука, разум и границы понимания»: https://chomsky.info/201401__.

ствуется, причем только у людей? И почему языков много? Также вызывает интерес, почему языки «отличаются друг от друга безгранично и непредсказуемо», что в итоге к исследованию каждого языка надо подходить «без всякой готовой схемы, указывающей, каким должен быть язык»? Мы процитировали слова более чем полувековой давности, принадлежащие выдающемуся лингвисту-теоретику Мартину Йосу (Joos, 1957: v, 96). Йос подвел краткий итог господствующей «боасовской традиции», как он ее удачно назвал, обращаясь к трудам одного из основоположников современной антропологии и антропологической лингвистики Франца Боаса. Публикация «Методы структурной лингвистики» (*Methods in Structural Linguistics*) Зеллига Харриса (Harris, 1951), положившая начало американской структурной лингвистике 1950-х годов, содержала в заголовке слово «методы» именно потому, что в ней мало что говорилось о языке (помимо методов, позволяющих свести безграничное разнообразие языкового материала к организованной форме). Европейский структурализм имел много общего с американским. Так, похожим по замыслу было классическое введение в фонологический анализ, созданное Николаем Трубецким (Трубецкой, 1939/1960). Вообще говоря, внимание структуралистов было почти всецело сосредоточено на фонологии и морфологии — языковых уровнях, на которых проявляется его широкое и сложное разнообразие. Этот вопрос вызывает большой интерес, и мы к нему вернемся.

В общей биологии примерно в то же время господствовала сходная точка зрения. Ее высказывает, например, молекулярный биолог Гюнтер Стент. Он отмечает, что изменчивость организмов настолько свободна, что образует «чуть ли не бесконечное множество частных случаев, каждый из которых следует рассматривать в отдельности» (Stent, 1984: 569–570).

По сути, и в общей биологии, и в лингвистике проблема компромисса между единством и разнообразием возникала постоянно. В исследованиях языка, которые велись в ходе научной революции XVII века, устанавливалось различие между общей (universal) и частной грамматикой (хотя смысл этого различия был не точно таким же, как в рамках современного биолингвистического подхода). Общей грамматикой называлось интеллектуальное ядро этой дисциплины, а частные грамматики рассматривались как маловажные, случайные воплощения всеобщей системы. С расцветом антропологической лингвистики маятник качнулся в другую сторону — к разнообразию, что хорошо отражено в боасовском определении, процитированном выше. В рамках общей биологии проблема, о которой идет речь, живо обсуждалась в знаменитой полемике между натуралистами Жоржем Кювье (Georges Cuvier) и Жоффруа Сент-Илером (Geoffroy St. Hilaire) в 1830 году. Точка зрения Кювье, который сделал упор на разнообразие, победила (особенно в свете дарвиновской революции). Это и привело к выводам о «чуть ли не бесконечном множестве» частных случаев, которые нужно

рассматривать в отдельности. Наверное, чаще всего цитируемое биологами высказывание — это заключительные слова дарвиновского «Происхождения видов» о том, как «из такого простого начала развилось и продолжает развиваться бесконечное число самых прекрасных и самых изумительных форм» (Дарвин, 1859/1991: 419). Эволюционный биолог Шон Кэрролл вынес выражение Дарвина в заголовок своей книги (Кэрролл, 2005/2015) — введение в «новую науку эво-дево», или эволюционную биологию развития, которая стремится показать, что эволюционирующие формы далеко не бесконечны и даже весьма единообразны.

Примиришь наблюдаемое разнообразие органических форм с их очевидным глубинным единообразием (почему мы наблюдаем именно такой ряд живых организмов, а не какой-нибудь иной и именно такой ряд языков/грамматик, а не какой-нибудь иной) позволяют три взаимодействующих фактора, сформулированные биологом Моно в книге «Случайность и необходимость» (*Le hasard et la nécessité*) (Monod, 1970).

Первый фактор — исторически обусловленное обстоятельство, что все мы потомки единого древа жизни и, следовательно, имеем общую родословную со всеми остальными живыми существами, разнообразие которых исчерпывает, очевидно, лишь незначительную долю всевозможных биологических исходов. Поэтому не должно удивлять, что у нас с другими организмами есть общие гены, биохимические пути обмена и многое другое.

Второй фактор — физико-химические ограничения нашего мира, которые сужают круг биологических возможностей. Например, почти невероятно, чтобы для нашего передвижения сформировались колеса, потому что физически сложно подвести нервы и кровоток к вращающемуся объекту.

Третий фактор — отсеивающий эффект естественного отбора, который из заранее известного «меню» возможностей, заданного историческими обстоятельствами и физико-химическими ограничениями, оставляет только тот ряд организмов, который мы наблюдаем в окружающем мире. Заметим, что эффект ограниченного «меню» вариантов исключительно важен. Если перечень вариантов крайне узок, то и отбор мало из чего может выбирать (поэтому неудивительно, что человек в ресторане фаст-фуда обычно заказывает гамбургер и картошку фри). Как сказал бы об этом Дарвин, естественный отбор — вовсе не единственное средство, благодаря которому природа обрела свой нынешний вид. «Кроме того, я убежден, что естественный отбор был самым важным, но не единственным средством модификации» (Дарвин, 1859/1991: 24).

Недавние открытия вдохнули новую жизнь в общий подход Дарси Томпсона (D'Arcy Thompson, 1917/1942) и Алана Тьюринга (Turing, 1952) к принципам, ограничивающим разнообразие организмов. По словам Уордлоу (Wardlaw, 1953: 43), истинная биологическая наука должна рассматривать каждый «живой организм как особого рода систему, к которой приложимы общие законы фи-

зики и химии», резко ограничивающие возможное разнообразие организмов и фиксирующие их фундаментальные свойства. Такая точка зрения уже не выглядит крайностью в наши дни, после открытия мастер-генов, глубоких гомологий, консервации и многого другого вплоть до столь жестких ограничений на процессы эволюции/развития, что «повторное воспроизведение белковой пленки жизни может быть на удивление однообразным». В этой цитате из обзорной статьи Пулвейка и соавторов (Poelwijk et al., 2006) о допустимых путях мутаций переосмысливается знаменитая метафора Стивена Гулда, по мнению которого пленка жизни, если ее воспроизводить повторно, может следовать по новым маршрутам. Как далее замечает Майкл Линч (Lynch, 2007: 67), «много десятилетий было известно, что у всех эукариотов в основном одни и те же гены отвечают за транскрипцию, трансляцию, репликацию, потребление питательных веществ, основной метаболизм, структуру цитоскелета и т. д. Почему же, когда дело касается развития, мы ожидаем увидеть что-то другое?»

В обзорной статье об «эво-дево» Герд Мюллер (Müller, 2007: 947) замечает, насколько более основательно мы подошли к пониманию моделей формирования шаблонов типа машины Тьюринга:

«Обобщенные формы... возникают как результат взаимодействия базовых свойств клетки с различными механизмами формирования паттернов. Дифференциальная адгезия и полярность клетки, меняясь

под влиянием разных видов физических и химических механизмов паттернинга, образуют стандартные наборы... Свойства дифференциальной адгезии и их полярное распределение на поверхности клетки приводят в сочетании с градиентом диффузии к полым сферам, а в сочетании с градиентом осаждения — к сферам со впячиваниями (invaginated)... Сочетание дифференциальной адгезии с механизмом реакции-диффузии порождает радиально-периодические структуры, а ее сочетание с химической осцилляцией дает сериально-периодические структуры. Организмы древних животных своим строением отражают действие подобных стандартных наборов моделей формирования шаблонов».

Например, при объяснении исторически обусловленного факта, что у нас по пять пальцев на руках и ногах, правильнее было бы ссылаться на процесс развития пальцев, чем на оптимальность числа пять для их функционирования².

По спорному утверждению биохимика Майкла Шермана (Sherman, 2007: 1873), «универсальный геном, кодирующий все основные программы развития у различных типов животных (Metazoa), появился у одноклеточного или примитивного многоклеточного организма незадолго до начала кембрийского периода» (около 500 миллионов лет назад), когда произошел внезапный всплеск разнообразия сложных животных форм. Далее Шерман утверждает, что многие «типы животных, имеющие сходные геномы, тем не менее столь различны,

потому что каждый из них использует свою особую комбинацию программ развития» (Sherman, 2007: 1875). В соответствии с этой трактовкой (если мыслить абстрактно) есть всего один вид многоклеточных животных. Такой точки зрения мог бы придерживаться, скажем, марсианский ученый — представитель высокоразвитой цивилизации, созерцающий события на Земле. Поверхностное разнообразие отчасти может быть результатом различных комбинаций сохраненного эволюцией «генетического набора инструментов развития» (developmental-genetic toolkit), как его иногда называют. Если подобные идеи окажутся верными, то проблему единства и разнообразия удастся переформулировать совершенно неожиданным для некоторых современных ученых образом. В какой мере этот консервативный «набор инструментов» может выступать единственным объяснением наблюдаемого единообразия — вопрос, заслуживающий внимания. Как было сказано, наблюдаемое единообразие возникает отчасти по той причине, что прошло попросту слишком мало времени и пропорциональная этому количеству времени преемственность поколений лишает нас возможности изучения «слишком большого» генетико-белково-морфологического пространства (особенно учитывая невозможность «вернуться» и начать поиск с самого начала, чтобы добиться наилучших результатов). С учетом этих заложенных природой ограничений не должно особенно удивлять, что все организмы построены в соответствии с определенным набором «чертежей»

(Baupläne), как подчеркивал Стивен Гулд (Stephen Gould). Поэтому если бы продвинутые марсианские ученые прибыли на Землю, то, вероятно, увидели бы всего один организм, имеющий множество наблюдаемых поверхностных вариаций.

Во времена Дарвина такое единообразие не осталось незамеченным. В ходе натуралистических исследований Томас Гексли (Thomas Huxley), сподвижник и популяризатор Дарвина, пришел к мнению, что есть, вероятно, «предопределенные линии модификации», следуя которым естественный отбор «производит ограниченные по количеству и разнообразию вариации» для каждого вида (Huxley, 1878/1893: 223). Да и у самого Дарвина изучение источников и природы возможного варьирования составляет значительную часть его исследовательской программы после «Происхождения видов», что отражено в труде «Изменения домашних животных и культурных растений» (1868). Вывод Гексли похож на более старые идеи «рациональной морфологии» (знаменитый пример — теории Гете об архетипических формах растений, частично возрожденные в ходе «революции эво-дево»). Действительно, Дарвин интересовался этим направлением исследований и, как приверженец синтеза, более тщательно изучал «законы роста и формы» (ограничения и возможности, связанные с изменениями, обусловлены особенностями развития, случайным сцеплением с другими признаками, которые могут подвергаться сильному положительному или отрицательному отбору, и, наконец,

отбором по самому рассматриваемому признаку). Дарвин указал, что такие законы «корреляции и баланса» имеют значительную важность для его теории, и в качестве примера отметил, что «белые кошки с голубыми глазами обычно глухи» (Дарвин, 1859/1991: 28).

Как отмечалось в главе 1, на протяжении почти всей второй половины XX века, пока господствовала синтетическая теория эволюции, основы которой заложили Фишер, Холдейн и Райт, внимание эволюционной теории было сосредоточено на микромутационных событиях и градуализме и подчеркивалось влияние естественного отбора, идущего маленькими шажками. Однако недавно в общей биологии фокус внимания сместился в сторону комбинации трех факторов, выделенных Моно (Monod), что позволило по-новому взглянуть на старые идеи.

Вернемся к первому из двух наших базовых вопросов: почему языки вообще должны существовать, являясь, очевидно, аутапоморфией? Как было сказано, еще совсем недавно (по меркам эволюционного времени) этот вопрос не имел смысла, потому что языков не было. Имелось, конечно, множество систем коммуникации животных. Но все они радикальным образом отличаются от человеческого языка структурой и функциями. В стандартных типологиях систем коммуникации животных, например в типологии Марка Хаузера, предложенной в его всестороннем обзоре эволюции коммуникации (Hauser, 1997), для человеческого языка не удается найти подходящего места. Обычно язык рассматривают как систему, функция которой —

коммуникация. Это широко распространенная точка зрения, характерная для большинства селекционистских подходов к языку. Однако она ошибочна по ряду причин, которые мы озвучим далее.

Попытки вывести «предназначение» или «функцию» какого-либо биологического признака из его внешней формы всегда сопряжены с трудностями. Замечания Левонтина в книге «Тройная спираль» (Lewontin, 2001: 79) демонстрируют, насколько сложно бывает приписать органу или признаку определенную функцию даже в случае, который на первый взгляд кажется вполне простым. Например, у костей нет единой функции. Кости поддерживают тело (это позволяет нам стоять и ходить), но в них также хранится кальций и находится костный мозг, производящий эритроциты, так что кости в каком-то смысле можно считать частью кровеносной системы. Подобное характерно и для человеческого языка. Более того, всегда имелась альтернативная традиция, выразителем которой среди прочих выступает Берлинг (Burling, 1993: 25). Он утверждает, что люди вполне могут обладать вторичной коммуникативной системой, похожей на коммуникативные системы других приматов, а именно невербальной системой жестов или даже голосовых сигналов (calls), но это не язык, так как, по замечанию Берлинга, «система коммуникации, доставшаяся нам от предков-приматов, резко отличается от языка»³.

Язык, конечно, может использоваться для коммуникации, как и любой аспект нашей деятельности (стиль оде-

жды, жестикуляция и т. д.). Но язык также широко используется во множестве других ситуаций. По статистике, в подавляющем большинстве случаев язык задействуется для нужд мышления. Только огромным усилием воли можно удержаться от молчаливого разговора с самим собой во время бодрствования (да и во сне тоже, что нередко нам досаждают). Видный невролог Гарри Джерисон (Jerison, 1977: 55) наряду с другими исследователями высказал более смелое утверждение, что «язык эволюционировал не как коммуникативная система... Более вероятно, что первоначальная эволюция языка предназначала его... для построения образа реального мира», быть «инструментом мышления». Не только в функциональном измерении, но и во всех других отношениях — семантическом, синтаксическом, морфологическом и фонологическом — человеческий язык по своим главным свойствам резко отличается от систем коммуникации животных и, скорее всего, не имеет аналогов в органическом мире.

Но как же тогда этот странный объект появился в биологической летописи, причем в тесных рамках эволюции? Точного ответа, разумеется, нет, но можно набросать парочку вполне правдоподобных предположений, которые связаны с последними исследованиями в области биолингвистики.

В палеонтологической летописи первые анатомически современные люди появляются несколько сотен тысяч лет назад, но свидетельства возникновения человеческих способностей — гораздо более поздние и относятся

ко времени незадолго до миграции из Африки. Палеоантрополог Иэн Таттерсаль (Tattersall, 1998: 59) сообщает, что «голосовой тракт, способный производить звуки членораздельной речи», существовал уже за полмиллиона лет до самых ранних свидетельств использования языка нашими предками. «Мы вынуждены заключить, — пишет исследователь, — что появление языка и его анатомических коррелятов не было движимо естественным отбором, какими бы выгодными ни оказались эти новинки в ретроспективе» (этот вывод никак не противоречит стандартной эволюционной биологии вопреки заблуждениям, которые можно встретить в популярной литературе). Человеческий мозг достиг своего нынешнего размера не очень давно, может быть, около 100 лет назад, и это дает некоторым специалистам повод думать, что «человеческий язык, вероятно, развился — по крайней мере отчасти — как автоматическое, но при этом адаптивное следствие увеличения абсолютной величины мозга» (Striedter, 2006: 10). В главе 1 мы указали на некоторые различия в геноме, которые могли привести к такому увеличению размера мозга, а об остальных расскажем в главе 4.

О языке Таттерсаль пишет (Tattersall, 2006: 72), что «после долгого — и не особо понятного — периода хаотичного увеличения и реорганизации мозга в человеческой истории случилось что-то, что подготовило почву для усвоения языка. Эта инновация должна была зависеть от эффекта внезапности, когда случайное сочетание уже готовых элементов дает что-то совершенно неожиданное»,

предположительно «нейронное изменение... у определенной популяции в истории человечества... сравнительно малое в генетических терминах, [которое] вероятно, никак не было связано с адаптацией», хотя давало преимущества и впоследствии распространилось. Возможно, это было автоматическое следствие роста абсолютной величины мозга, как полагает Стридтер*, а может быть, случайная мутация. Спустя какое-то время — по меркам эволюции не очень долгое — произошли дальнейшие инновации, видимо уже культурно обусловленные, которые привели к появлению поведенчески современного человека, кристаллизации человеческих способностей и миграции из Африки (Tattersall, 1998, 2002, 2006).

Что это было за нейронное изменение в небольшой группе, причем сравнительно малое в генетических терминах? Чтобы ответить на этот вопрос, надо обратить внимание на специфические свойства языка. Элементарное свойство языковой способности, которой все мы обладаем, состоит в том, что она позволяет нам строить и интерпретировать дискретно-бесконечное множество иерархически структурированных выражений (дискретное — потому что есть предложения из пяти слов и предложения из шести слов, но нет предложений из пяти с половиной слов, а бесконечное — потому что

* Или Штридтер (Georg Striedter). Его однофамилец, немецко-американский славист русского происхождения Jury Striedter, по-русски всегда Штридтер.

длина предложений неограниченна). Следовательно, основой языка выступает рекурсивная порождающая процедура, которая принимает на вход элементарные словоподобные элементы из какого-то хранилища (назовем его лексиконом) и действует итеративно, порождая структурированные выражения, не ограниченные по сложности. Чтобы объяснить возникновение языковой способности — а значит, существование по крайней мере одного языка, — мы должны решить две основные задачи. Первая — разобраться с «атомами вычислений», лексическими единицами, количество которых обычно составляет от 30 до 50 тысяч. Вторая — выяснить, в чем заключаются вычислительные свойства языковой способности. Данная задача имеет несколько аспектов: мы должны понять порождающую процедуру, строящую «в уме» бесконечное множество выражений, и методы, с помощью которых эти внутренние ментальные объекты передаются на интерфейсы с двумя внешними для языка (но внутренними по отношению к организму) системами (системой мышления и сенсомоторной системой, служащей для экстернализации внутренних вычислений и мышления). Всего получается три компонента, как уже обсуждалось в главе 1. Это один из способов переформулировки традиционной концепции, которая восходит по меньшей мере к Аристотелю и гласит, что язык — это «звук, что-то означающий». Все названные задачи содержат проблемы, причем гораздо более серьезные, чем считалось еще недавно.

Обратимся к базовым элементам языка и начнем с порождающей процедуры, которая возникла приблизительно 80 000 лет назад (по меркам эволюционного времени — в мгновение ока). Вероятно, при этом в головном мозге произошла некоторая перемаршрутизация (изменение нейронных связей). Здесь для нас важна «революция эво-дево» в биологии. Она предоставила приличный объем данных, чтобы можно было сделать два вывода. Первый — что генетический фонд даже на уровне регуляторных систем отличается глубокой консервацией (очень устойчив). А второй — что очень малые изменения могут повлечь огромные различия в наблюдаемом результате, хотя варьирование фенотипа ограничено из-за глубокой консервации генетических систем и действия законов природы (тех, которые интересовали Томпсона и Тьюринга). Приведем простой пример: встречаются рыбы-колюшки с колючим брюшным плавником и без него. Около 10 000 лет назад мутация в генетическом «переключателе» возле гена, участвующего в формировании плавника, разграничила эти две формы — с колючками и без них. Первая форма приспособилась к океанам, а вторая — к озерам (Colosimo et al., 2004, 2005; Orr, 2005a).

Гораздо более масштабные результаты получены в работах об эволюции глаз (эту активно исследуемую тему мы обсуждали в главе 1). Оказывается, число типов глаз очень невелико — отчасти из-за ограничений, заданных физикой света, а отчасти потому, что лишь одна категория белков (опсины) может выполнять необходимые функции

(причем события, приводящие к «захвату» опсиновых молекул клетками, имели, по-видимому, стохастическую природу). Гены, кодирующие опсин, имеют древнее происхождение и постоянно задействуются, но лишь ограниченным набором способов (опять же ввиду физических ограничений). То же самое верно и для белков хрусталика. Как отмечалось в главе 1, эволюция глаз — пример сложного взаимодействия законов физики, стохастических процессов и роли естественного отбора в выборе пути внутри узкого «коридора» физических возможностей (Gehring, 2005).

Работа Жакоба и Моно (1961), в ходе которой был открыт оперон у кишечной палочки (*E. coli*) и за которую авторы позже получили Нобелевскую премию, позволила Моно сформулировать его знаменитый афоризм, цитируемый в (Jacob, 1982: 290): «Что верно для кишечной палочки, то верно и для слона». Хотя иногда говорят, что это утверждение предвосхитило современный «эво-дево»-подход, но, скорее всего, Моно имел в виду, что созданная им совместно с Франсуа Жакобом теория обобщенной негативной регуляции должна подойти для описания всех случаев регуляции генов. Это обобщение, по-видимому, было чрезмерно смелым. В действительности для создания отрицательной обратной связи иногда удается обойтись гораздо меньшими средствами, ведь отдельный ген может быть негативно регулируемым или авторегулируемым. Более того, сейчас известно, что существуют дополнительные регуляторные механизмы.

Открытие более сложных методов регуляции генов и развития, используемых эукариотами, как раз и стало важнейшим вкладом в нынешнюю «революцию эво-дево». Тем не менее основная идея Моно о том, что малые различия в очередности и сочетании регуляторных механизмов, активизирующих гены, могут привести к различным результатам, оказалась верной, хотя сам принцип действия продуман не был. Именно Жакоб (1977: 26) должен был сконструировать убедительную модель развития остальных организмов, исходящую из представления, что «благодаря сложным регуляторным контурам» все то, что «отвечает за разницу между бабочкой и львом, цыпленком и мухой... является результатом мутаций, сильнее изменивших регуляторные контуры организма, чем его химическую структуру». Модель Жакоба, в свою очередь, стала основой для появления теории принципов и параметров, о которой рассказывается далее (Chomsky, 1980: 67).

Теория принципов и параметров основана на допущении, что для языков характерны неизменные принципы, привязанные к блоку переключения параметров. Параметры можно сравнить с вопросами, на которые ребенок должен ответить, опираясь на имеющиеся у него данные, чтобы выбрать определенный язык из ограниченного множества языков, возможных в принципе. Например, ребенок должен определить, где язык с начальной позицией вершин (*head initial*), например английский (в нем субстантивные элементы предшествуют дополнениям при них; ср.: *read books* («читать книги»)), а где язык

с конечной позицией вершин (*head final*), например японский (в нем такое же по смыслу словосочетание имеет вид *hon-o yomimasu* (букв.: «книги читать»)). Как и в случае переупорядочения регуляторных механизмов, в рамках этого подхода можно понять, каким образом глубинное единство может создать видимость безграничного разнообразия, которое свойственно языку (и вообще всем живым организмам).

Теория принципов и параметров принесла плоды: были переосмыслены данные широкого типологического ряда языков, поставлены вопросы, которые ранее никогда не поднимались, и в некоторых случаях даны ответы. Не будет преувеличением сказать, что за последние 25 лет о языках стало известно больше, чем за предшествующие тысячелетия. Отвечая на два основополагающих вопроса, с которых мы начали разговор, отметим: этот подход предполагает, что новинкой, возникшей почти внезапно (по меркам эволюционного времени), была порождающая процедура, которая привела к появлению принципов. А разнообразие языков следует из того факта, что принципами не определены ответы на все возможные вопросы о языке, и даже некоторые вопросы оставлены открытыми в виде параметров. Заметим, что единственный пример, который мы привели выше, связан с линейным порядком. Хотя это дискуссионная тема, кажется, что к настоящему времени накопилось достаточно лингвистических данных, свидетельствующих, что порядок подчиняется экстернализации внутренних вычислений через

сенсомоторную систему и не играет никакой роли в основном (core) синтаксисе и семантике. Верность этого вывода подтверждается в том числе биологическими данными, предоставленными как малоизвестными, так и именитыми биологами (к этому вопросу мы вернемся немного позднее).

Простейшее предположение (из которого мы и будем исходить, пока не доказано иное) состоит в том, что порождающая процедура возникла одномоментно как результат небольшой мутации. В таком случае надо ожидать, что эта порождающая процедура очень проста. За последние полвека было изучено немало видов порождающих процедур. Одно их семейство, знакомое лингвистам и прикладным математикам, — это грамматики составляющих (phrase structure grammar). Они были введены в научный обиход в середине 1950-х годов и с тех пор широко используются. В свое время этот подход пользовался популярностью. Он естественным образом вписывался в рамки одной (из нескольких эквивалентных) формулировки математической теории рекурсивных процедур (речь идет о канонических системах Эмиля Поста) и охватывал некоторые базовые свойства языка, например иерархическую структуру и вложение групп (embedding). Тем не менее скоро стало ясно, что грамматики составляющих не подходят для описания языка, к тому же они весьма сложны и содержат множество произвольных допущений (в общем, не на такие системы мы рассчитывали, и едва ли они могли возникнуть одномоментно).

За годы работы исследователи нашли способы снизить сложность этих систем и наконец вовсе отказаться от них в пользу простейшего из возможных способов рекурсивного порождения — операции, которая принимает на вход два уже построенных объекта (X и Y) и формирует новый объект, включающий их в неизменном виде (множество с элементами X и Y). Эту оптимальную операцию мы называем соединением (Merge). Имея доступ к концептуальным атомам лексикона, операция соединения, повторяемая неограниченное количество раз, порождает бесконечное множество дискретных иерархически структурированных выражений. Если данные выражения могут последовательно интерпретироваться на интерфейсе с концептуальной системой, это представляет внутренний «язык мысли».

Сильный минималистский тезис (Strong Minimalist Thesis, СМТ) гласит, что порождающий процесс оптимален, то есть принципы языка определяются эффективностью вычислений и язык пользуется простейшей из возможных рекурсивных операций, которая удовлетворяет условиям интерфейсов и согласуется с принципами эффективности вычислений. Язык приобретает специфическую форму под действием законов природы (в данном случае принципов эффективности вычислений), когда доступен базовый режим построения, и удовлетворяет условиям интерфейсов. Основной тезис сформулирован в названии подборки научно-технических статей «Интерфейсы + рекурсия = язык?» (Sauerland & Gärtner, 2007).

Самым оптимальным решением будет свести рекурсию к операции соединения. Отметим, что вопросительный знак в заголовке к месту, ведь возникающие вопросы непосредственно касаются текущего исследования. Далее мы попытаемся показать, что между двумя интерфейсами существует значительное неравенство. Семантико-прагматический интерфейс, связывающий язык с системами мышления и действия, первичен. Насколько богаты упомянутые внешние условия — серьезный исследовательский вопрос, причем весьма трудный, поскольку о системах мышления и действия, независимых от языка, известно довольно мало. Очень сильный тезис, предложенный Вольфрамом Хинценом (Hinzen, 2006), гласит, что центральные компоненты мышления, такие как пропозиции, порождаются устроенной оптимальным образом порождающей процедурой. Если бы эти соображения удалось эмпирически проверить, то влияние семантико-прагматического интерфейса на строение языка стало бы меньше.

СМТ нельзя назвать общепризнанным подходом, но сейчас он выглядит более правдоподобным, чем еще несколько лет назад. Если СМТ верен, эволюцию языка можно будет свести к возникновению операции соединения, эволюции концептуальных атомов лексикона, связи с концептуальными системами и режима экстернализации. За все прочие принципы языка, несводимые к операции соединения и оптимальности вычислений, должен отвечать какой-то другой эволюционный процесс. И едва ли о нем

удастся узнать много, по крайней мере с помощью нынешних методов, как указал Левонтин (Lewontin, 1998).

Заметим, что в этой картине нет места предшественникам языка, скажем, языкоподобной системе, которая содержала бы только короткие предложения. Нет повода предполагать существование такой системы, ведь, чтобы перейти от предложений из семи слов к дискретной бесконечности человеческого языка, должна возникнуть та же самая рекурсивная процедура, которая требуется для перехода от нуля к бесконечности. Кроме того, нет прямых подтверждений существования таких протоязыков. Подобная картина наблюдается и при усвоении языка (даже если кажется, что это не так), но этот вопрос мы оставим за рамками данной книги.

Важно отметить, что операция соединения сразу и без дополнительных оговорок приводит к известному свойству дислокации, которое присуще языку: словосочетания произносятся в какой-то одной позиции, а интерпретируются в другой. Так, в предложении *Guess what John is eating* («Угадай, что Джон ест») мы понимаем слово *what* («что») как дополнение при глаголе *eat* («есть») (ср.: *John is eating an apple* («Джон ест яблоко»)), хотя оно произносится в другом месте*. Свойство дислокации всегда казалось парадоксом, своего рода изъясном языка. Оно не является необ-

* В английском языке сравнительно строгий порядок слов: например, у прямого дополнения есть определенная позиция в предложении и вынос вопросительного слова в начало воспринимается как передвижение из этой позиции.

ходимым для отражения семантических фактов, но все же оно вездесуще. Грамматики составляющих не способны справиться с ним, поэтому приходится усложнять их, добавляя вспомогательные механизмы. Но из СМТ свойство дислокации вытекает автоматически.

Чтобы увидеть, как это происходит, представим, что операция соединения построила ментальное выражение, соответствующее фразе *John is eating what* (букв.: «Джон ест что»). Когда соединение принимает на вход синтаксические объекты X и Y и строит из них выражение большего размера, есть только две логические возможности: либо X и Y не содержат ничего общего, либо один из этих объектов — часть другого. Первый случай мы будем называть наружным соединением (External Merge), а второй — внутренним (Internal Merge). Если Y — выражение, соответствующее *what*, а X — выражение, соответствующее *John is eating what*, то Y является частью X (подмножеством X или подмножеством подмножества X и т. д.). В этом случае внутреннее соединение добавит к выражению какую-то его часть — и результатом будет структура большего размера, соответствующая *what John is eating what*. Пускай на следующем шаге вывода Y — это что-нибудь новое, например *guess*. Тогда $X = \text{what is John eating what}$ и $Y = \text{guess}$, эти объекты не содержат ничего общего. Следовательно, применяется наружное соединение, которое дает *guess what John is eating what*.

Так мы приближаемся к дислокации. Во фразе *what John is eating what* слово *what* встречается в двух позициях,

и оба эти вхождения нужны для семантической интерпретации. Исходная позиция показывает, что *what* понимается как прямое дополнение при *eat*, а новая позиция (на левом краю) интерпретируется как квантор по переменной, так что все выражение означает приблизительно «для какой вещи *x* верно, что Джон ест *x*».

Подобные наблюдения распространяются на широкий диапазон конструкций. Результаты именно такие, какие необходимы для семантической интерпретации, это не значит, что в английских предложениях нельзя опускать некоторые слова. Мы говорим не *guess what John is eating what*, а только *guess what John is eating* (слово *what* в исходной позиции пропущено). Это и есть всеобщее свойство дислокации (с небольшими нюансами, которых мы можем здесь не касаться). Данное свойство следует из простейших принципов эффективности вычислений. В сущности, не раз было отмечено, что серия определенных движений вычислительно затратна. На это указывает уже одно то, сколь обширная доля моторной коры отвечает за двигательный контроль рук и за ротолицевые артикуляционные жесты.

Чтобы экстернализовать внутренне порожденное выражение *what John is eating what*, слово *what* нужно было бы произнести дважды, а это усложняет вычисления (если рассматривать выражения привычной сложности и считать, что в основе дислокации лежит внутреннее соединение). Когда же все вхождения *what*, кроме одного, пропущены, вычислений становится намного меньше.

То единственное вхождение, которое произносится, сильнее всего выделено, последнее по порядку создано внутренним соединением (иначе неоткуда было бы знать, что эта операция сработала, и не удалось бы получить правильную интерпретацию). Тогда выходит, что в процессе экстернализации языковая способность опирается на общий принцип эффективности вычислений.

Пропуск всех вхождений дислоцированного элемента, кроме одного, является вычислительно эффективным, но увеличивает нагрузку на интерпретацию, а следовательно — на коммуникацию. Слушающему нужно определить позицию пропуска, в которой должен интерпретироваться дислоцированный элемент. В общем случае это весьма нетривиальная задача, как известно из работ по автоматическому синтаксическому анализу. Тогда налицо конфликт между эффективностью вычислений и эффективностью интерпретации и коммуникации. Языки всегда решают этот конфликт в пользу эффективности вычислений. Отсюда вывод, что язык эволюционировал как инструмент внутреннего мышления, а экстернализация — процесс вторичный. Сделать схожие умозаключения позволяют и многие другие факты строения языка, например так называемые островные свойства.

Есть и иные причины сделать вывод, что экстернализация — процесс вторичный. Например, то, что экстернализация, по-видимому, не зависит от модальности, как стало известно из работ по жестовым языкам. Структурные свойства жестового языка и устной речи удивительно

схожи. Вдобавок они усваиваются в одинаковом порядке, похожа и их мозговая локализация. Это подчеркивает вывод о том, что язык приспособлен быть инструментом мышления, а режим его экстернализации вторичен.

Заметим, что ограничения на экстернализацию, присущие слуховой модальности, сохраняются и в случае зрительной модальности в жестовых языках. Хотя нет никаких физических ограничений, которые бы запрещали человеку «сказать» одной рукой, что Джон любит мороженое, а другой рукой — что Мэри любит пиво, все же одна рука всегда доминантная: она «произносит» предложения (посредством жестов), разворачивая их слева направо во времени и приводя к линейному виду, как и при экстернализации с помощью голосового тракта. Другая (недоминантная) рука добавляет к этому знаки для расстановки акцентов, морфологии и т. п.

По сути, можно выразиться более сильно: все недавние биологические и эволюционные исследования подводят к выводу, что процесс экстернализации вторичен. Об этом свидетельствует и получившее широкую известность открытие генетических элементов, предположительно связанных с языком, в частности регуляторного гена (фактора транскрипции) FOXP2. Мутация гена FOXP2 влечет за собой наследуемое нарушение языковых способностей, так называемую вербальную диспраксию. Когда это было установлено, исследователи тщательно проанализировали с эволюционной точки зрения ген FOXP2. Теперь известно, что между белком, который кодируется челове-

ческим FOXP2, и таким же белком у других приматов и прочих млекопитающих есть два небольших аминокислотных различия. Высказывалась мысль, что соответствующие изменения в FOXP2 были целями положительного естественного отбора, который происходил не так давно, может быть, одновременно с возникновением языка (Fisher et al., 1998; Enard et al., 2002). У современных людей, неандертальцев и денисовцев FOXP2 оказался одинаковым, во всяком случае те два его участка, которые, как сначала думали, подверглись положительному отбору. Это может дать какие-нибудь сведения о времени возникновения языка или по крайней мере его генетических предпосылок (Krause et al., 2007). Однако этот вывод по-прежнему остается предметом споров, как можно увидеть в главах 1 и 4.

Можно также задаться вопросом: верно ли, что ген FOXP2 играет основную роль в языке, или же (это звучит вполне правдоподобно) он является частью вторичного процесса экстернализации? Открытия, сделанные за последние несколько лет в ходе исследований на мышах и птицах, способствовали формированию единого мнения, что этот транскрипционный фактор — едва ли часть «чертежа» внутреннего синтаксиса, языковой способности в узком смысле и уж явно не какой-нибудь гипотетический «ген языка» (точно так же, как и за цвет глаз или аутизм не отвечает никакой отдельный ген), а скорее часть регуляторного механизма, связанного с экстернализацией (Vargha-Khadem et al., 2005; Groszer et al., 2008).

FOXP2 помогает в развитии контроля над серийной мелкой моторикой, ротолицевой или какой-нибудь иной (речь идет о способности расставлять во времени «звуки» или «жесты» один за другим).

В связи с этим стоит заметить, что у членов семьи КЕ, в которой был впервые обнаружен обсуждаемый генетический дефект, проявляется общая моторная диспраксия, не локализованная только до ротолицевых движений. Недавние исследования, в ходе которых в геном мыши был встроен модифицированный ген FOXP2, воспроизводящий дефект, обнаруженный у членов семьи КЕ, подтверждают эту точку зрения. «Мы обнаружили, что мыши, гетерозиготные по FOXP2-R552H, проявляют слабую, но весьма значимую недостаточность в обучении быстрым моторным навыкам... Эти данные согласуются с предложениями считать, что в человеческие речевые способности вовлечены эволюционно древние нервные контуры, задействованные в моторном обучении» (Groszer et al., 2008: 359).

В главе 1 рассказывалось о результатах недавних экспериментов над трансгенными мышами, свидетельствующих о том, что нейронные изменения, связанные с геном FOXP2, могут сказаться на передаче знаний из декларативной памяти в процедурную (Schreiweis et al., 2014). Этот вывод также вписывается в концепцию моторного обучения, но все же это еще не человеческий язык. Если данная точка зрения верна, то ген FOXP2 больше похож на чертеж, по которому строится адекватно работающая

система ввода-вывода компьютера (такая как принтер), а не его центральный процессор. С этой точки зрения у членов семьи КЕ, пострадавших от мутации, вышло из строя что-то в системе экстернализации (в «принтере»), а не сама по себе центральная языковая способность. Однако работы по эволюционному анализу FOXP2, показывающие, что этот транскрипционный фактор подвергся положительному отбору около 100–200 тысяч лет назад, могут, в сущности, очень немного сказать об эволюции основных компонентов языковой способности — синтаксиса и его отображения на семантический (концептуально-интенциональный) интерфейс. Трудно определить, где причина, а где следствие: связь между FOXP2 и высокоразвитой серийной моторной координацией можно рассматривать либо как оппортунистическую предпосылку или субстрат экстернализации, какова бы ни была ее модальность (как это делается в эволюционных сценариях), либо как результат давления отбора, побуждающего к поиску эффективных решений проблемы экстернализации уже после того, как появилась операция соединения. В любом случае FOXP2 оказывается частью системы, внешней по отношению к основному синтаксису/семантике.

Майкл Коэн (Michael Coen, 2006; личное общение) располагает дополнительными данными, касающимися серийной организации движений и ее связи со звукообразованием. Он считает, что дискретизованный серийный контроль движений может быть просто субстратом,

общим для всех млекопитающих, а возможно, даже для всех позвоночных. Если это так, то весь сюжет, связанный с FOXP2 и вообще с двигательной экстернализацией, весьма далек от эволюции основного синтаксиса/семантики. Подтверждением служит тот факт, что все обследованные млекопитающие (люди, собаки, кошки, тюлени, киты, павианы, обезьяны тамарины, мыши) и другие позвоночные (вороны, вьюрки, лягушки и пр.) обладают качеством, которое ранее считалось свойственным только человеческой системе экстернализации: вокальный репертуар каждого из этих разнообразных видов выбирается из конечного множества различных «фонем» (у птиц это будут так называемые «песнемы» (songemes), у собак — «брехемы» (barkemes) и т. д.). Суть гипотезы Козна состоит в том, что у каждого вида есть какой-то конечный набор артикуляционных продуктов (например, фонем), которые генетически ограничены физиологическими условиями, такими как необходимость свести к минимуму энергозатраты при звукообразовании, физические возможности и т. п. Это напоминает предложенную Кеннетом Стивенсом картину дискретной природы речеобразования (Stevens, 1972, 1989).

С этой точки зрения каждый определенный вид использует подмножество видоспецифических примитивных звуков, чтобы производить вокализации, присущие этому виду. (Не ожидается, чтобы каждое животное использовало все доступные ему звуки, как и каждый человек не пользуется всеми возможными фонемами.) Если это так, то наш

гипотетический марсианин мог бы заключить, что даже на уровне периферийной экстернализации есть один язык людей, один язык собак, один язык лягушек и т. п. Как отмечено в главе 1, сейчас утверждение Коэна, скорее всего, нашло экспериментальное подтверждение по крайней мере у одного вида птиц (Comins and Gentner, 2015).

Итак, массив данных, накопленных до сих пор, свидетельствует, что FOXP2 не дает нам никакой информации о ключевом ядре человеческого языка. Действие гена не похоже, например, на серповидноклеточную анемию, при которой генетический дефект ведет к отклонению признака от нормы (к синтезу аномального белка гемоглобина и, как следствие, к искажению формы красных кровяных телец). Если все сказанное соответствует действительности, то объяснение, как именно сформировался основной фенотип языка, может оказаться куда более сложным, чем даже предположил Левонтин (Lewontin, 1998)⁴.

Фактически во многих отношениях изучение гена FOXP2 и диспраксии напоминает широко распространенное восприятие языка как средства коммуникации⁵. Оба этих подхода сосредоточены на тех свойствах языка, которые связаны исключительно с процессом экстернализации и которые, по нашему убеждению, не входят в ключевое ядро человеческого языка. И оба этих подхода не дают представления о внутренних вычислениях, происходящих в уме/мозге. Если четко разграничить внутренний синтаксис и экстернализацию, можно

обнаружить множество новых направлений для исследования и поддающихся проверке гипотез, опирающихся непосредственно на биологические данные, как в примере со звуковыми продуктами животных.

Вернемся к разговору о ключевых принципах языка: операция соединения, а также дислокация могли возникнуть благодаря довольно незатейливому событию, например небольшому изменению нейронных связей (перемаршрутизации) в головном мозге. Причем, вероятно, изначальные «маршруты» в коре головного мозга были лишь слегка дополнены, как рассказывается далее в главе 4. Подобные предположения близки к взглядам Рамю и Фишера (Ramus and Fisher, 2009: 865): «Если даже в когнитивном смысле он (язык) — новинка, то в биологических терминах он, вероятно, далеко не столь нов. Так, например, изменение всего в одном гене, кодирующем сигнальную молекулу (или рецептор, канал и т. п.), может привести к возникновению новых связей между двумя существующими зонами мозга. Сравнительно легко могла бы развиться даже совершенно новая зона мозга, если бы модифицированный фактор транскрипции на этапе внутриутробного развития определил новые границы на коре больших полушарий, оттеснив уже существующие зоны, и создал на молекулярном уровне условия для образования новой формы коры в смысле Бродмана: те же шесть основных слоев, но иначе соотносящихся по важности с иными паттернами внутренней и внешней связности и иным распределением нейронов

каждого типа по слоям. Это была бы, по сути дела, новая количественная вариация в рамках весьма общего конструктивного плана, требующая мало нового генетического материала. Но тем не менее эта вновь возникшая зона могла бы проявить новые свойства ввода-вывода, которые наряду с соответствующими входными и выходными связями могли бы позволить ей выполнять совершенно новую функцию обработки информации, которая играет огромную роль для языка».

Новая черта сначала проявилась бы лишь в небольшом количестве копий, как обсуждалось в главе 1. Индивиды, обладающие этой чертой, получили бы много выгод: способность к сложному мышлению, планированию, интерпретации и т. д. Эта способность, вероятно, была бы частично передана потомству и благодаря полученным при отборе преимуществ могла бы стать доминантной у небольшой группы индивидов. Однако нюанс тут заключается в том, что для всех новых мутаций или черт всегда существует вопрос: как изначально небольшое количество копий сумело избежать вероятного, несмотря на преимущество при отборе, угасания?

По мере распространения этого выгодного признака в популяции в какой-то момент стала бы выгодной и экстернализация, так что новая способность была бы подсоединена (вторично) к сенсомоторной системе, служащей для экстернализации и взаимодействия, в частности для коммуникации. Трудно представить себе такую теорию эволюции человека, которая бы не делала в том или ином

виде тех допущений, которые сделали мы. Для любых других предположений необходимы дополнительные данные и логические обоснования, которые не так просто получить.

Большинство альтернативных версий, по сути, выдвигают дополнительные предположения, основанные на точке зрения, что «язык — это средство коммуникации», которая, как мы уже наблюдали, непосредственно связана с экстернализацией. В обзоре (Számádó & Szathmáry, 2006) представлен список основных (по мнению его авторов) альтернативных теорий, объясняющих появление человеческого языка: 1) язык как болтовня; 2) язык как социальный груминг (взаимная чистка); 3) язык как побочный продукт совместной охоты; 4) язык как следствие «материнского языка»; 5) половой отбор; 6) язык как необходимое условие обмена информацией о статусе; 7) язык как песня; 8) язык как необходимое условие изготовления орудий или результат изготовления орудий; 9) язык как надстройка над жестовыми системами; 10) язык как коварное средство для обмана; 11) язык как внутренний ментальный инструмент. Заметим, что последняя теория (язык как внутренний ментальный инструмент) не предполагает (явно или неявно), что внешняя коммуникация — первичная функция языка. Но это создает своего рода адаптивный парадокс, поскольку в таком случае сигналы у животных подходят под приведенное описание языка. Вот та самая проблема, на которую указал Уоллес.

Самадо и Сатмари отмечают: «В большинстве теорий не рассматривается, какого рода селективные силы могли бы побудить к использованию в данном контексте конвенциональной коммуникации взамен “традиционных” сигналов животных... Таким образом, не существует теории, способной дать убедительный пример ситуации, в которой бы требовалось сложное средство символической коммуникации и нельзя было бы обойтись существующими более простыми системами коммуникации» (Számádó & Szathmáry, 2006: 559). Далее авторы рассуждают, что теория языка как внутреннего ментального инструмента не страдает от этого недочета. Впрочем, как и большинство исследователей, которые работают в этой области, Самадо и Сатмари не делают напрашивающийся сам собой вывод, а продолжают изучать экстернализацию и коммуникацию.

Предложения считать первичным именно внутренний язык (схожие с наблюдением Гарри Джерисона, процитированным выше, в соответствии с которым язык — это «внутренний инструмент») высказывались также ведущими эволюционными биологами. На международной конференции по биолингвистике в 1974 году нобелевский лауреат Сальвадор Лурия выступил как наиболее активный приверженец взглядов, согласно которым нужды коммуникации не могли оказать «селективного давления, сколько-нибудь достаточного для возникновения такой системы, как язык», глубоко связанный с «развитием абстрактного или творческого мышления» (Luria, 1974).

Эту мысль подхватил и Франсуа Жакоб (Jacob, 1982: 58), предположив, что «роль языка как системы коммуникации между индивидами может быть исторически вторичной... Тем качеством языка, которое делает его уникальным, кажется не столько его роль в передаче призывов к действию» или любое другое свойство, роднящее его с коммуникацией животных, сколько «его роль в символизации, в пробуждении когнитивных образов», в оформлении нашего понятия о реальности, в обеспечении нашей способности мыслить и планировать благодаря тому, что язык допускает «бесчисленные комбинации символов» и тем самым позволяет «создавать возможные миры в уме». Такого рода идеи восходят к научной революции XVII века, которая во многих отношениях предвосхитила события 1950-х годов.

Экстернализация — непростая задача. Требуется связать две совершенно отдельные системы: сенсомоторную, которая, вероятно, просуществовала сотни тысяч лет почти в неизменном виде, и вновь возникшую вычислительную систему мышления, которая совершенна в той же мере, в какой верен СМТ. Тогда может оказаться, что морфология и фонология — лингвистические процессы превращения внутренних синтаксических объектов в какие-то единицы, доступные для сенсомоторной системы, — многообразны, имеют сложную структуру и зависят от случайных исторических событий. В таком случае параметризация и разнообразие в основном (а может быть, и целиком) ограничиваются экстернализацией. Это

вполне соответствует тому, что мы обнаружили: вычислительная система эффективно порождает выражения, интерпретируемые на семантико-прагматическом интерфейсе, и разнообразие (как результат многочисленных сложных режимов экстернализации, которые подвержены историческим изменениям)⁶.

Если эта картина более или менее верна, то у нас, возможно, есть ответ на второй из двух базовых вопросов, сформулированных в начале этой главы: почему языков так много? Возможно, причина в том, что проблема экстернализации может быть решена с помощью разных способов до или после рассеивания первоначальной популяции. Нет поводов считать, что для этого нужны эволюционные изменения, то есть изменения в геноме. Возможно, в решении этой проблемы принимают участие существующие когнитивные процессы (разными способами и в разные эпохи). Иногда неудачно смешивают собственно эволюционные (геномные) изменения с историческими изменениями (это два совершенно разных явления). Как уже говорилось, у нас достаточно данных, подтверждающих, что никакой настоящей эволюции языковой способности не происходило со времен миграции наших далеких предков из Африки около 60 000 лет назад, хотя, несомненно, за этот срок произошло немало изменений, вплоть до того, что были изобретены новые режимы экстернализации (как в жестовых языках). Путаницу в этом вопросе можно устранить, если вместо метафорических понятий «эволюция языка»

и «изменения в языке» использовать их более строгие эквиваленты: эволюция организмов, использующих язык, и изменения в способах использования языка этими организмами. В более точных терминах возникновение языковой способности — исторический факт, а изменения, которые постоянно продолжаются, — нет.

Все это простейшие допущения, и нет причин отвергать их. Если в целом они верны, то может оказаться, что экстернализация вообще не эволюционировала. Для решения этой проблемы можно использовать существующие когнитивные способности, присущие другим животным. Тогда эволюция (в биологическом смысле этого слова) ограничивается теми изменениями, которые породили операцию соединения и базовое свойство, а также все прочее, что не поддается объяснению в терминах СМТ и всевозможных языковых ограничений. Значит, любой подход к «эволюции языка», сосредоточивающий внимание на коммуникации, сенсомоторной системе, статистических свойствах устной речи и т. п., может оказаться весьма далеким от истины. Это суждение распространяется на довольно широкий круг гипотез, как известно читателям, знакомым с историей вопроса.

Вернемся к нашим двум первоначальным вопросам. У нас есть как минимум несколько предположений — по нашему мнению, весьма разумных — по поводу того, как получилось, что вообще появился хотя бы один язык, и почему существующие языки настолько отличаются

друг от друга. Различия между языками — это отчасти иллюзия, как и кажущееся безграничным многообразие организмов, поскольку все они основаны на элементах, почти не подверженных изменениям, и ограничены рамками законов природы (в случае с языком это вычислительная эффективность).

На строение языка могут оказывать влияние и другие факторы, прежде всего пока еще не изученные свойства мозга (и даже на темы, которых мы здесь коснулись, можно сказать гораздо больше). Но вместо этого лучше вкратце поговорим о лексических единицах, концептуальных атомах мышления и его многообразной итоговой экстернализации.

Концептуальные структуры характерны и для других приматов. Могут встречаться схема «деятель — действие — цель», категоризация, разделение на один — множество и др. Эти структуры, по всей видимости, закрепились за языком, хотя концептуальные ресурсы человека, находящие свое отражение в языке, гораздо разнообразнее и обширнее. В частности, даже «атомы» вычислений, лексические единицы/понятия, присутствуют только у людей.

В основном даже самые простые слова человеческого языка и понятия человеческого мышления лишены той связи с находящимися вне ментальной сферы сущностями, которая свойственна коммуникации животных. Последняя, как считают, основана на однозначном соответствии между процессами в мозге (или сознании)

и «тем аспектом окружающей среды, к которому эти процессы приспособливают поведение животного», как выразился когнитивный нейробиолог Рэнди Галлистел (Gallistel, 1990: 1–2) в предисловии к большому сборнику статей о когнитивных способностях животных. По словам Джейн Гудолл, которая наблюдала за шимпанзе в их естественной среде обитания, «произвести звук *в отсутствие* подходящего эмоционального состояния — для шимпанзе почти непосильная задача» (Гудолл, 1986/1992: 140).

Символы человеческого языка и мышления иные. Их использование не привязано автоматически к эмоциональным состояниям, и они не выбирают из внешнего мира объекты или события, находящиеся вне ментальной сферы. В человеческом языке и мышлении нет такого понятия, как отношение референции (в том смысле, какой ему придавали Фреге (Frege), Пирс (Peirce), Тарский (Tarski), Куайн (Quine) и современная философия языка и сознания). То, что в нашем понимании является рекой, человеком, деревом, водой и т. д., неуклонно оказывается порождением того, что мыслители XVII века называли человеческими познавательными силами, дающими нам богатые средства для восприятия внешнего мира в необычном свете. По словам видного философа-неоплатоника Ральфа Кедворта (Cudworth, 1731: 267), соображения которого повлияли на Канта, разум способен «познавать и понимать все внешние индивидуальные вещи» только при помощи «внутренних идей», производимых его

«врожденной познавательной силой»*. Объекты мышления, созданные познавательными силами, нельзя свести к «особой природе, принадлежащей» обсуждаемой вещи, как Дэвид Юм (David Hume) подытожил результаты исследований, проводившихся в течение столетия. В этом отношении внутренние концептуальные символы похожи на фонетические единицы ментальных представлений, такие как слог «ба»: каждый отдельный акт экстернализации этого ментального объекта порождает нементальная сущность, но тщетно было бы искать такой нементальный конструкт, который соответствует этому слогу. Суть коммуникации не в том, чтобы порождать какие-то не связанные с ментальной сферой сущности, которые бы слушающий выбирал из внешнего мира, подобно физику. Коммуникация — это своего рода интрига, в ходе которой говорящий производит какие-то внешние события, а слушающий пытается как можно более удачно соотнести их со своими собственными внутренними ресурсами. Слова и понятия, даже самые простые, кажутся в этом отношении схожими. Коммуникация опирается на общие для собеседников познавательные силы и оказывается успешной в той мере, в какой общие для собеседников ментальные конструкты, опыт, интересы, пресуппозиции позволяют

* Русский перевод «Трактата о вечной и неизменной нравственности» Кедворта не доведен до цитируемого места. Цитата дается близко к русскому переводу «Картезианской лингвистики» (Хомский, 2005: 137).

прийти к более или менее единой точке зрения. Названные свойства лексических единиц присущи, кажется, только человеческому языку и мышлению, и изучение эволюции последних должно их как-то объяснять. Но как — никто не знает. Сам факт наличия тут какой-либо проблемы признается далеко не всегда, поскольку этому препятствует мощное влияние референциализма — доктрины, которая исходит из существования четкой связи «слово — объект», где объект не связан с ментальной сферой.

Человеческие познавательные силы дают нам опыт, несхожий с опытом других животных. Люди как мыслящие существа (благодаря возникновению человеческих способностей) пытаются осознать свой опыт. Эти попытки называются мифом, или религией, или магией, или философией, или — в английском языке — наукой (science). Для науки понятие референции (в техническом смысле) — это нормативный идеал: мы надеемся, что искусственные понятия, такие как «фотон» или «глагольная группа», указывают на какие-то вещи, реально существующие в мире. И конечно, понятие референции отлично подходит для того контекста, в котором оно появилось в современной логике, — для формальных систем, где отношение референции жестко задано, как, например, между числительными и числами. Но человеческий язык и мышление, по-видимому, функционируют иначе, и неготовность признать этот факт привела к путанице.

Здесь мы коснулись масштабных и крайне интересных тем, но их нам придется оставить в стороне. Подводя

итоги, кратко повторим то, что на данный момент можно назвать лучшей гипотезой о единстве и разнообразии в языке и мышлении. Каким-то совершенно неясным способом у наших предков сформировались человеческие понятия. В какой-то момент прошлого — до 80 000 лет назад, если об этом можно судить по сопутствующим символическим индикаторам*, — особи в небольшой группе гоминидов на территории Восточной Африки подверглись незначительному биологическому изменению, которое можно назвать операцией соединения. Эта операция принимает на вход человеческие понятия как атомы вычислений и порождает структурированные выражения, которые в результате последовательной интерпретации концептуальной системой предоставляют богатый язык мысли. Эти процессы могут быть в вычислительном отношении совершенными или близкими к совершенству как результат действия законов физики, не зависящих от человека. Изменение дало очевидные преимущества и проявилось у небольшой группы индивидов. На какой-то более поздней стадии внутренний язык мысли подсоединился к сенсомоторной системе (эта сложная задача в разные эпохи может решаться множеством различных способов). В ходе данных событий человеческие способности приняли свою нынешнюю форму, что способствовало развитию нашей «нравственной и умственной

* Речь идет о тех археологических остатках, которые позволяют судить, что в какой-то момент у кроманьонцев уже был язык.

природы», как выразился Уоллес. Результаты оказались весьма разнообразными, но все они сводятся к тому, что люди в фундаментальных отношениях одинаковы. Так, гипотетический инопланетный ученый (этот пример мы использовали выше) мог бы прийти к выводу, что существует всего один язык с небольшими диалектными различиями, которые в основном (или целиком) сводятся к способу экстернализации.

В заключение напомним, что даже если эта общая теория окажется более или менее верной и удастся заполнить огромные пробелы в ней, то все равно без ответов останутся вопросы, которые были впервые поставлены сотни лет назад. Среди них — вопрос о том, как именно ментальные свойства соотносятся с «органической структурой мозга» (формулировка XVIII века). Еще больше вопросов связано с проблемой креативного и адекватного употребления языка в повседневной жизни. Этот центральный вопрос картезианской науки пока еще только маячит на горизонте наших исследований.

ГЛАВА 3. АРХИТЕКТУРА ЯЗЫКА И ЕГО РОЛЬ В ЭВОЛЮЦИИ

Очевидно, что рациональное исследование эволюции какой-либо системы может проводиться лишь тогда, когда ясна ее природа. Не менее очевидно, что без глубокого понимания фундаментальной природы какой-либо системы ее внешние проявления будут казаться хаотическими, изменчивыми и лишенными общих свойств. Тогда, соответственно, невозможно всерьез изучать эволюцию этой системы. И конечно, такое исследование должно четко придерживаться фактов, известных из эволюционной истории. Эти принципы применяются и при изучении человеческой языковой способности, и в отношении других биологических систем. Изложенные в литературе теории можно оценивать, исходя из того, насколько они удовлетворяют данным условиям.

Проблема эволюции языка появилась на повестке дня в середине XX века. Тогда были сделаны первые попытки построить теорию языка как биологического объекта, внутреннего по отношению к индивиду, с учетом свойства, которое мы называем базовым (каждый язык порождает дискретно-бесконечный набор иерархически структурированных выражений, которые определенным образом интерпретируются на интерфейсах с двумя другими внутренними системами — сенсомоторной системой, служащей для экстернализации, и концептуальной системой, служащей для умозаключения (*inference*), интерпретации, планирования, организации действий и других элементов того, что в общих чертах называется мышлением). Подход к изучению языка с учетом этих установок известен под названием биолингвистической программы.

Язык, который рассматривается с этой точки зрения, в современной терминологии называется внутренним (*internal*) языком, I-языком. В силу базового свойства каждый I-язык — это система «слышимых знаков мысли», как выразился великий индоевропеист Уильям Дуайт Уитни (*Whitney, 1908: 3*), хотя теперь известно, что экстернализация может и не ограничиваться только артикуляционно-слуховой модальностью.

По определению теорией какого-либо I-языка является его порождающая грамматика, а общая теория I-языков — это универсальная грамматика (*UG*), переносящая традиционные понятия в новый контекст. *UG* — это теория наследственного компонента языковой

способности, то есть способности усваивать различные I-языки и пользоваться ими. UG задает класс порождающих процедур, которые удовлетворяют базовому свойству, и класс атомарных элементов, поступающих на вход вычислительных операций.

Атомарные элементы вызывают много вопросов. Минимальные значимые элементы человеческих языков (словоподобные, но не тождественные словам) радикальным образом отличаются от всего, что можно встретить в системах коммуникации животных. Их происхождение совершенно неясно, и для науки об эволюции человеческих когнитивных способностей, в частности об эволюции языка, это представляет серьезную проблему. Соображения на данную тему высказывались еще досократиками и впоследствии были развиты крупными философами раннего Нового времени и Просвещения, а также исследователями позднейших времен, и все равно здесь остается множество загадок. В сущности, проблема при всей ее серьезности до сих пор недостаточно хорошо определена и понята. Пристальный анализ показывает, что широко распространенные учения о природе этих элементов не выдерживают критики (особенно известная доктрина теории прямой референции, в соответствии с которой слова указывают на внементальные объекты). Об этих очень важных вопросах следовало бы сказать гораздо больше, но мы оставим их в стороне и лишь заметим еще раз, что проблемы, стоящие перед наукой об эволюции когнитивных способностей человека, куда серьезнее, чем обычно думают.

Второй компонент UG — теория порождающих процедур — только с середины XX века впервые стал предметом исследований. К тому времени работы Геделя (Gödel), Тьюринга (Turing), Черча (Church) и других ученых заложили прочный фундамент для общей теории вычислений, что позволило начать работу в рамках генеративной грамматики, уже совершенно ясно представляя себе, какой аппарат следует задействовать. Порождающие процедуры, которые входят в состав I-языков, должны удовлетворять определенным эмпирическим условиям: во-первых, по крайней мере некоторые из них выучиваемы (learnable)*, во-вторых, способность усваивать I-языки и пользоваться ими очевидным образом эволюционировала.

Скажем сначала о выучиваемости. Усвоение I-языка, очевидно, основано на: 1) генетических ограничениях, заложенных в UG; 2) каких-то принципах, независимых от языка. Хорошо известно, что языковая способность обособлена от других когнитивных способностей. Еще полвека назад это установил Леннеберг (Lenneberg, 1967), и с тех пор было получено много новых данных (см. обзор в: Curtiss, 2012). Этот факт наряду с пристальным анализом свойств языков предполагает, что второе из

* Бейлин (1997) переводит learnability как «усвояемость». Этот перевод не кажется удачным, потому что тот же термин learnability используется в литературе по отношению к формальным языкам (множествам строк над фиксированным алфавитом). Вариант «выучиваемость» предложил А. Бердичевский (<http://elementy.ru/news/431314>).

названных оснований, скорее всего, представляет собой принципы, независимые от организма, а не другие когнитивные процессы. Вероятно, что для вычислительной системы, такой как I-язык, это в том числе принципы вычислительной эффективности, обусловленные законами природы. Исследование выучиваемости также должно учитывать следующий факт: то, что быстро усваивается, выходит далеко за рамки доступной ребенку реальности (это вполне обычная ситуация во время роста биологической системы).

Говоря об эволюции, следует прежде всего прояснить, что подверглись эволюции не сами языки, а языковая способность, то есть UG. Языки меняются, но не эволюционируют. Не выглядит удачной идея делить эволюцию языков на биологическую и небιологическую (термин Джеймса Херфорда), ведь последняя — вообще не эволюция. Сделав эти оговорки, будем пользоваться общепринятым термином «эволюция языка», хотя иногда он может вводить в заблуждение.

Один факт об эволюции языка, который выглядит бесспорным, таков: минувшие 60 000 лет или дольше (с тех пор как последние наши предки мигрировали из Африки) эволюции не происходило. Не известно никаких межгрупповых различий в проявлении языковой способности и когнитивных способностей вообще, как указал тот же Леннеберг (Lenneberg, 1967) и как мы отмечали в главах 1 и 2. Другой факт, на который можно сослаться (правда, с меньшей уверенностью), состоит в том, что еще

незадолго до указанного времени язык, возможно, вообще не существовал. Имеющиеся на сегодняшний день сведения позволяют резонно предположить, что язык (или более точно — UG) возник в какой-то момент на протяжении весьма короткого отрезка эволюционного времени (вероятно, около 80 000 лет назад) и с тех пор не эволюционировал. В обширной литературе, посвященной эволюции языка, эта гипотеза иногда характеризуется как антидарвинистская, или отвергающая эволюционную теорию, но такая критика основана на серьезном непонимании современной биологии, что обсуждается в главах 1 и 4.

Помимо двух этих фактов — одного засвидетельствованного и одного правдоподобного, — известно очень мало. Создается впечатление, что с другими сложными когнитивными способностями человека дела обстоят точно так же. Для изучения эволюции языка это очень слабый базис. Отсюда, однако, следует одно предположение: эволюционирующий объект, то есть UG, должен быть в основе своей очень простым. Если это верно, то наблюдаемую сложность и разнообразие языков можно вывести из изменений, произошедших уже после завершения эволюции языковой способности, и все это, вероятно, локализовано в периферийных компонентах системы, которые, быть может, и вовсе не эволюционировали. (Мы еще вернемся к этому вопросу.) Нужно еще учесть, как уже говорилось, что за видимой сложностью и разнообразием стоит недостаточное понимание — в науке такое случается.

Как только в середине XX века были предприняты первые попытки создания порождающих грамматик, сразу же обнаружилось, что о языках (даже хорошо изученных) известно очень мало. Более того, многие свойства, обнаруженные при внимательном исследовании, оказались необъяснимыми и до сих пор остаются без объяснения (как и более новые проблемы, накопленные впоследствии).

В то время казалось необходимым приписать UG колоссальную сложность, чтобы охватить эмпирический материал языков и их разнообразие. Однако всегда было понятно, что эта точка зрения не может быть верна. UG должна быть способной к изменениям, и чем она сложнее, тем тяжелее будет объяснить ее эволюцию (на это указывает малочисленность научных данных об эволюции языка).

Поэтому наряду с общими соображениями рациональности исследования в работах по изучению I-языка и UG с самого начала делались попытки снизить сложность принимаемых допущений о природе и разнообразии данных феноменов. Мы не будем подробно расписывать историю планомерного развития этого направления исследований, в частности произошедшую в начале 1980-х годов кристаллизацию теории принципов и параметров. Она помогла взглянуть на проблему усвоения языка в обход тех сложностей, которые ранее казались непреодолимыми, а также способствовала увеличению объема эмпирических данных и достижению невообразимой ранее глубины исследований.

К началу 1990-х годов некоторые исследователи решили, что накоплено уже достаточно данных для того, чтобы взяться за упрощение UG иным образом: сформулировать идеальный случай и задаться вопросом, насколько язык близок к этому идеалу, а затем постараться устранить многочисленные несоответствия. Эта попытка, которая стала известна под названием минималистской программы, продолжает тему развития генеративной грамматики от самых ее истоков.

Оптимальной была бы такая ситуация: UG сводится к простейшим вычислительным принципам, которые действуют в соответствии с условиями эффективности вычислений. Эту гипотезу иногда называют сильным минималистским тезисом (Strong Minimalist Thesis, CMT). Еще не так давно CMT показался весьма необычным. Но в последние годы накопилось немало фактов, свидетельствующих, что это направление исследований может быть довольно перспективным. Если бы эта гипотеза подтвердилась, нас ждало бы важное открытие, которое помогло бы продвинуться в изучении эволюции языка. Мы вернемся к этому вопросу чуть позже. А сейчас скажем пару слов о предыстории современных исследований эволюции языка.

Мы уже упоминали, что проблема эволюции UG возникла около 60 лет назад, как только была сформулирована исследовательская программа биолингвистики. Но эта же проблема обсуждалась и гораздо раньше, когда язык рассматривался как внутренний биологический объект.

Очевидно, что, если определять язык каким-то иным образом, невозможно всерьез обсуждать его эволюцию. Индоевропейцы XIX века часто рассматривали язык в интерналистских терминах как биологическое свойство индивида, но на пути изучения его эволюции имелись препятствия. Минимальный набор условий, приведенный в начале этой главы, не был выполнен, в частности, отсутствовало ясное (удовлетворяющее базовому свойству) понимание природы эволюционирующей системы. В 1866 году Парижское лингвистическое общество наложило запрет на рассмотрение работ о происхождении языка. Поддержал это решение крупный ученый Уильям Дуайт Уитни, по словам которого, «из всего, что говорят и пишут на эту тему, большая часть — отвлеченная болтовня» (Whitney, 1893: 279). Эта оценка до сих пор заслуживает внимания.

Общепринятую версию дальнейшего развития событий добросовестно изложила Джин Этчисон в сборнике «Подходы к эволюции языка» (*Approaches to the Evolution of Language*), который вышел в 1998 году под редакцией Джеймса Херфорда, Майкла Стаддерта-Кеннеди и Криса Найта. От упомянутого запрета, наложенного на тему эволюции языка, она сразу переходит к 1990 году, когда, по ее словам, после выхода статьи Стивена Пинкера и Пола Блума «все изменилось». Затем Этчисон цитирует хвалебный отзыв Херфорда о работе Пинкера — Блума, которая, по словам Херфорда, «разрушила некоторые из интеллектуальных преград, стоявших на пути

понимания *relation* между эволюцией и языком» (Hurford, 1990: 736). В статье Пинкера — Блума, как пишет Этчисон, «подчеркивалось, что язык эволюционировал с помощью обычных эволюционных механизмов, и отмечалось, что “имеется множество новых и заслуживающих доверия научных данных, относящихся к проблеме эволюции языка, которые все еще не синтезированы должным образом”» (Pinker & Bloom, 1990: 729). После этого, согласно излагаемой версии, научная область, занимавшаяся вопросами эволюции языка, стала расти и превратилась в процветающую дисциплину.

С нашей точки зрения, вся эта история выглядит иначе, но не только потому, что скептическая оценка Уитни была верна. В течение всего периода структурализма, которого Уитни уже не застал, язык не рассматривался как биологический объект, поэтому вопрос о его эволюции не затрагивался. Среди европейских структуралистов была широко распространена соссюрская концепция языка как социального явления (по выражению самого Соссюра, сокровищницы словесных образов, которая «в силу своего рода договора» существует в головах у целого коллектива индивидов (Соссюр, 1916/1999: 21–22)). Американские структуралисты следовали за Леонардом Блумфилдом, который характеризовал язык как свод навыков реагирования конвенциональными речевыми звуками — на ситуации, а действиями — на речевые звуки; по другому определению язык — это «совокупность высказываний, которые могут быть произнесены в рече-

вой общности»* (Звегинцев, 1965: 201). Что бы в этих формулировках ни понималось под языком, это не биологические объекты.

Обстоятельства изменились в середине века, когда были предприняты первые попытки исследовать I-язык в терминах, удовлетворяющих базовому свойству. Как мы уже упоминали, проблема эволюции языка сразу же попала на повестку дня, но всерьез подступиться к ее решению было невозможно. В те годы основной задачей было построить теорию языка, достаточно богатую для того, чтобы с ее помощью описывать факты, обнаруживаемые в разнообразных языках. Но чем богаче UG, тем больше ограничена способность к развитию и, соответственно, тем меньше можно сделать.

Как обсуждалось в главе 1, важный шаг в этом направлении сделал Эрик Леннеберг. Его книга «Биологические основания языка» (1967) положила начало современным исследованиям по биологии языка. В этой работе серьезно обсуждалась эволюция языковой способности, было высказано немало ценных догадок и предложен довод в пользу прерывистого характера эволюции языка. Однако основополагающая проблема сложности UG никуда не делась.

В последующие годы проводились международные и региональные научные конференции биологов, лингвистов,

* Цит. по сокращенному русскому переводу В. А. Звегинцева. Здесь из определения *the totality of utterances that can be made in a speech community* исключены слова *that can be*.

философов и когнитивистов. На них обсуждалась проблема эволюции языка, но по тем же причинам практически безрезультатно. Один из авторов (Хомский) совместно с эволюционным биологом Сальвадором Лурия в 1970-е годы в Массачусетском технологическом институте вел семинар по биологии языка. Некоторые участники семинара позже продолжили работать в этой области как исследователи. Эволюция языка была одной из главных тем семинара, но опять же по существу вопроса сказано было мало.

Комментаторы, в том числе историки лингвистической науки, иногда отмечают, что в ранней литературе по генеративной грамматике почти не затрагиваются вопросы эволюции языка. Это так, но причины, видимо, не для всех очевидны. Тема эволюции языка обсуждалась начиная с первой половины 1950-х годов, затем в книге Леннеберга 1967 года, а также другими исследователями на конференциях, но по причинам, названным выше, никаких особенно ценных выводов на основе этих материалов сделать было невозможно, отсюда и малочисленность упоминаний в литературе.

В 1990-е годы, в сущности, не так уж и много «новых и заслуживающих доверия научных данных, относящихся к проблеме эволюции языка», нуждалось в синтезе. Также не оставалось больше никаких «интеллектуальных барьеров». Однако несколько изменений в это время все же произошло. Одно мы уже упомянули: прогресс в изучении UG позволил предположить, что могут быть верны

СМТ или родственная гипотеза, а значит, можно преодолеть серьезное препятствие на пути исследования эволюции языка. Во-вторых, вышла очень важная статья эволюционного биолога Ричарда Левонтина (Lewontin, 1998), в которой подробно объяснялось, почему для изучения когнитивных способностей, в частности языка, не годится ни один из существовавших в то время подходов. В-третьих, стали массово публиковаться статьи и книги об эволюции языка, но во всех них игнорировались убедительные доводы Левонтина (и в этом, по нашему мнению, их большой недостаток) и почти во всех, за редким исключением, не учитывались достижения в осмыслении UG, которые могли хотя бы частично помочь в изучении данного вопроса.

Широко распространено мнение, что никакой UG не существует. По выражению Майкла Томаселло, UG мертва (Tomasello, 2009). Если так, то, конечно, нет и вопроса об эволюции UG (то есть об эволюции языка в его единственно возможной трактовке). Тогда возникновение языка нужно свести к эволюции когнитивных процессов вообще, а ее невозможно изучать всерьез по тем причинам, которые объяснил Левонтин. Придется также проигнорировать большой массив данных, демонстрирующих, что языковая способность обособлена от других когнитивных процессов, и отмахнуться от того факта, что UG присуща только человеку (а ведь это ясно с самого момента рождения). Новорожденный младенец сразу же начинает выбирать из окружающей среды относящиеся

к языку данные (это уникальная особенность). Имея приблизительно такую же слуховую систему, обезьяна слышит только шум. Затем ребенок начинает усваивать язык в систематическом режиме, что свойственно только людям. Это явно выходит за рамки любого общего механизма научения, начиная с усвоения слов и заканчивая синтаксической структурой и семантической интерпретацией.

Грандиозный расцвет научной области, которая прежде едва была обозначена, поднимает ряд интересных вопросов о социологии науки, но мы не будем их затрагивать. Вместо этого обратим внимание на общий подход к решению этих вопросов, который выглядит продуктивным, но подчеркиваем, что наши взгляды далеки от общепризнанных.

Если СМТ верен, самое меньшее, что мы можем сделать, — это сформулировать проблему эволюции языковой способности, стараясь избегать противоречий. Зададимся вопросом, какие выводы об эволюции языка следуют из допущения, что СМТ близок к правде.

Всякая вычислительная система содержит операцию, которая применяется к двум уже готовым объектам X и Y и строит из них новый объект Z , — операцию соединения (Merge). СМТ требует, чтобы операция соединения проходила как можно проще, не видоизменяла X или Y и оставляла объекты неупорядоченными (это важный момент, к которому мы вернемся). Таким образом, соединение — это просто образование множества: соединение X и Y дает множество $\{X, Y\}$.

В таком виде соединение — отличный кандидат на роль простейшей вычислительной операции. Некоторые ученые утверждают, что конкатенация еще проще. Это неверно. Конкатенация опирается на соединение или похожую операцию, а также на порядок элементов и какой-либо принцип стирания структуры, подобный тем правилам, которые оставляют только строку терминальных символов от помеченного дерева, порождаемого контекстно-свободной грамматикой*. Можно предположить, что вычислительный процесс работает следующим образом. Есть рабочая память (*workspace*), которая имеет доступ к лексикону атомарных элементов и в которой находится любой вновь построенный объект. Чтобы сделать очередной шаг вычислений, из рабочей памяти выбирается элемент *X* и затем еще один элемент *Y*. Может оказаться, что *X* и *Y* — два совершенно разных элемента, например *read* («читать») и *books* («книги»), соединение которых дает синтаксический объект *read books* («читать книги»).

* Речь идет о том, что процесс вывода с помощью контекстно-свободной грамматики какого-нибудь предложения на естественном языке (или какой-либо строки из формального языка) отражен в дереве вывода. Это дерево, в корне которого расположен начальный символ *S* (все предложение), на концах ветвей — терминальные символы, то есть такие, на которых вывод оканчивается (в предложении это слова), а во всех остальных узлах — нетерминальные символы, отражающие промежуточные шаги вывода. Читатель, желающий получить более ясное представление об этом, может обратиться к параграфам 1.3, 1.4 и 7.1 пособия А. Е. Пентус и М. Р. Пентуса «Теория формальных языков» (2004) и далее по ссылкам оттуда.

Это наружное соединение (External Merge). А может оказаться, что один элемент — часть другого. Тогда это внутреннее соединение (Internal Merge). Например, в случае, когда *he will read which books* (букв.: «он будет читать какие книги») соединяется со своей частью *which books* («какие книги») и дает на выходе сочетание *which books he will read which books* (букв.: «какие книги он будет читать какие книги»), как в предложении *Guess which books he will read* («Угадай, какие книги он будет читать») или (в результате действия других правил) *Which books will he read?* («Какие книги он будет читать?»). Это пример вездесущего эффекта дислокации (displacement): словосочетания произносятся в одном месте, а интерпретируются в другом. Долгое время считалось, что дислокация — это изъян языка. Но на самом деле вовсе не так: это автоматически возникающий побочный эффект простого вычислительного процесса.

Итак, соединение *he will read which books* и *which books* дает *which books he will read which books* с двумя копиями словосочетания *which books*. Причина в том, что соединение не меняет самих соединенных элементов. Как оказывается, это очень важно. Копирующее свойство внутреннего соединения обуславливает интерпретацию выражений с дислокацией, причем это влияние существенно и имеет довольно широкий диапазон. Предложение *Which books will he read?* мы понимаем приблизительно так: «Для каких книг *x* верно, что он будет читать книги *x*?» Здесь словосочетанию *which books* приписываются различные семантические роли в двух позициях. Весьма сложные свойства интерпретации

предложений непосредственно вытекают из этих наиболее вероятных предположений о вычислениях.

Приведем простой пример. Рассмотрим предложение *The boys expect to meet each other* («Мальчики ожидают встретить друг друга»^{*}). Его смысл можно передать так: «Каждый из мальчиков ожидает встретить остальных мальчиков». Поместим это предложение в контекст *I wonder who...* («Интересно, кто...»). Получится *I wonder who the boys expect to meet each other* («Интересно, кто, как ожидают мальчики, встретит друг друга»). Прежняя интерпретация исчезает. Теперь словосочетание *each other* («друг друга») относится к далеко стоящему элементу *who* («кто»), а не к более близкому элементу *the boys* («мальчики»). Причина в том, что для нашего сознания, в отличие от нашего уха, элемент *who* на самом деле ближе к *each other*, так как ментальное выражение имеет вид *I wonder who the boys expect who to meet each other* благодаря копирующему свойству внутреннего соединения.

Теперь более сложный пример — предложение *Which one of his paintings did the gallery expect that every artist likes best?* («Какое из его полотен, как ожидал музей, каждому художнику нравится больше всего?»^{**}). Ответ может

* На самом деле такой перевод не очень удачен, потому что английское *each other* ведет себя иначе, чем русское «друг друга».

** Этот перевод едва ли приемлем: в русском языке редко встречается катафора, то есть постановка анафорического местоимения раньше антецедента.

быть таким: *his first one* («его первое (полотно)»). Кванторная группа *every artist* («каждому художнику») связывает местоимение *his* («его») в группе *which one of his paintings* («какое из его полотен»). Но в похожем по структуре предложении *One of his paintings persuaded the gallery that every artist likes flowers* («Одно из его полотен убедило музей, что каждому художнику нравятся цветы»*) такая интерпретация невозможна. Причина — копирующее свойство внутреннего соединения (дислокация). Наш разум получает это предложение в следующем виде: *Which one of his paintings did the gallery expect that every artist likes which one of his paintings best* (букв.: «Какое из его полотен, как ожидал музей, каждому художнику какое из его полотен нравится больше всего»). Это вполне нормальная конфигурация для связывания квантором (ср.: *Every artist likes his first painting best* («Каждому художнику первое из его полотен нравится больше всего»)).

Чем сложнее предложение, тем больше тонкостей. Ни один из этих вариантов нельзя получить с помощью индукции, путем статистического анализа больших данных или благодаря другим общим механизмам, зато, предполагая истинность СМТ, в значительной доле случаев результаты можно вывести из фундаментальной архитектуры языка.

* Такой перевод тоже плох, но не по грамматическим причинам, а из-за необычной метонимии: неодушевленная сущность (полотно) убеждает другую неодушевленную сущность (музей).

Если бы в таких примерах, как эти, произносились обе копии, воспринимать высказывание было бы гораздо легче. Именно поиск произносимых пропусков (так называемая проблема заполнителей и пропусков (*filler-gap problems*)) — одна из главных трудностей, с которыми сталкиваются теории восприятия речи, а также программы автоматического синтаксического анализа и интерпретации текста. На то, чтобы произносить только одну копию, есть серьезная причина вычислительного плана: если бы произносилось больше, то во всех случаях, кроме самых простых, сложность вычислений возросла бы колоссально. Таким образом, имеется конфликт между эффективностью вычислений и эффективностью использования, причем эффективность вычислений одерживает верх. Насколько сейчас известно, это верно для всех конструкций во всех языках. Не вдаваясь в детали, заметим, что есть и много других ситуаций противостояния между эффективностью вычислений и эффективностью использования (синтаксический анализ, коммуникация и т. д.). Именно последняя во всех известных случаях приносится в жертву: строение языка стремится к эффективности вычислений. Примеры, безусловно, находятся на границе допустимого. Тот случай, который мы только что обсуждали, демонстрирует ключевую проблему синтаксического анализа и восприятия.

Такие результаты говорят о том, что язык эволюционировал для нужд мышления и интерпретации; по сути, это система значений. В классическом изречении Аристотеля,

согласно которому язык — это «звук, что-то означающий», следует по-иному расставить акценты. Язык — не звук со значением, а значение со звуком (или с какой-либо другой экстернализацией, или вообще без нее); и слово играет здесь не последнюю роль.

Тогда, следовательно, экстернализация на сенсомоторном уровне — это вспомогательный процесс, который отражает свойства используемой сенсорной модальности и по-разному устроен для речи звуковой и жестовой. Другое следствие состоит в том, что современное учение о коммуникации как функции (в каком-то смысле) языка ошибочно, а традиционное представление о языке как инструменте мышления ближе к истине. По существу, язык — это система «слышимых знаков мысли», как сформулировал Уитни, выражая традиционную точку зрения.

Современное представление о том, что коммуникация есть функция языка (что бы это в точности ни значило), исходит, вероятно, из ошибочного убеждения, что язык каким-то образом развился из систем коммуникации животных. В эволюционной биологии, как уже полвека назад обсуждал Леннеберг, этот тезис не находит поддержки. Ему решительно противоречат имеющиеся факты: во всех важнейших отношениях — от значений слов и до базового свойства, а также по характеру усвоения и использования — человеческий язык выглядит совершенно иначе, чем системы коммуникации животных. Кто-то может сказать, что современная точка зрения опирается на уста-

ревшие бихевиористские представления, от которых мало проку. Каковы бы ни были причины, имеющиеся данные, скорее всего, поддерживают традиционную точку зрения, в соответствии с которой язык — это, по сути, мыслительная система.

Данный вывод имеет основательную доказательную базу. Заметим, что оптимальная вычислительная операция (соединение) не упорядочивает соединенные элементы. Следовательно, ментальные операции, связанные с языком, не должны зависеть от порядка, который отражает свойства нашей сенсомоторной системы. Говорящий вынужден располагать слова в линейном порядке, потому что сенсомоторная система не позволяет выводить речевую продукцию параллельно или же выводить сами структуры. Сенсомоторная система по большей части была сформирована задолго до возникновения языка и, видимо, имеет с ним мало общего. Как мы уже упоминали, обезьяна, обладая приблизительно той же слуховой системой, что и человек, слышит только шум, когда звучит речь, а вот новорожденный младенец способен мгновенно извлекать относящиеся к языку данные из шумной среды, пользуясь присущей только человеку языковой способностью, глубоко укорененной в головном мозге.

Некоторые факты, иллюстрирующие эти выводы, хорошо всем известны. Так, в языках с порядком слов «глагол — дополнение» и «дополнение — глагол» инвентарь семантических ролей одинаков. И эти выводы еще больше способствуют генерализации.

У этих наблюдений есть интересные эмпирические следствия. Рассмотрим похожие примеры, как в главе 1: предложения *Birds that fly instinctively swim* («Инстинктивно летающие птицы плавают») и *The desire to fly instinctively appeals to children* («Желание летать инстинктивно привлекательно для детей»). Эти предложения неоднозначны: наречие *instinctively* можно связать либо с предшествующим ему глаголом (*fly instinctively*), либо с последующим (*instinctively swim, instinctively appeals*). Переставим наречие в начало — получится *Instinctively, birds that fly swim* и *Instinctively, the desire to fly appeals to children*. Теперь, как уже не раз отмечалось, неоднозначность устранена: наречие относится к более отдаленному глаголу *swim* или *appeals*, а не к ближе расположенному глаголу *fly*.

Это иллюстрация всеобщего свойства зависимости правил от структуры. Вычислительные правила языка игнорируют линейное расстояние и опираются на гораздо более сложное структурное расстояние. Подобный эффект был замечен сразу же, как только стали предприниматься попытки построения точных грамматик. Много раз исследователи пытались показать, что те же самые следствия могут быть выведены из данных и опыта, но всякий раз неудачно. И это неудивительно. В таких случаях, как рассмотренный нами, в распоряжении ребенка нет никакой информации, которая могла бы подсказать ему, что вместо линейного расстояния нужно предпочесть структурное. Тем не менее дети понимают, что правила зависят от структуры, уже в самом раннем возрасте, как

только их можно привлечь в качестве испытуемых (примерно в возрасте трех лет). Причем они не делают ошибок, и, конечно, их не инструктируют. Все это следовало бы из допущения, что СМТ верен и что вычислительный механизм языка предельно прост.

Неудачные попытки были связаны с инверсией вспомогательного глагола и относительными придаточными, которые изучались одними из первых. Такие искусственные ограничения заставили исследователей поверить, что рассматриваемое явление может быть связано с правилами подъема (*raising*), или с пресуппозициями, заключенными в относительных придаточных, или с тем, что у ребенка имеются какие-то дополнительные данные. Даже и так видно, что это неверно, но когда мы смещаем фокус внимания с ранних иллюстраций на правила толкования, которые действуют точно так же, то становится еще очевиднее, что это неверное направление.

Есть очень простое объяснение этого загадочного явления (и оно же единственное, которое выдерживает критику): наблюдаемые результаты следуют из оптимального допущения о природе UG — из СМТ.

Одни ученые хотя бы пытались разобраться в сути этого явления, а другие вообще не смогли увидеть тут загадку. Например, Ф. Дж. Ньюмейер (*Newmeyer*, 1998: 308) предлагает считать, что зависимость правил от структуры есть следствие «расчетного давления, которое превращает все сложные системы передачи информации в структурированные иерархии». На самом деле имеются

куда более простые и убедительные причины, в силу которых вычислительная процедура порождает структурированные иерархии, но этот факт никак не приближает нас к разгадке. Несомненно, существует и структурированная иерархия, и линейный порядок. Вся загвоздка в том, почему простая вычислительная операция использования кратчайшего линейного расстояния повсеместно игнорируется в пользу более сложной операции использования структурного различия. Недостаточно сказать в ответ, что структурированная иерархия доступна, ведь и линейный порядок тоже доступен. Это довольно распространенная ошибка, которую можно встретить даже в исследовательских статьях последних лет.

Так случилось, что это всего-навсего одна из целой череды ошибок, с которыми мы сталкиваемся в данной главе и которые не имеют отношения к стоящей перед нами задаче опровержения предыдущих версий изложенных здесь аргументов. Эти ошибки подрывают выводы других авторов удивительного множества работ по эволюции языка, о которых мы говорили ранее. Слово «удивительный» очень верно отражает суть. Ошибки толкования в некоторых случаях действительно удивляют. Одна из них — неразличение эволюции и естественного отбора, одного из факторов эволюции, как подчеркивал Дарвин, но далеко не единственного.

Другие ошибки еще более странные. Так, например, Этчисон обсуждает гипотезу о том, что язык «мог возникнуть как “хлопок” — довольно быстро» (Aitchison,

1998: 22). Чтобы продемонстрировать абсурдность этой гипотезы, Этчисон упоминает, ссылаясь на одного из нас (Хомского), идею о том, что половина крыла непригодна для полета, однако она не упоминает о том, что эта идея приводилась нами в качестве примера ложного вывода и что следующие предложения содержат информацию из технической публикации, в которой говорится, что крылья насекомых изначально появились как средство терморегуляции. К сожалению, такие примеры нередки в литературе по эволюции языка, но нет никакого смысла разбираться с этим вопросом в рамках данной главы. В главах 1 и 4 обсуждаются темы скорости эволюционных изменений, очевидного преобладания достаточно быстрых изменений (особенно во время крупных эволюционных трансформаций), а также того, как такие быстрые изменения вписываются в палеоархеологическую временную шкалу.

Вернемся к основной теме. Может оказаться важным моментом, что наблюдаемое разнообразие, сложность языков и их подверженность изменениям связаны частично или полностью с процессом экстернализации, а не с теми системами, которые порождают глубинные выражения и выводят их на концептуальный интерфейс с другими ментальными операциями. На наш взгляд, такая ситуация является общей для всех языков. И было бы неудивительно, если бы в самом деле так и оказалось, потому что ребенок не получает никакой доказательной базы, как видно в приведенных нами примерах. К слову,

ситуация становится еще более ярко выраженной, когда мы обращаемся к случаям нормальной сложности.

Кратко подведем итоги. Оптимальный вывод о природе языка состоял бы в том, что его базовые принципы предельно просты и даже, вероятно, оптимальны для широкого класса вычислительных систем. Прийти к такого рода выводу было целью генеративной грамматики с ее первых дней (с середины XX века). Сейчас эта цель гораздо более достижима, чем раньше. Из нашего оптимального допущения вытекают очень интересные эмпирические следствия. Мы видим, что дислокация — вовсе не загадочная аномалия, а свойство, которого и следовало ожидать от идеального языка. Кроме того, оптимальная схема содержит копирующее свойство дислокации и сопутствующие ему богатство и сложность семантических интерпретаций. Нам удастся объяснить удивительный факт, что язык игнорирует линейный порядок и опирается на гораздо более сложное структурное расстояние. Не остался незамеченным и тот факт, что разнообразие, сложность и гибкость языка локализованы в основном (а может быть, и целиком) во внешней системе, вспомогательной по отношению к центральным внутренним процессам языковой структуры и семантической интерпретации.

Если мы на верном пути, то получается, что язык создан для эффективных вычислений и для выражения мысли, но вызывает проблемы при использовании, в частности при коммуникации, а также, что язык по своей сути инструмент мышления, как и считалось традиционно.

Конечно, мы образно говорим «создан» (designed). Речь о том, что простейший эволюционный процесс, согласующийся с базовым свойством человеческого языка, предлагает систему мышления и понимания, которая оказывается эффективной для вычислений, так как никакое давление извне не препятствует этому процессу.

Возвращаясь к двум фактам из эволюционной истории языка, правдоподобно было бы предположить, что некая перемаршрутизация мозга дала главный из элементов, предусмотренных базовым свойством: оптимальную вычислительную процедуру, которая порождает бесконечное множество иерархически структурированных выражений, интерпретируемых определенным образом на концептуальном интерфейсе (интерфейсе с другими когнитивными системами). По сути, именно такая картина — сравнительно малое биологическое изменение приводит к масштабным результатам — намечена в главах 1 и 4 нашей книги, как и в цитируемой работе Рамю и Фишера (Ramus and Fisher, 2009). Какой-нибудь иной сценарий представить было бы сложно, ведь последовательность маленьких эволюционных шагов не может сложиться в бесконечно большое изменение. Такому изменению подвержен отдельный индивид, а если повезет, то вместе со всеми своими братьями и сестрами он унаследует новинку от одного или (что менее вероятно) от обоих родителей. Индивиды, обладающие новым свойством, будут иметь преимущества перед всеми остальными. И это свойство через небольшую группу за несколько поколений

может распространиться на многих. В какой-то момент может оказаться полезной экстернализация, но это влечет большие когнитивные трудности, ведь систему, предназначенную для эффективных вычислений, нужно связать с сенсомоторной системой, которая от нее не зависит. Эта проблема решается с помощью разнообразных и сложных способов (хотя и не без некоторых ограничений), и, вероятно, роль эволюции тут незначительна. Все это согласуется с наблюдениями и выглядит, с нашей точки зрения, как наиболее экономная из возможных гипотез. Однако подчеркнем, что это не более чем гипотеза — по причинам, которые указал Левонтин (Lewontin, 1998).

Нужно ли говорить, что все сказанное только слегка приоткрывает завесу? Недавно вышла работа, рассматривающая СМТ с новой стороны. Естественно, большой диапазон языковых явлений остается практически неизученным, но картина, обрисованная здесь в общих тонах, кажется нам наиболее убедительной из всех имеющихся, а также наиболее перспективной с точки зрения открывающихся возможностей для исследований.

ГЛАВА 4. ТРЕУГОЛЬНИКИ В ГОЛОВЕ

За гранью естественного отбора

Альфред Рассел Уоллес, соавтор теории естественного отбора, всем сердцем верил в справедливость жесткого адаптационистского принципа «обязательной полезности»: у *каждой* части тела есть *хоть какое-то* предназначение. Но все же он не мог понять, какое преимущество нашим предкам могли обеспечить выдающиеся способности человеческого разума, проявляющиеся в языке, музыке и искусстве. Как сонеты Шекспира или сонаты Моцарта могли повлиять на репродуктивный успех? «Естественный отбор мог дать дикому человеку лишь мозг, чуть более развитый, чем мозг обезьяны, тогда как на деле его мозг лишь слегка уступает мозгу ученого» (Wallace, 1869: 392). В своем глобальном адаптационизме Уоллес превзошел даже Дарвина (Darwin, 1859: 6), который написал в «Происхождении видов»: «Я убежден, что естественный

отбор был самым важным, но не единственным средством модификации».

Уоллес ступил на скользкий путь — он вывел отбор за границы «естественного» отбора: «И нам следует признать, что Высший Разум направлял развитие человека, руководствуясь теми же законами (изменчивость, размножение и выживание)» (Wallace, 1869: 394). Дарвин пришел в ужас. Он написал Уоллесу: «Надеюсь, вы не уничтожили окончательно наше общее дитя» (Marchant, 1916: 240).

Мы считаем, что «преступление» Уоллеса не было таким уж тяжким. Он просто указал на истину: дарвинизм подразумевал строгую, преемственную и неразрывную связь с прошлым — нас и наших предков разделяет череда «многочисленных, последовательных, незначительных изменений». И все же между нашими способностями и способностями других животных зияет огромная пропасть — язык. В этом и состоит главная загадка.

Когда дело касается загадок, мы должны ответить на вопросы: что, кто, где, когда, как и почему? Далее в этой главе мы постараемся найти ответы на них. Вот краткое описание наших мыслей по этому поводу:

- ♦ «что» сводится к базовому свойству человеческого языка — способности создавать бесконечное множество иерархически структурированных конструкций, каждая из которых определенным образом интерпретируется в результате обработки в других внутренних системах¹;

- ◆ «кто» — это современные с анатомической точки зрения люди — не шимпанзе, не гориллы, не певчие птицы;
- ◆ «где» и «когда» — это некий момент между появлением в южной части Африки первых современных с анатомической точки зрения людей примерно 200 000 лет назад и последней волной миграции с Африканского континента приблизительно 60 000 лет назад (Pagani, 2015);
- ◆ «как» — это нейронное приложение базового свойства — нам мало что о нем известно, но недавно появились эмпирические данные, свидетельствующие о том, что этот процесс можно сравнить с «незначительным перепрограммированием мозга». Данную формулировку мы и будем использовать далее;
- ◆ «почему» — это язык как средство мышления. Имеется в виду когнитивная функция языка, который выступает своего рода клеем, опорой для всех остальных когнитивных процессов, связанных с восприятием и обработкой информации.

Насколько мы видим, подобное представление о человеческом языке очень точно вписывается в теорию Жакоба и Моно. По их мнению, эволюция путем естественного отбора — это цепочка случайностей. Мы утверждаем, что большинство компонентов человеческого языка существовали изначально. Произошла переориентация первоначальных корковых связей. Незначительные изменения в геномной организации привели к существенным

изменениям когнитивных способностей — именно об этом писали Рамю и Фишер (2009), которых мы цитируем в главе 2. В отличие от других исследователей мы не опираемся на слухи, плейстоценовую версию карт Google или некую загадочную культурную эволюцию.

Что?

Мы начнем с ответа на вопрос «что?» и вернемся к схеме, предложенной в главе 1. В этой схеме присутствуют три компонента языка. Первый компонент — внутренняя вычислительная система языка, его двигатель — выполняет базовую операцию построения — соединение (Merge). Два других компонента — сенсомоторная и концептуально-прагматическая системы — отвечают за экстернализацию и интернализацию тех структур, которые были построены в результате операции соединения (Merge). Экстернализация включает в себя морфонологию, фонетику, просодию и другие аспекты, отвечающие за реализацию устной речи или языка жестов либо за восприятие и интерпретацию речи или знаков. Интернализация подразумевает осмысливание, умозаключение, планирование тех иерархических структур, которые были построены в результате операции соединения.

Принимая во внимание базовую установку минималистской программы, мы исходим из того, что операция

соединения максимально проста и логична. В главах 2 и 3 мы говорили, что соединение (Merge) представляет собой двухместную операцию, которая принимает на вход в качестве аргументов два синтаксических объекта (например, два словоподобных атома, таких как *read* и *books*), объединяет их и на выходе возвращает новый единый синтаксический объект, оставляя исходные синтаксические объекты в неизменном виде. На простейшем уровне соединение — это просто образование множества комбинаций. Далее операцию соединения можно рекурсивно применить уже к этому новому иерархически структурированному синтаксическому объекту и получить на выходе, например, такую конструкцию: *the guy read books* («парень читал книги»). В этом случае операция соединения рекурсивно порождает бесконечное множество иерархически структурированных выражений.

Важно понимать, что наряду со словоподобными атомами соединение — это ключевая с точки зрения эволюции инновация для человеческого языка. Как вы увидите дальше, для нас очевидно, что остальные животные способны соединять и обрабатывать понятия в линейном порядке (по крайней мере, до определенной степени). Однако мы считаем, что они не строят иерархически структурированных выражений, подобных нашим. Шимпанзе Ним мог запоминать комбинации из двух «слов», но ни разу не сумел построить иерархическую структуру, хотя бы отдаленно напоминающую самое

простое предложение (Yang, 2013). Вспоминая слова Жакоба (см. главу 2), именно соединение (Merge) отличает язык от коммуникативной системы животных, обеспечивая его уникальное свойство порождать «бесчисленные комбинации символов» и, как результат, «создавать возможные миры в уме».

Снова обратимся к главе 1 и вспомним, что при соединении двух синтаксических объектов X и Y существует два возможных варианта. X и Y могут быть отдельными элементами, или же один из них может быть частью другого. Первый случай — это наружное соединение (External Merge), второй — внутреннее (Internal Merge).

Наружное соединение внешне напоминает более привычный способ описания иерархической структуры, известный как контекстно-свободная грамматика, или грамматика типа 2. Но тут есть серьезные различия. Внешнее сходство с привычными правилами контекстно-свободной грамматики очевидно. Например, операцию соединения элементов *read* и *books* можно отобразить в виде стандартного правила контекстно-свободной грамматики: $VP \rightarrow \text{Verb } NP$. Глагольная группа (VP) выражена глаголом, за которым следует именная группа (NP), как в конструкции *read books*. Два соединяемых синтаксических объекта находятся справа от стрелки (*read* и именная группа *books*). Однако обратите внимание на три принципиальных отличия. Во-первых, контекстно-свободная грамматика приписывает иерархически структурированной конструкции *read* и *books*

определенное название — глагольная группа. Когда речь идет о соединении (Merge), мы не оперируем понятием «глагольная группа». Напротив, при операции соединения обязательно присутствует алгоритм присваивания меток (в данном случае он выберет глагол в качестве вершины (head)), но он не присваивает таких названий, как «глагольная группа»². Во-вторых, в контекстно-свободной грамматике отсутствует правило, которое можно было бы сформулировать как $PP \rightarrow Verb\ NP$ (предложная группа, образованная в результате соединения глагола и именной группы). В-третьих, как мы расскажем позже, в соответствии с правилами контекстно-свободной грамматики именная группа должна следовать за глаголом, а в операции соединения порядок расположения этих элементов никак не регламентируется.

В основе многих современных лингвистических теорий лежат правила контекстно-свободной грамматики, что неудивительно, поскольку существование бесконечного множества иерархически структурированных выражений — это безусловный эмпирический факт о синтаксическом строе человеческого языка. Некоторые лингвистические теории, такие как вершинная грамматика составляющих (HPSG) и лексико-функциональная грамматика (LFG), представляют синтаксическую структуру в виде иерархии непосредственных составляющих. (Некоторые варианты HPSG-грамматики даже выделяют отношения доминирования и отношения предшествования.) Другие теории, такие как грамматика сложения

деревьев (TAG), выделяют первоначальный ограниченный набор базовых иерархических структур, наполненных словоподобными атомами, которые путем комбинаторной операции — присоединения — рекурсивно складываются друг с другом. (Это очень похоже на то, как рекурсия была представлена в первоначальной версии трансформационно-порождающей грамматики, где она фигурировала под названием «обобщенная трансформация».) Существуют и такие теории (например, комбинаторная категориальная грамматика, CCG), в которых не применяются правила контекстно-свободной грамматики. Вместо этого они предлагают набор общих комбинаторных операций, аналогичных операции соединения, в результате которых словоподобные атомы соединяются в иерархически структурированные конструкции. Здесь прослеживается их тесная связь с минималистскими системами, которые впервые были описаны Бервиком и Эпштейном (1993). Соответственно, какая-то часть того, что мы пишем об эволюции языка, применима ко всем этим теориям.

Однако принципиальное отличие многих упомянутых теорий от операции соединения заключается в том, что соединение не предполагает какого-либо линейного порядка расположения или предшествования соединяемых элементов. Мы можем изобразить результат операции соединения в виде треугольника: два аргумента операции соединения — это стороны треугольника, а метка — его вершина. Сходство операции соединения с треугольни-

ком не стопроцентное. Главное отличие заключается в том, что аргументы операции соединения (то есть стороны треугольника) могут менять порядок расположения (поскольку эта операция подразумевает образование множества комбинаций). В результате элементы *read* и *books* могут совершенно свободно меняться местами, причем в каких-то случаях даже нарушая синтаксические нормы языка в угоду морфонологическим, фонологическим или фонетическим целям.

Как уже было сказано в главах 1 и 3, одна из ключевых особенностей синтаксиса человеческого языка заключается в том, что для него более важна иерархическая структура элементов, нежели линейная. На этой основе формируется наше представление об эволюции языка: мы считаем, что эти две отдельные структуры развивались изолированно друг от друга. Линейный порядок элементов наблюдается в пении птиц и у других животных, а также в человеческой экстернализации, что, как нам кажется, отчасти связано с моторным аспектом. В этом отношении нейробиологический подход к изучению языка, которого придерживаются Борнкессель-Шлезевски и соавторы (Bornkessel-Schlesewsky et al., 2015), отрицающий значимость иерархически структурированных элементов, абсолютно неверно представляет суть эволюции человеческого языка. Хотя эта теория успешно устраняет эволюционную пропасть между нами и остальными животными, с эмпирической точки зрения она провальна, поскольку не учитывает тот

неоспоримый факт, что ядро человеческого языка составляют иерархические структуры.

Борнкессель-Шлезевски и соавторы, безусловно, не одиноки в своем мнении. Точка зрения «исключительной линейности» получила особенно широкое распространение в современной литературе по когнитивистике. В качестве примера приведем недавнюю статью, опубликованную в журнале *Proceedings of the Royal Society of London*. Фрэнк и соавторы (Frank et al., 2012) описывают «неиерархическую модель использования языка», апеллируя к тому же эволюционному доводу, что и Борнкессель-Шлезевски. Фрэнк и соавторы утверждают, что «соображения простоты и эволюционной преемственности заставляют нас принимать последовательную структуру за основу в процессе обработки языка» (2012: 4528). Действительно, гораздо проще понять процесс эволюции, если единственное, что могут делать все животные, — обрабатывать последовательно расположенные элементы, но в данной теории все же имеется слабое место. Она неверна. В синтаксисе человеческого языка повсеместно представлены иерархически структурированные выражения.

По сути, способ обработки таких фраз, как *put your knife and fork down* («положи свой нож и вилку»), который предлагают Фрэнк и соавторы и который они называют последовательным, на самом деле подспудно предполагает иерархическую структуру. Что именно имеют в виду Фрэнк и соавторы? Они заявляют, что набор слов,

например *put your knife and fork down*, можно обработать, «переключаясь между параллельными последовательными потоками» (Frank et al., 2012: 4526). Потоки дробят слова на группы: первый поток — это слово *put* (с которым связано стоящее в конце фразы слово *down*), второй поток — это слово *your*, третий поток — *knife and fork*. Они считают, что по мере того, как происходит обработка набора слов *put your knife and fork down* (в направлении слева направо), создаются три отдельные параллельные ветки: сначала один поток подхватывает слово *put*, затем создается следующий отдельный поток для слова *your* и, наконец, появляется третий параллельный поток для слов *knife and fork*. Эти три ветки впоследствии сплетаются друг с другом на слове *down*, когда оно соединяется с *put*. В результате появляются три параллельных «среза» предложения, каждому из которых автоматически присваивается собственная метка, поскольку он отделен от остальных потоков³. Обратите внимание, что каждый блок, например *put down*, может состоять из слов, расположенных довольно далеко друг от друга.

Фрэнк и соавторы настаивают, что это выражение не может считаться иерархически структурированным. Они считают, что у блоков слов «отсутствует внутренняя иерархия, а есть лишь последовательное расположение элементов» (2012: 4525). Эта мысль не может быть верной. Должна быть иерархия, потому что в противном случае система не сможет как следует обработать

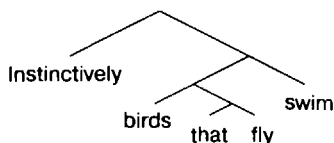
предложение *instinctively birds that fly swim*. Напомним, что в данном примере слово *instinctively* влияет на *swim*, а не на *fly*, поскольку *swim* находится на одну иерархическую ступень ниже, а *fly* ниже на две ступени. Как показано на рис. 4.1, в данном случае *instinctively* с точки зрения структуры фактически ближе к *swim*, нежели к *fly*. Очевидно, что тут речь идет не о линейном расстоянии, которое имеет значение для синтаксиса человеческого языка, а только о расстоянии с точки зрения структуры. Эта особенность актуальна для всех аналогичных конструкций во всех языках и, скорее всего, проистекает из принципа оптимального устройства, как говорилось ранее.

В системе потоков, которую предложили Фрэнк и соавторы, эти два элемента необходимо соединить друг с другом, так же как *put* и *down* в приводимом примере. Но чем должен руководствоваться (некий) контроллер, выполняющий обработку фразы, когда необходимо соединить друг с другом два этих слова, если не тем же принципом, что и со словами *instinctively* и *fly*? Единственный способ — это обратиться к вертикали иерархической структуры или к ее аналогу. Таким образом, чтобы обнаружить верные взаимосвязи, система должна опираться на нечто косвенное, подразумеваемое. Наличие некоего контроллера, способного переключаться между несколькими потоками расположенных на большом расстоянии слов и опирающегося на кажущуюся

ся иерархически структурированной информацией, наделяет эту систему значительными вычислительными возможностями, как у многоленточной машины Тьюринга.

Эта (случайная) конвергентность указывает на два ключевых момента. Во-первых, часто сложно отказаться от иерархической структуры в описании, когда речь идет о человеке и его владении языком. Причина проста: человеческий язык имеет иерархическую структуру. Это необходимо как-то описать, даже если описание носит косвенный или прикладной характер. Во-вторых, на примере данной работы видно, что иерархическая обработка может быть подспудной, а не демонстративной. Хотя Фрэнк и соавторы, скорее всего, пытались избежать иерархического подхода, неожиданным бонусом их работы стало то, что она демонстрирует наличие множества способов (в том числе косвенных) применения вычислительных возможностей для обработки иерархической структуры. Мы вернемся к этой теме чуть позже.

Как только мы начинаем глубже вникать в свойства языка, становится ясно, что иерархическая структура является основополагающей и в других отношениях. С этой точки зрения интересен пример, который приводит Крейн (Crain) (2012). В предложении *He said Max ordered sushi* («Он сказал, Макс заказал суши») может ли *he* быть тем же человеком, что и *Max*? Нет. В школе нас учили, что если местоимение, такое как *he*, стоит



перед потенциальным антецедентом, таким как *Max*, то эти два слова нельзя связать друг с другом. Пока все идет гладко. Теперь разберемся с частью *Max said he ordered sushi*. Тут уже *Max* стоит перед *he*, поэтому эти слова можно связать друг с другом (можно, но не нужно — *he* может оказаться совсем другим человеком). На этом этапе тоже все хорошо.

Но школьная грамматика не всегда срабатывает. Рассмотрим еще один пример: *While he was holding the pasta, Max ordered sushi* («Пока он держал пасту, Макс заказал суши»). Теперь *he* и *Max* могут быть одним и тем же человеком, несмотря на то что *he* стоит перед *Max*. А как же наше правило? Опять же фразу можно представить в виде треугольников (иерархической структуры), а не в виде линейно расположенных элементов слева направо. Тут мы сталкиваемся с трудностью: первый треугольник, который включает в себя местоимение *he*, не может также

 **Рис. 4.1.** В основе синтаксической структуры человеческого языка лежит иерархическая структура, а не линейное расположение элементов слева направо. Здесь представлена синтаксическая структура фразы *Instinctively birds that fly swim*, из которой совершенно очевидно, что *instinctively* влияет на *swim*, а не на *fly* (несмотря на то что *instinctively* ближе к *fly*, с точки зрения линейного расположения). Кроме того, слово *instinctively* ближе к слову *swim* с точки зрения структуры: *swim* находится на один уровень ниже, чем *instinctively*, а *fly* — на два уровня ниже, чем *instinctively*

включать имя или существительное. Давайте посмотрим, как это выглядит на практике. На рис. 4.2 поочередно показаны эти три примера, и в каждом случае «треугольник, включающий в себя местоимение», закрашен серым цветом. В первом примере серый треугольник, включающий местоимение *he*, также содержит имя *Max*, поэтому *he* и *Max* не могут обозначать одного и того же человека. Во втором примере серый треугольник включает в себя *he*, но не включает *Max*, поэтому *he* и *Max* могут обозначать одного и того же человека. И наконец, в третьем примере в треугольник, содержащий *he*, слово *Max* не входит, поэтому тут тоже *Max* и *he* могут быть одним и тем же лицом, несмотря на то что местоимение *he* стоит перед именем *Max* в линейном порядке следования. Опять же очевидно, что человек, выполняя синтаксический анализ, не будет ориентироваться на линейный порядок расположения элементов⁴.

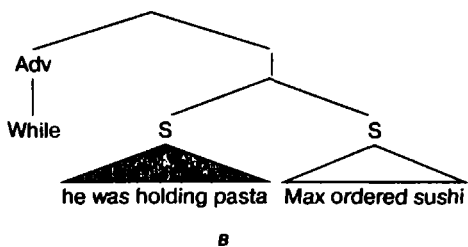
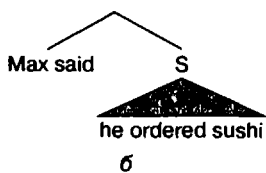
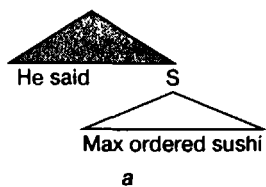




Рис. 4.2. Возможная взаимосвязь между элементами *he* и *Max* в синтаксисе человеческого языка закреплена в иерархической структуре, а не в линейном порядке расположения элементов слева направо. В каждом из представленных примеров серый треугольник обозначает иерархическую структуру, которая управляет элементом *he*. Местоимение *he* можно связать с именем *Max* только в том случае, если обозначенный треугольник не управляет также элементом *Max*. В первом примере (а) серый треугольник управляет элементом *Max*, поэтому связь невозможна. Во втором и третьем примерах — (б), (в) — независимо от линейного порядка следования элементов *he* и *Max* серый треугольник не управляет элементом *Max*, поэтому связь допустима. Этот пример приводит Крейн (Crain, 2012)

Если для выполнения синтаксического анализа не так уж важно, стоит *read* перед *books* или *Max* перед *he*, то мы можем предположить, что порядок слов в разных языках будет различным. Именно это мы и видим. Порядок слов — это эпицентр языковых различий. Как в японском, так и в китайском языке глагол занимает финальную позицию, что видно на примере японской фразы *hon o yomimasu* («книги прочитаны»). Поскольку в результате операции соединения формируются иерархически структурированные выражения, представляющие собой наборы элементов, порядок расположения тех двух элементов, которые составляют основу каждого ментального треугольника, не имеет значения. В каждом отдельном языке иерархическая структура может быть экстернализована по-своему, слова должны располагаться в характерной для данного конкретного языка линейной последовательности, а в речи или жестах они будут также распределены во времени.

Мы считаем, что такое четкое «разделение труда» между иерархическим и линейным порядком сыграло важную роль в эволюции человеческого языка. С нашей точки зрения, только для людей характерна операция соединения, которая идет рука об руку со словоподобными элементами. У других животных этого нет.

Различия между иерархическим и линейным порядком нашли отражение в формальном описании линейной структуры как противовеса структуры иерархической. Эти различия проявляются в вычислительном подходе

к описанию линейных ограничений в фонетической системе и противопоставлении ее синтаксису человеческого языка (Heinz and Idsardi, 2013: 114). Несомненно, фонетические системы человеческого языка (фонотактики) всегда можно описать с точки зрения чисто ассоциативных, линейных факторов, диктующих, какие звуки могут предшествовать другим звукам или следовать за ними. Подобные факторы в специальной литературе называются закономерными связями. Например, носителям английского языка известно, что *plok* — это возможный порядок следования английских звуков, а *ptok* — нет. Подобные факторы всегда можно описать с точки зрения конечного автомата. Вот как это выглядит.

Хайнц и Идсарди в качестве более реального лингвистического примера приводят формальное условие гармонии шипящих/свистящих согласных в языке навахо (атабаскском), когда в рамках одного слова могут присутствовать «только свистящие шумные (например, [s, z]) или только шипящие шумные (например, [ʃ, ʒ])» (Hansson, 2001; Sapir and Hoijer, 1967). То есть слова вида [... s... s...] могут встречаться в языке навахо, а слова вида [... s... ʃ...] и [... ʃ... s...] — нет» (Heinz and Idsardi, 2013: 114). (Шумный звук ʃ — это звук, который стоит в начале английского слова *shoe*, а z — это звук в середине английского слова *vision*.) Это значит, что звуки [s] и [ʃ] не могут стоять друг за другом (вместо многоточий можно поставить любое количество звуков). Например, *dasdolsis* («его стопа поднята») — вполне возможное слово

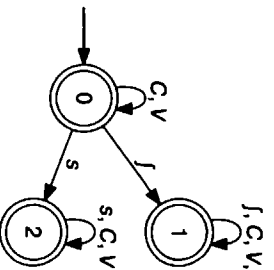
в языке навахо, а *dasdoliʃ* — нет. Что особенно важно, все подобные ограничения относятся исключительно к линейной последовательности (какие звуки предшествуют другим звукам или следуют за ними). Безусловно, здесь виден резкий контраст с операцией соединения, которая, как мы уже наблюдали, абсолютно не принимает в расчет последовательность элементов.

Теперь рассмотрим в качестве конечных автоматов факторы, которые регулируют, какие звуки могут стоять перед другими или после них. Подобные линейные факторы всегда можно описать как системы с конечным числом состояний — размеченные ориентированные графы с конечным числом состояний, размеченные ориентированные дуги между этими состояниями, где метками обозначены звуки или их классы эквивалентности, а также отмечены начальные и конечные состояния. Изучая переходы между начальным и конечным состоянием (обведен двойным кружком) в такой системе и ориентируясь на последовательность меток на этих переходах, можно выявить все допустимые линейные комбинации звуков.

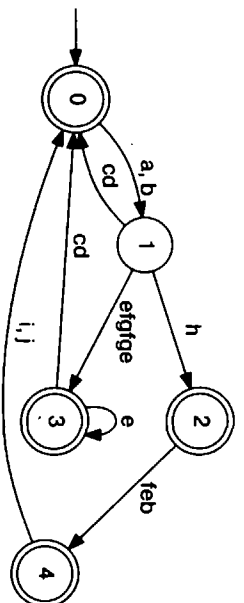
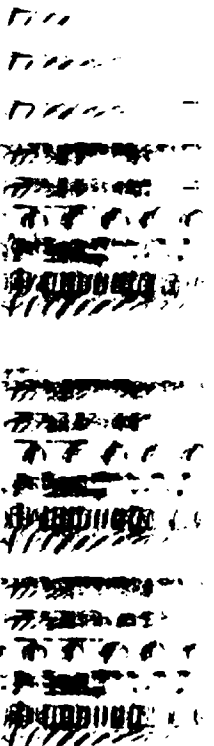
Например, в верхней части рис. 4.3 изображена система с конечным числом состояний, которая иллюстрирует описанное Хайнцем и Идсарди ограничение в языке навахо — звуки *s* и *ʃ* не могут следовать друг за другом. Для большей наглядности символом *V* обозначается любой гласный, а символом *C* — любой нешумный переднеязычный согласный (то есть не *s* и не *ʃ*). В том, что

эта система иллюстрирует интересующее нас ограничение, можно без труда убедиться на примере последовательности *dasdoliʃ*, которая не отвечает требованиям языка навахо (поскольку нарушает условие, что после *s* не может стоять *ʃ*), и последовательности *dasdolis*, которая представляет собой реальное слово языка навахо. Автомат отбракует первую последовательность и примет вторую. Мы не будем углубляться в подробности, но если вас заинтересовал этот пример, читайте примечание⁵.

Еще важнее здесь то, что этот простой конечный автомат с тремя состояниями может обеспечить соблюдение условия гармонии согласных даже в том случае, когда между *s* и соответствующим ему *s* (или нарушающим ограничение *ʃ*) сколь угодно большое расстояние (речь о количестве символов). Автомату нужно помнить всего два момента: встречался ли уже в данном слове свистящий шумный (состояние 1) или шипящий шумный (состояние 2). Строго говоря, совокупность последовательностей (или язык), допускаемых данным конечным автоматом, представляет собой регулярный язык. Обратите внимание: хотя в состав таких языков могут входить сколь угодно длинные последовательности элементов, количество шаблонов в данных последовательностях строго ограничено и конечно, например, сочетание двух *s*, между которыми стоит один нешумный согласный, равнозначно сочетанию двух *s*, между которыми стоит тысяча согласных.



Мотив
Сигор
Нота



0,5 c

 **Рис. 4.3.** Конечный автомат для анализа фонетической системы человеческого языка и пения бенгальского вьюрка, иллюстрирующий их тесную взаимосвязь.

Сверху: диаграмма переходов (размеченный ориентированный граф), отражающая фонотактическое ограничение в грамматически корректных словах языка навахо, пример из работы Хайнца и Идсарди (2013). Ограничение исключает присутствие звука *s* в одном слове со звуком *ʃ*; допускаются только варианты *s... s* или *ʃ ... ʃ*. Переходы *V, C* обозначают любой гласный или согласный, кроме *s* или *ʃ*. Двойной окружностью обозначены конечные состояния. Анализ слова начинается с крайнего левого состояния: изучается каждый символ слова и проверяется, может ли слово достичь конечного состояния, не утратив ни одного символа.

Посередине: звуковая спектрограмма птичьего пения, отражающая многоуровневую структуру. Пение часто начинается с вводных нот, за которыми следует один или несколько «мотивов», представляющих собой повторяющуюся последовательность слогов. «Слог» — это непрерывный звук, который состоит из одного или нескольких соразмерных по времени и частоте отзвуков, носящих название «ноты».

Продолжительное воспроизведение нескольких мотивов называется «периодом песни». Отмеченные слоги *i, i... i* были выявлены человеком при помощи машины. *Снизу:* возможные варианты расположения нот или слогов в пении бенгальского вьюрка, представленные в виде конечного автомата. Переходы начинаются с крайнего левого состояния, обозначенного окружностью. Ориентированные дуги между состояниями размечены последовательностями нот. Пример взят из работы Бервика и соавторов (Berwick et al., 2011, Songs to syntax. Trends in Cognitive Sciences, 15 (3): 113–121).

С разрешения правообладателя (Elsevier Ltd)

Однако регулярность — далеко не исчерпывающая характеристика фонетических систем человеческого языка. Как подчеркивают Хайнц и Идсарди, «хотя регулярность, возможно, является *обязательным* свойством фонологических обобщений, одной регулярности, безусловно, *недостаточно*» (Heinz and Idsardi, 2013: 115). Иными словами, фонетические системы человеческого языка (и других животных) более точно можно описать как *строгое* подмножество регулярных языков, то есть как ограниченное подмножество из всего класса конечных автоматов. Подходит далеко не всякий конечный автомат; то же, насколько нам известно, относится и к птичьему пению. На рис. 4.3 (посередине) показана реальная спектрограмма пения бенгальского вьюрка, а ниже представлен соответствующий конечный автомат, описывающий данную песню, где буквами *a, b... j* обозначены ее фрагменты, отмеченные на спектрограмме.

Какие дополнительные условия необходимы, чтобы выделить класс *естественных* фонотактических ограничений? Определенные условия *локализации*: контексты, описывающие возможные шаблоны, находятся в жестких рамках, о которых мы сейчас поговорим. Конечные автоматы для фонотактических ограничений, подчиняющихся условиям локализации, предположительно относятся к одному из двух собственных подмножеств регулярных языков: либо к (1) *строغو k-локализационным* регулярным языкам, либо к (2) *строغو k-фрагментарным* регулярным языкам (Heinz and Idsardi, 2013). Такие кон-

текстуально ограниченные регулярные языки описывают шаблоны, которые представляют собой либо (1) определенные непрерывные подпоследовательности, не превышающие некую фиксированную длину k (как в примере с английским языком, в котором допустимы двухзвенные элементы, такие как pl , но недопустимы такие варианты, как pt , поэтому тут $k = 2$), либо (2) подпоследовательности, не обязательно непрерывные, не превышающие некую фиксированную, ограниченную длину k (как в примере с языком навахо, в котором допускается подпоследовательность из двух элементов $s... s$, но недопустима подпоследовательность $s... j$, тут опять же $k = 2$). В общих словах оба ограничения действуют по принципу «ограниченного контекста» либо прямо в самой цепочке, либо применительно к элементам, которые должны «удерживаться в памяти».

Подобное ограничение существует и в синтаксисе. Зависимости, возникающие в результате внутренней операции соединения, неограниченны, как в следующем предложении: *How many cars did you tell your friends that they should tell their friends... that they should tell the mechanics to fix (x many cars)* (букв.: «Сколько машин ты сказал своим друзьям, чтобы они сказали своим друзьям... чтобы они сказали механикам починить (x машин)»). Здесь (x many cars) — это устраненный при экстернализации повтор. На пропущенный текст, обозначенный многоточием (...), не накладываются никакие ограничения (и разумеется, тут возможно бесчисленное множество

замен). Однако многие источники указывают на то, что зависимость формируется поэтапно: операция внутреннего соединения (Internal Merge) пересекает границу каждого придаточного, если ей ничто не препятствует, например другое вопросительное слово. Так что с приведенным выше предложением все в порядке, чего нельзя сказать о следующем (пусть и похожем на него) предложении: *How many cars did you tell your friends why they should tell their friends... that they should tell the mechanics to fix (x many cars)* (букв.: «Про сколько машин ты сказал своим друзьям, почему они должны сказать своим друзьям... чтобы они сказали механикам починить (x машин)). В этом случае слово *why* явно блокирует процесс соединения.

Это сходство вовсе не случайно. Оно иллюстрирует то же самое ограничение на минимальный поиск, которое действует в двух разных плоскостях: в линейной и в иерархической структуре.

Мы не станем здесь подробно рассматривать этот вопрос, но остановимся на выводах, которые будут общими и для лингвистики, и для когнитивистики. Как строго локализационные, так и строго фрагментарные регулярные языки можно представить в виде поддающегося вычислению количества допустимых примеров (Heinz, 2010). Примечательно, что эти два ограничения локализации исключают множество явно «неестественных» фонотактических правил, например, что каждый пятый звук в языке должен быть согласным определенного типа

(так называемый «считающий» язык). «Считающие» языки не являются естественными языками.

По всей видимости, ограничения, подобные фоно-тактическим, встречаются также в пении птиц. Окано́йа (2004) обнаружил, что для пения бенгальского вьюрка характерно то же самое ограничение, вариант которого Бервик и Пилато назвали k -реверсивными конечными языками (где $k = 2$), представляющими собой тесно связанное и легко вычленимое подмножество регулярных языков. Далее мы поговорим об этом немного подробнее.

Подобные ограничения локализации сыграли свою роль в формировании доказательств изучаемости в других вариантах трансформационно-порождающей грамматики. Среди известных нам исследований в этой сфере можно назвать демонстрацию Векселера и Куликова (1980) и их так называемую теорию 2-й степени выучиваемости (Degree 2 learnability theory), в основу которой положена идея ограниченной степени ошибочности. Векслер и Куликов на простых допустимых примерах ограниченной глубины иерархии доказывают, что теория трансформационно-порождающей грамматики 1970-х годов была выучиваемой. В ходе дальнейшей работы Бервик (1982, 1985) таким же способом (на простых, иерархически ограниченных, допустимых примерах с использованием парсера для трансформационной грамматики) доказал выучиваемость теории управления и связывания 1980-х годов. Оба этих подхода использовали

идею «ограниченного иерархического контекста», чтобы обозначить область, в рамках которой изучающий мог предполагать (возможно, неверные) правила. Сузив границы этой области, можно гарантировать, что спустя некое (небесконечное) количество неудачных попыток изучающий найдет верное предположение, ведь число выявляемых ошибок и/или верных предположений ограничено. (Используя современную терминологию в сфере машинного обучения, мы бы сказали, что ограничения Векслера — Куликовера и Бервика сокращают VC-размерность (размерность Вапника — Червоненкиса) пространства возможных грамматик/языков с бесконечного до ограниченного (небольшого) значения, тем самым обеспечивая выучиваемость.) Результаты предварительного исследования позволяют предположить, что аналогичные ограничения локализации могут сыграть роль в формировании изучаемости грамматических теорий типа Merge.

В любом случае ограниченный локальный контекст предоставляет как минимум одну четкую и информативную частичную характеристику естественных ограничений фонетических систем, которые и люди, и птицы используют при экстернализации. Хотя мы точно не знаем, каким образом конечные автоматы могут реально функционировать в мозге, предположения на этот счет появились еще в 1956 году, когда вышла статья Стивена Кляни *Representation of Events in Nerve Nets and Finite Automata* (Kleene, 1956).

А как же вычисление иерархической структуры? На протяжении 60 лет мы видим, что конечным автоматам это недоступно. Обратите внимание, что формально алгебра, лежащая в основе языков, определяемых конечными автоматами, должна учитывать ассоциативность при конкатенации строк. Из этого следует, что подобные системы непригодны для описания иерархической синтаксической структуры. Чтобы понять причину, рассмотрим всего три символа: c , a и t . Пусть значком $^{\circ}$ обозначается конкатенация строк, а для удобства восприятия разметим порядок конкатенации с помощью скобок. Допустим, что конечный автомат принимает строку *cat* («кот»). Это означает, что если c сначала конкатенируется с a , а затем результат $c^{\circ}a$ конкатенируется с t , то получившаяся строка *cat* (то есть $(c^{\circ}a)^{\circ}t$) должна приниматься конечным автоматом. В соответствии со свойством ассоциативности также верно, что если a сначала конкатенируется с t (результат $a^{\circ}t$), а затем c конкатенируется с итогом предыдущей операции $(c^{\circ}(a^{\circ}t))$, то опять получается та же самая строка *cat*, которая тоже должна приниматься автоматом. Все, что мы сделали до этого момента, — заново сформулировали определение ассоциативности. Теперь переходим к самому интересному. Если все, чем мы располагаем, — это линейная конкатенация и ассоциативность, то такая последовательность слов, как *deep blue sky* («темное синее небо» / «темно-синее небо») не поддается интерпретации (истолкованию), поскольку ее структура

допускает двусмысленность: сравните (*deep blue*) *sky* и *deep (blue sky)*. Два разных композиционных порядка абсолютно равнозначны с точки зрения ассоциативной конкатенации строк. Но если мы не можем провести границу между разными композиционными порядками, то мы не сможем понять и различие между двумя отдельными структурами с двумя разными значениями. Здесь мы видим отсутствие сильной порождающей способности, то есть описательной адекватности, поскольку очевидна невозможность породить в сильном смысле правильное множество структурных описаний. Впервые об этом написал Хомский (1956), раскрывая причины, по которым конечные автоматы не способны описывать языковые знания⁶.

В рамках формального подхода вычислительный механизм, который требуется иерархической структуре, был хорошо изучен со времен публикации этой работы Хомского (1956). Нам известны минимальные требования, необходимые для построения иерархической структуры. Вспомните, что в случае соединения двух синтаксических объектов X и Y логически возможны только два варианта: либо X и Y не связаны друг с другом, либо один из объектов является частью второго. (Мы исключаем вариант, при котором X и Y идентичны.) Если X и Y — отдельные синтаксические объекты, применяется операция наружного соединения (*External Merge*). Как продемонстрировали Бервик и Эпштейн (1993), эту операцию можно в общих чертах симитировать с по-

мощью правил контекстно-свободной грамматики, или, как изначально назвал ее Хомский, грамматики типа 2. Но, как и в случае с регулярными языками и отражающими их грамматиками или автоматами, недостаточно просто сказать, что язык является контекстно-свободным или что его грамматика является контекстно-свободной. Дело в том, что большинство КС-грамматик не описывают языковые знания, и, что еще важнее, — КС-грамматики в принципе не могут хорошо описывать языковые знания. На этот факт указал Хомский в 1957 году и вновь подчеркнул его в 1965-м, также об этом говорили и другие исследователи, о которых мы кратко расскажем дальше.

Если один синтаксический объект является частью другого, мы имеем дело с операцией внутреннего соединения (Internal Merge). Поэтому нужно выяснить, какая вычислительная мощность требуется во всех случаях. Одна из надстроек, способных как минимум воссоздать возможные предложения и их структуры, называется множественной контекстно-свободной грамматикой (MCFG) и описана Стэблером (Stabler, 2011). Здесь мы не будем рассматривать такие грамматики во всех подробностях; нас интересует только их формализм, с помощью которого мы сможем показать, что вопреки бытующему мнению для таких систем можно беспрепятственно создавать эффективные парсеры, а также формальным или вычислительным путем моделировать теории, в основе которых лежит операция соединения.

Насколько мы можем судить, все современные лингвистические теории (HPSG-грамматика, лексико-функциональная грамматика, грамматика сложения деревьев, комбинаторная категориальная грамматика и минималистические системы), включающие в себя один и тот же обширный список эмпирических примеров, со строго вычислительной точки зрения расположены примерно на одном уровне⁷. (Однако они отличаются с эмпирической и других точек зрения.)

MCFG-грамматика представляет собой надстройку над обычной контекстно-свободной грамматикой. Она добавляет переменные в нетерминальные имена в левой и правой частях правила. Эти переменные могут приравниваться к терминальным цепочкам, и мы можем использовать их как своего рода указатель скопированных синтаксических объектов в рамках операции соединения. Иначе говоря, вместо того, чтобы использовать правило в таком виде: $VP \rightarrow \text{verb } NP$, мы дополняем символы VP и NP переменными и получаем $VP(x) \rightarrow \text{verb } NP(x)$, где у x есть некое значение, например строковое значение, такое как *what*. Именно эта дополнительная мощность позволяет нам в ряде случаев имитировать действие операции соединения⁸.

Приведем наглядный пример. Если у нас есть синтаксический объект (точнее, состоящий из набора элементов синтаксический объект, соответствующий этой цепочке слов), такой как *did John guess what*, мы можем применить внутреннее соединение (Internal Merge) к элементам

$X = \text{did John guess what}$ и $Y = \text{what}$, получив в результате синтаксический объект большего размера, чем обычно. Назовем это группой комплементатора (CP) и отнесем сюда слова *what did John guess what*. Мы можем имитировать эту операцию в MCFG-грамматике, расширив правило обычной КС-грамматики и дополнив CP таким образом (детали опустим), чтобы за комплементатором следовала финитная группа (IP): $CP \rightarrow C IP$. Получившееся в итоге дополнение MCFG-грамматики можно записать следующим образом: $CP (ux) \rightarrow C IP(x, y)$. Мы разместили строковые переменные x, y в пределах нетерминальных имен CP и IP . Здесь ux обозначает конкатенацию x и y , а в IP содержатся две переменные, которые не соединены друг с другом. Если $x = \text{what}$ и $y = \text{did John eat what}$, то после конкатенации строка ux будет выглядеть как *what did John eat what*. Расширенные правила позволяют имитировать «копирование» результата операции внутреннего соединения (Internal Merge). (Мы опустили подробности, чтобы акцентировать внимание на главном. Заинтересованные читатели могут обратиться к следующим источникам: Kobele, 2006; Stabler, 2012; Graf, 2013.)

Нелишне в очередной раз подчеркнуть, что ни КС-грамматики, ни MCFG-грамматики не предоставляют верное описание человеческого языка. Подобно конеч-но-автоматным грамматикам или соответствующим им языкам, они запросто описывают множество языков и структур без всякой проверки. Что еще важнее, они не порождают верные структуры человеческих языков,

которые прошли проверку (та же проблема, что в случае с *deer blue sky*). Да, иногда им это удастся, но только путем нагромождения огромного количества дополнительных правил. Приведем пример.

Бервик (Berwick, 1982, 2015) и Стэблер (Stabler, 2011, 2012) демонстрируют, что для того, чтобы КС-грамматики или MCFG-грамматики должным образом воссоздавали характерные для английского языка шаблоны специального вопроса, приходится постфактум накладывать дополнительные ограничения, по сути, добавлять список всех исключенных фраз. Это приводит к тому, что объем КС-грамматик или MCFG-грамматик увеличивается в геометрической прогрессии, и свидетельствует о том, что данные системы просто перечисляют возможные варианты, а не определяют их самостоятельно, опираясь на четкие закономерности. Выведение общих закономерностей не должно представлять собой составление списка определенных типов фраз между вопросительным словом и объектом чтения, поскольку в целом для прошедшей через операцию внутреннего соединения (Internal Merge) фразы не играет роли, что находится между тем, с чего она начинается, и тем, чем она заканчивается. Исключение составляют только те случаи, когда дальнейший процесс внутреннего соединения блокируется неким элементом-помехой, как в приведенном ранее примере *mechanics-cars*. Другими словами, системам с таким нагромождением ограничений не хватает объяснительной адекватности, с точки зрения Хомского (1965), и они

являются слишком поверхностными, по мнению Бервика (1982, 1985).

Переход от обычного конечного автомата к автомату с магазинной памятью (МП-автомату) и далее к расширенному МП-автомату напоминает цикл эволюционного развития. Исходя из этого, можно было бы предположить наличие тут эволюционной подоплеки, но мы считаем, что это иллюзия. И мы не должны поддаваться ей. Сразу же всплывают образы средневековой «великой цепи бытия», где нижний уровень развития занимают амебы (конечные автоматы), приматы карабкаются по магазинной памяти, и, наконец, сквозь тернии к звездам еще один скачок — и мы достигнем контекстной зависимости. Именно этот вариант и предлагают некоторые исследователи, например Стивман (2014); об этом мы еще поговорим в примечании 9. Но этот образ легко разрушается, попав в ловушку машины Тьюринга, на что указывают Галлисел и Кинг (2009). Создается впечатление, что насекомым, например возвращающимся с едой муравьям, для навигации необходима способность «считывать» и «записывать» информацию в простые клетки памяти, действующие по принципу ленты. Но ведь это, по сути, и есть машина Тьюринга. Если это так, то муравьи уже забрались на вершину «великой цепи бытия». Загадка заключается в том, что муравьи, в отличие от людей, явно не строят произвольных сложных иерархических выражений⁹.

Обобщая все вышесказанное, мы можем провести очень четкую границу между нами и другими животными: мы,

в отличие от всех остальных животных, используем операцию соединения и в результате можем создавать безграничное множество иерархически структурированных выражений, обладающих универсальным свойством перемещения, строящихся на основе ментальных словоподобных элементов-атомов и имеющих определенные толкования на каждой стадии порождения. Мы также описали, правда, на абстрактном уровне вычислительный механизм, необходимый для обработки подобных выражений. Как и многие другие исследователи, мы считаем, что этот процесс осуществляется с помощью перемаршрутизированной коры головного мозга, хотя есть еще о чем поразмышлять на этот счет (об этом поговорим далее в этой главе).

Все это можно считать ответом на вопрос, который Дэвид Марр (Marr, 1982) назвал первым уровнем анализа в любой системе обработки информации: какая проблема сейчас решается? Как вычисляется базовое свойство? Как система языка формирует произвольные иерархические выражения? Сверху еще накладываются вопросы, связанные с двумя другими уровнями — уровнем алгоритмов и уровнем реализаций (воплощений). Как эти вопросы можно рассмотреть в контексте уровней Марра?

Трудность представляет огромное количество алгоритмов и воплощений. Это проблема. Всех наших знаний о когнитивных способностях человека остро не хватает для того, чтобы сделать выбор (это касается любых умо-

заключений относительно эволюции). Как бы банально это ни звучало, мы скажем, что порождаемые разумом слова тесно связаны с базовым свойством.

Это немного приоткрывает завесу над тем, что мы можем обнаружить в мозге (об этом поговорим в конце данной главы).

Продолжая говорить об алгоритмах и воплощениях, вспомним цитату Ричарда Фейнмана (Feynman, 1959): «Внизу полным-полно места». Полно места не только внизу, места хватает и посередине, и в пентхаусах. «Внизу» располагаются такие миры, которые не снились ни одной нейрофизиологической теории. Применительно к связям внутри головного мозга используются только самые пространные термины, такие как «рабочая память», «разреженное кодирование», «спайковые цепочки», «популяционное кодирование» и др. Вряд ли эти термины охватывают все возможности, которые известны разработчикам реальных вычислительных систем. Немногочисленным систематическим знаниям в области проектирования абстрактных схем (от потоковой архитектуры до разработки конвейерных процессоров и способов асинхронной обработки) еще предстоит закрепиться в сфере когнитивного моделирования. Достаточно один раз взглянуть на типичную книгу по архитектуре ЭВМ (например, книгу Хеннеси и Паттерсона (Hennessy and Patterson, 2011)), чтобы понять, насколько велик объем идей. Почти 40 лет назад один из нас (Бервик) обратил внимание, что даже самый крошечный

толчок — появление мельчайшей толики параллелизма в одной инструкции — способен привести все те лингвистические теории, которые считались в корне различными, к общему психолингвистическому основанию.

Рассмотрим только алгоритмический уровень, отложив пока весь широкий спектр возможных способов реализации данного алгоритма. Возьмем простейший алгоритм для вычисления простых иерархических выражений. В стандартном учебнике по синтаксическому анализу контекстно-свободных грамматик описывается несколько различных подходов. Первый порыв — использовать какую-нибудь магазинную память, как предписывает шаблонная теория формальных языков. Однако в главе 1 уже говорилось о том, что реализация магазинной памяти — это все еще довольно проблематичная задача, когда речь идет о биоэнергетически реалистичных системах.

В учебниках по синтаксическому анализу естественных языков представлена подробная информация о том, как это сделать. Вероятно, наиболее распространенные алгоритмы для контекстно-свободных вычислений обычно вообще не используют магазинную память. Эти методы, например алгоритм Кока — Янгера — Касами (1967) или алгоритм Эрли (1970), могут косвенным путем предоставлять ту же самую информацию, что и магазинная память.

Как они работают? Получив предложение длиной n слов, эти методы обычно строят нечто наподобие верх-

ней половины массива размерностью $n \times n$ (двумерной матрицы) и шаг за шагом заполняют ее, помещая элементы с меткой «соединенные» в определенные клетки (в соответствии с метками). Например, для предложения *John read books* матрица будет примерно 3×3 клетки, а метка результата соединения элементов *read* и *books* в матрице будет занимать клетку (2, 3). В традиционной контекстно-свободной грамматике для соответствующих меток приняты определенные обозначения: если существует правило, в соответствии с которым в результате соединения глагола и именной группы получается глагольная группа, то, как мы наблюдали ранее, ставится метка *VP* — и мы помещаем ее в клетку (2, 3). Все это вполне допустимо даже на нижнем нейронном уровне, где клетки матрицы можно рассматривать как области памяти. (Ниже мы объясним, что они не требуют «адресации», в отличие от компьютеров¹⁰.)

Какое же место в этой картине занимает магазинная память? Столбцы в матрицах косвенно выполняют функцию магазинной памяти. Отсутствие «явной» магазинной памяти не должно вызывать удивление. Вспомните машину Тьюринга, которая все же должна выполнять хоть какие-то вычисления. Машина Тьюринга также не располагает магазинной памятью, поэтому ее приходится «имитировать», что часто вызывает огромные сложности, знакомые любому студенту, предпринявшему попытку «программирования» машины Тьюринга. Дополнительные сведения о MCFG-грамматиках, а также об операциях внутреннего

и наружного соединения описаны в следующих источниках: Kobele, 2006; Kallmeyer, 2010.

По сути, лишь немногие алгоритмы синтаксического анализа реально создают деревья синтаксического анализа. Часто деревья лишь подразумеваются, поскольку на их построение приходится впустую тратить драгоценные вычислительные ресурсы. Вместо этого любую семантическую интерпретацию можно вывести процессуально, исходя из порядка выполнения операций соединения. Как и в случае с магазинной памятью, фактическое отсутствие древовидных структур в языковых вычислениях сбивает с толку некоторых ученых-когнитивистов, которые настаивают на том, что деревья (графы) необходимы и, следовательно, являются неотъемлемым элементом наглядного представления в ментальной/когнитивной лингвистике. В то же время ряд лингвистов полагают, что от древовидной структуры надо отказаться как от нереалистичной с когнитивной точки зрения. Это вдвойне неверно. Лингвистическая теория никогда не налагала подобного ограничения, даже наоборот. Как подробно излагает лингвист Говард Ласник (Lasnik, 2000), изображения и схемы в первоначальных описаниях основных постулатов трансформационной грамматики были теоретико-множественными, а не теоретико-графическими: деревья нужны просто для наглядности. Вспомним, что базовое свойство также связано с построением множеств.

Наглядные представления, опирающиеся на множества, вполне совместимы с концепциями архитектуры нейрон-

ных сетей, в которых присутствует понятие так называемой ассоциативной памяти. Ее время от времени называют более вероятной формой устройства человеческой памяти, нежели обычная адресация, применяемая в традиционной компьютерной архитектуре. В обычном компьютере адреса выглядят как номера домов на улице: дом № 114 легко найти потому, что он расположен после № 112, или потому, что вы узнали номер по адресной книге. Система ассоциативной памяти строится на характеристиках самих домов: серый современный двухуровневый дом с черепичной крышей у пруда. Поиск осуществляется путем сопоставления признаков.

Все это вам знакомо. Безусловно, эта картина известна современным психологам, занимающимся проблемой понимания предложений (см. работу Ван Дейка и Джонса (Van Dyke and Johns, 2012)). Но она также согласуется с подходами, рассматривающими операцию соединения. Как это? Вспомним, что ключевая структура в центре операции соединения — это два синтаксических объекта плюс метка. Сама по себе метка обладает набором признаков, очерчивающих поле для поиска; у синтаксических объектов также есть отмеченные признаки, которые определяются признаками словоподобных атомов. На первый взгляд может показаться, что это нагромождение признаков способно вызвать путаницу, однако это не так. На самом деле в конце 1960-х и в 1970-х годах ассоциативная память широко применялась для иерархической декомпозиции наглядных представлений (например,

см. подробную известную работу о квадродеревьях Азриэля Розенфельда (Azriel Rosenfeld) и Гарри Самета (Harry Samet) из Мэрилендского университета (Rosenfeld, 1982; Samet and Rosenfeld, 1980)). Розенфельд продемонстрировал, что ассоциативная память представляет собой простую, естественную и действенную реализацию иерархической структуры.

Мы не будем вдаваться в детали, отметим лишь, что тут снова возникает впечатление, что иерархическую структуру не так уж просто реализовать через ассоциативную, более «похожую на головной мозг», систему памяти. Однако стандартная теория вычислительных систем подтверждает, что это неверно. Тогда почему этот тип памяти не получил распространения? Все дело в экономике. Одна из причин, по которым ассоциативная память потерпела фиаско пару десятилетий назад, заключалась в цене. Ее несостоятельность крылась не в самой идее, а в неконкурентоспособности. Большие интегральные схемы со стандартной адресацией были дешевле. Но эпоха ассоциативной памяти может вернуться. Ученые-когнитивисты, которые хотят получить широкий спектр возможных «воплощений», совместимых даже с обычными современными компьютерами, будут внимательно изучать историю¹¹ архитектуры с использованием ассоциативной памяти.

Кроме того, порядок выполнения этих алгоритмов довольно свободный. Уже давно известно, что с помощью методов динамического программирования и «запоми-

нения» промежуточных результатов можно модифицировать алгоритм Кока — Янгера — Касами или алгоритм Эрли так, чтобы изменилась последовательность команд (которые выполняются строго сверху вниз, снизу вверх или практически любым другим логически допустимым образом). Данные методы не диктуют конкретного порядка заполнения клеток. Это хорошо известно сообществу ученых, рассматривающих «синтаксический анализ как дедукцию».

Даже спустя 30 лет нашей работы каждый год появляются новые результаты, демонстрирующие, как можно модифицировать шаблоны вычислений, чтобы они лучше соответствовали способу обработки данных людьми. Эта сфера открыта для исследований. Шулер и соавторы (Schuler et al., 2010) описали метод, которому уже 25 лет. Он позволяет обойти ветвящуюся структуру языка, чтобы обеспечить такую обработку предложений, при которой память не будет избыточно загружаться. Что-то подобное впервые предложил Стэблер (Stabler) в 1991 году. Он продемонстрировал, что следующие предпосылки никак не противоречат друг другу: 1) поэтапное понимание, интерпретация слов предложения в порядке поступления; 2) синтаксическая структура с ветвлением в правую сторону; 3) непосредственное применение «компетентного подхода к грамматике». Хотя некоторые предпочитают исключать предпосылки 2 и/или 3, Стэблер показывает, что, если этапы сместятся, все предпосылки легко займут свое место. Ученый отмечает, что можно

приступить к конструированию и интерпретации соединенных элементов еще до того, как они будут *полностью* сконструированы, ведь вы можете во время обеда начать подавать блюда еще до того, как все будет готово: «Можно положить салат в тарелку до того, как будет готов стейк» (1991: 201).

Чтобы описать все тонкости работы с алгоритмами, нужно посвятить этому отдельную книгу. Мы не ставили задачу написать книгу об обработке естественного языка. Мы просто хотим показать, что существует много различных видов алгоритмов, каждый из которых по-разному проявляет себя в психолингвистическом и эволюционном аспектах (если предположить, что эффективность синтаксического анализа каким-либо образом сказывается на эволюционном успехе).

И все же мы еще не закончили. Все описанные ранее возможности так или иначе вертятся вокруг последовательных вычислений. Существует похожий набор параллельных алгоритмов для синтаксического анализа языка, которые также могут оказывать влияние на эволюцию. Мы обрисуем здесь один основной метод — реализацию для схем со сверхвысокой степенью интеграции (Koulouris et al., 1998). Это матричный метод, процессорная версия алгоритма Эрли. Матрицы допускают применение простых форм параллельных вычислений, поскольку мы можем заполнять некоторые элементы одновременно, преобразовывая столбцы параллельно. В таком примере, как *the guy read books*, добавление метки и операция соедине-

ния для *read books* могут происходить одновременно с этими же операциями для *the guy*. У нас нет возможности подробно расписывать, как координировать подобные вычисления: способы зависят от различных видов параллельных компьютерных архитектур, как крупномодульных (когда взаимосвязанные модули велики), так и мелкомодульных (когда модули малы). Крупномодульный и мелкомодульный параллелизм хотя бы отчасти представлен в старой версии трансформационной грамматики — теории принципов и параметров (Fong, 1991). Нетрудно увидеть, что здесь работает крупномодульный параллелизм: в теории принципов и параметров насчитывалось около 20 с лишним модулей (падежная теория, принцип пустой категории, X-штрих-теория, теория связывания...), которые поделили между собой все возможные структуры предложений. Некоторые из них могут быть автономными, а другие, например теория связывания, о которой мы рассказывали на примере предложений с именем *Max*, опираются на предварительное вычисление структурных схем. Фонг изучил, какие из них могут быть сопрограммными (функционировать в связке друг с другом), а какие — автономными. Опять же, чтобы понять, какие моменты действительно могут иметь значение, необходимо провести подробный анализ столь сложного переплетения в рамках масштабной грамматической теории. Нам неизвестно о каких-либо серьезных попытках реализовать параллельный анализатор для более современных систем, в основе которых находится соединение.

А что можно сказать о третьем уровне в теории Марра — реализации? Тут мы снова сталкиваемся с огромным количеством вариантов. Читатели, которые хотят подробнее изучить этот вопрос в контексте единственного алгоритма для синтаксического анализа КС-грамматик и с отсылками к минималистской программе, могут изучить работу Грэхема, Харрисона и Руццо (Graham, Harrison and Ruzzo, 1980). В ней говорится о том, что методы наподобие алгоритма Кока — Янгера — Касами предлагают десятки способов реализации в зависимости от того, как именно компьютерная архитектура хранит списки в памяти, создает цепочки правил и т. п. Мы не располагаем достаточным объемом знаний, чтобы хотя бы обозначить возможные классы эквивалентности, поскольку все они могут совершенно по-разному сказываться на вычислительной мощности. Как бы то ни было, ясно, что проблемы Фейнмана и Галлистела по-прежнему актуальны.

Кто?

Мы знаем, что животные (отличные от человека) прекрасно справляются со многими трудными когнитивными задачами. Врановые — семейство птиц, к которому относятся вороны, — очень разумны. Они могут изготавливать орудия труда, обладают прекрасным пространственным и причинно-следственным мышлением, запоминают местонахождение припрятанной пищи. Западная

кустарниковая сойка может опустить прутик с привязанным к нему маленьким камешком в расщелину, чтобы приманить муравьев.

Хотя некоторые птицы (например, перепелки и курицы) не поют, певчие птицы обладают отличными вокальными способностями и могут воспроизводить весьма сложные звуки. Самцы певчих птиц обучают птенцов. Птенцы должны выучить песню, иногда с небольшими видоизменениями, позволяющими с помощью пения заявлять свои права на территорию или сообщать о своей готовности к размножению. Как и у людей, у птиц за эти функции отвечает левое полушарие мозга. Как и у людей, у птиц эта функциональная специализация левого полушария формируется постепенно, поэтому выделяется критически важный период обучения, который под влиянием тестостерона прерывается с началом полового созревания.

Принимая во внимание такое количество сходств, не приходится удивляться, что еще со времен Аристотеля (а может, и раньше) людей интересовал вопрос, является ли пение птиц моделью человеческого языка. Однако, резюмируя все наши знания на сегодняшний день, пение птиц можно назвать в лучшем случае моделью речи, но никак не языка. Бервик и соавторы (Berwick et al., 2011: 2) отмечают: «Большинство синтаксических особенностей человеческого языка отсутствует в птичьем пении. Единственное исключение составляют особенности фонетической системы человеческого языка». Верность

данного утверждения становится очевидной при любом формальном анализе птичьего пения и его сходств (различий) с человеческим языком (в таблице 1 в вышеуказанном источнике представлены краткие сведения). Из 16 ключевых особенностей синтаксиса человеческого языка только две нашли отражение в птичьем пении: зависимость от соседства и разбиение на блоки.

Мы можем подвести краткий итог: как в пении птиц, так и в экстернализационной фонетической системе человеческих языков существуют отношения предшествования, которые можно описать с помощью конечных автоматов. Все остальные ключевые свойства синтаксического строя человеческого языка в птичьем пении отсутствуют. В нем нет ни взаимозависимости несмежных элементов, ни иерархической структуры, ни зависимости структуры от синтаксических правил, ни очевидного «замещения» фраз копиями.

Как мы видели в предыдущем разделе, системы с конечным числом состояний, описывающие птичье пение, напоминают фонотактические ограничения человеческого языка, только с еще большим числом ограничений. Пение некоторых видов птиц, например бенгальского вьюрка (лат. *Lonchura striata domestica*), наиболее сложное из всех зафиксированных. Чтобы провести анализ пения бенгальского вьюрка, необходимо записать все возможные последовательности нот, которые способна воспроизвести птица. Вспомним рис. 4.3 (посередине), на котором фрагмент пения бенгальского вьюрка изображен в виде

спектрограммы, разбитой исследователем на слоги, размеченные буквами *a, b, c, d, e* и так далее до буквы *j*. В нижней части рис. 4.3 показан соответствующий линейный граф переходов, который нужен для того, чтобы зафиксировать все возможные последовательности слогов, воспроизводимые птицей. Отдельные буквы, такие как *a, b* и *c*, соответствуют тем же меткам в спектрограмме.

В подобном конечном автомате даже очень длинные песни предстают в однообразном цикличном виде, то есть в гораздо более простой форме, чем человеческий язык. И даже в этом случае до конца неясно, действительно ли птицы «бесконечно используют конечные средства», поскольку неопределенное число повторений может во все не играть никакой роли в этологическом контексте пения. (Раз существует множество случаев, когда повторение никак не свидетельствует о физическом здоровье особи, неясно, будет ли 71-е повторение чем-то отличаться от 70 повторений.) Эти повторы проще, чем в синтаксисе человеческого языка. Фонетические системы человеческих языков, например навахо или турецкого, явно гораздо выразительнее, чем пение птиц: в них присутствует гармоническое согласование «отдаленных» звуков, например, когда определенный звук в начале слова должен сочетаться (гармонизировать) со звуком в конце независимо от количества разделяющих их звуков. Впрочем, недавно вышло новое исследование, подтверждающее наличие в птичьем пении последнего типа «гармонии» между отдаленными звуками, например в пении канарейки

(Markowitz et al., 2013). Если это верно, пение птиц все равно находится в рамках тех двух ограничений, которые описаны Хайнцем и Идсарди.

Мы уже несколько раз подчеркивали важный момент: пение птиц не может усложняться. Хотя в пении птиц происходит линейное соединение элементов в группы (чередование щебета и чирикания можно соединить в одну единицу восприятия или продукции, именуемую мотивом) и мотивы могут циклично повторяться, не бывает мотивов, которые включают в себя другие мотивы, например комбинации чирикания и трели, которая бы сама входила в мотив щебета¹².

Опираясь на работу Бервика и Пилато (Berwick, Pilato, 1987), Кацуо Оканойа (Okano, 2004) продемонстрировал, что пение птиц можно описать с помощью системы, которая доказывает, что взрослые особи способны эффективно «обучать» птенцов, используя песни-примеры, которые строятся по строго регламентированным шаблонам, известным нам под названием «ограниченный контекст». Такие системы называются k -реверсивными системами с конечным числом состояний, а получающиеся в результате цепочки песен — языками k -реверсивных систем с конечным числом состояний. Под k -реверсивностью подразумевается, что для того, чтобы сделать любой недетерминированный выбор в любом состоянии, необходимо посмотреть на локальный обратный направленный контекст k «слоговых блоков». Под эффективностью обучения подразумевается, что

птенцы должны учиться на эффективном в вычислительном отношении количестве примеров. Применительно к птичьему пению это условие помогает ответить на классический вопрос лингвистики: как достигается «знание языка» (в данном случае птичьего пения)? Если приведенные выше результаты верны, то для птичьего пения, вероятно, на этот вопрос можно ответить, сузив круг изучаемых языков. Птенцы, приступая к учебе, априори знают, что изучаемое пение относится к классу *k-реверсивных* языков. (В птиьем пении могут существовать и другие условия, помимо указанного, но этот вопрос еще не до конца изучен.)

Как наш взгляд на пение птиц и другие способности животных может повлиять на тот или иной сценарий эволюционного развития? Если животные могут делать практически все, что можем мы, то столь близкое сходство (если не считать единственного заметного различия — операции соединения) частично решает связанную с эволюцией языка дилемму Дарвина и Уоллеса. Так, Фитч (Fitch, 2010: 327–328) отмечает, что слуховая и голосовая система у приматов в целом «подготовлена к языку»:

«Нет убедительных примеров, демонстрирующих существование таких механизмов восприятия речи, которые ограничивались бы речевыми звуками и были бы уникальными для человека, поэтому можно смело предположить, что восприятие речи основывается на тех же механизмах восприятия и обработки, которые характерны и для животных. Существующие мелкие

различия, как представляется, не являются серьезным препятствием для восприятия звуков речи и не выражены в той степени, которая сделала бы их серьезной преградой на пути эволюции речи у ранних гоминидов... Я считаю, что слуховое восприятие у остальных млекопитающих отлично приспособлено к восприятию речи, а анатомическое строение голосового тракта у млекопитающих позволяет им издавать диапазон различных с точки зрения восприятия звуков, которого, безусловно, достаточно для базовой системы речевого общения».

Допустим, что эта «подготовленность к языку» (готовность к изучению и произнесению звуков) имеет место. Но если мозг приматов действительно настроен на восприятие фонетических и даже фонематических свойств языка, почему тогда обезьяны не слышат ничего, кроме шума, а человеческие младенцы извлекают из этого шума языковой материал? Мы сразу же получаем свидетельство некоего внутреннего процесса, который свойственен только человеческим младенцам и отсутствует у других приматов. Пока оставим эту загадку в стороне.

А что можно сказать об операции соединения в птичьем пении? Как уже упоминалось, у птиц одни мотивы не могут входить в состав других мотивов, иными словами, мотив щебета-чирикания не может входить в состав мотива с меткой «щебет». Кроме того, не существует убедительных доказательств того, что певчие птицы вообще могут научиться «распознавать» иерархичность

конструкций, полученных в результате операции соединения. Все попытки обучить птиц, чье пение отличается сложными мотивами (таких как бенгальский व्योरок или скворец обыкновенный), нелинейным или иерархическим шаблонам провалились, как описано в работе Бекерса, Болхиса и Бервика (Beckers, Bolhuis and Berwick, 2012). Обычно, чтобы натренировать птиц выполнять простые задания, связанные с любым «искусственным языком», необходимо несколько тысяч заходов с использованием стимула/вознаграждения. Разумеется, здесь речь не идет о какой-либо осмысленности и интенции, только об экстернализации, которая периферийна по отношению к языку.

Исключением из этой череды неудач — по крайней мере на первый взгляд — стала работа Эйба и Ватанабэ (Abe and Watanabe, 2011). Они модифицировали песню, которую бенгальский व्योरок реально использует для обучения, а потом тратили всего 60 минут на ознакомление с тестовыми языками. Птицам проигрывали нотные рисунки (шаблоны), входящие в состав других рисунков (шаблонов) в следующем виде: $A_2 A_1 C F_1 F_2$ или $A_2 A_3 C F_3 F_2$ и т. д. Целью было понять, смогут ли птицы отличить правильные «встроенные» предложения от неправильных. Индексы букв А и F указывают на то, что эти элементы должны согласовываться друг с другом в указанном порядке, а C — это нота, которая отмечает середину шаблона. Обратите внимание, что правильные шаблоны невозможно генерировать с помощью конечных

автоматов, если шаблон сколь угодно длинный. (Если шаблоны короткие, их можно запомнить.) Затем проверялось, смогут ли птицы заметить разницу между правильными шаблонами и неправильными, такими как $A_3 A_2 C F_2 F_4$. Эйб и Ватанабэ заявляют, что птицы успешно справились с этой задачей — они распознавали шаблон, скрывающийся за простой линейной связкой, видели иерархию.

Однако Эйб и Ватанабэ некорректно построили свой эксперимент. Оказалось, что птицы точно так же могли запоминать цепочки из пяти слогов, не производя никаких внутренних структурных вычислений. Этого достаточно, чтобы отличить верные нотные рисунки от неверных (см. работу Бекерса, Болхиса и Бервика (Beckers, Bolhuis and Berwick, 2012)). Чтобы исправить эту методологическую проблему, необходимо более тщательно подбирать материалы для эксперимента, но на текущий момент повторный опыт с учетом всех поправок еще не был проведен. Иначе говоря, на данный момент нет убедительных доказательств того, что в пении птиц за «экстернализацией» стоят какие-либо вычисления, которые можно было бы выразить средствами k -реверсивных систем с конечным числом состояний. А без этого птичье пение нельзя приравнивать к языку. Это первая часть ответа на вопрос «кто?» в нашем «детективе». Певчие птицы исключаются из списка подозреваемых.

А другие животные? Наши ближайшие из ныне живущих родственники — приматы — долго считались от-

личными кандидатами на эту роль. Однако, как ни странно, оказалось, что они находятся в той же ситуации, что и певчие птицы. Например, несколько раз предпринимались попытки обучить шимпанзе человеческому языку. Одна из них известна под названием «Проект Ним». Ученые из Колумбийского университета попытались обучить шимпанзе Нима американскому жестовому языку — и потерпели неудачу. Все полученные Нимом знания об амслене были результатом зазубривания коротких линейных цепочек знаков. Он так и не достиг умения строить многоуровневые, четко структурированные с точки зрения иерархии предложения, которые может строить любой ребенок уже в 3–4 года. (Скоро мы увидим, как это можно определить формалистически.) Если Ним хотел яблоко, он выбирал из своего набора жестов те, которые когда-либо ассоциировались с яблоком, и получалось «Ним яблоко», «яблоко Ним», «яблоко нож» и т. д. Как говорит Лора Энн Петитто (Laura Anne Petitto, 2005: 85), одна из исследователей, занимавшихся с Нимом, он «строил список продуктов» из тех «слов», которые были ему лучше всего известны. Ним не смог достичь того уровня владения синтаксическими конструкциями, который подвластен трехлетнему ребенку. Нет никаких признаков того, что он понимал иерархическую структуру.

Но оказалось, что с приобретенной Нимом «языковой компетенцией» дело обстоит еще хуже. Далее Петитто отмечает, что Ним вообще не понимал значений слов, он даже не знал, что значит «яблоко». В понимании Нима

«яблоко» — это тот объект, который имеет отношение к ножу в ящике, которым резали яблоко, к месту, откуда доставались яблоки, к человеку, который давал ему яблоко в прошлый раз, и т. д.

«Шимпанзе вообще не пользуется словами так, как это делаем мы... Хотя шимпанзе в условиях эксперимента можно путем тренировок обучить неким знакам для обозначения соответствующих предметов (например, использовать определенный жест, когда напротив лежит красное яблоко или зеленое яблоко), человеческие дети обучаются этому легко, без специальных тренировок... Шимпанзе, в отличие от людей, видимо, пользуются подобными знаками, опираясь на некий комплекс ассоциаций. Шимпанзе показывает тот же самый знак "яблоко" применительно к процессу поедания яблок, к месту хранения яблок, к действиям и упоминаниям объектов, не являющихся яблоками, но каким-то образом связанных с ними в памяти животного (нож, которым режут яблоки). И так далее — все одновременно, без видимого понимания различий между ними или желания понять, в чем эти различия заключаются. Даже первые слова маленького ребенка уже подчиняются неким ограничениям... Тем более удивительно, что у шимпанзе вообще нет "имен для предметов". У них есть только винегрет из пространственных ассоциаций без каких-либо описанных Хомским внутренних ограничений или категорий и правил, их упорядочивающих. В результате им остается неподвластен смысл слова "яблоко"» (Petitto, 2005: 85–87).

Если мы поразмыслим об этом, то поймем, что шимпанзе — отличный пример чисто «ассоцианистических обучающихся». Похоже, единственное, что им под силу, — это прямая связь между конкретным внешним стимулом и знаком. Сомнительно, чтобы они воспринимали яблоко, которое видят, с помощью мышления, как описано в главе 3. Скорее они накапливают список конкретных, не связанных с мышлением ассоциаций, которые в их сознании соотносят объекты внешнего мира с языком жестов. Это значительно отличается от языковой способности у человека: у шимпанзе отсутствуют и операция соединения, и словоподобные элементы, которые есть у людей. В таком случае мы также исключаем шимпанзе из списка подозреваемых в нашем «детективе».

Но как можно это проверить? До недавних пор это было не вполне ясно. Однако по счастливой случайности сохранились записи, как Ним пользуется американским жестовым языком (поскольку проект был запущен Национальным научным фондом, запись для архива стала необходимым условием получения гранта)¹³. Приблизительно два года назад Чарльз Йанг (Charles Yang) из Пенсильванского университета смог получить сохранившиеся данные и проанализировать их, опираясь на теоретико-информационный критерий. Он окончательно прояснил вопрос, овладел ли Ним синтаксическими правилами на уровне 2–3-летнего ребенка или же просто оперировал зазубренными списками слов (Yang, 2013).

В чем же заключался метод Йанга? Идея проста. Человеческий ребенок довольно быстро понимает, что можно объединять служебные слова, например *the* или *a* в английском языке, со знаменательными словами, такими как *apple* (яблоко) или *doggie* (песик). Поэтому ребенок может сказать *the apple*, *a doggie* либо *the doggie*. По сути, это самостоятельный выбор слов из двух отдельных категорий (именно так и должно все происходить, если дети придерживаются правила, гласящего, что двусоставная именная группа — это служебное слово, за которым ставится знаменательное слово). В этой ситуации в речи будет наблюдаться множество различных комбинаций слов, поскольку выбор из этих двух категорий распространяется на все известные ребенку слова (с поправкой на частоту их использования). Если же дети, напротив, просто запоминают шаблоны (блоки) из двух слов, то в этом случае о свободном выборе служебных и знаменательных слов речь не идет (два слова будут зависеть друг от друга → новых комбинаций слов будет гораздо меньше → разнообразия будет меньше). Теперь у нас есть способ проверить, придерживаются дети правила или просто запоминают: если предложения отличаются большим разнообразием, это говорит о том, что дети следуют правилу, а если нет — значит, они запоминают комбинации.

Теперь можно взглянуть на стенограммы реальных разговоров детей со взрослыми и посчитать количество двухсловных сочетаний, а затем сравнить результат с дву-

составными жестами Нима. Кто придерживается правила, а кто просто запоминает?

Чтобы определить различие в степени разнообразия, Йанг спрогнозировал ожидаемое количество двухсловных конструкций, образованных с использованием правила, и сравнил его с реальными данными о подобных конструкциях у детей и у Нима. Если дети или Ним руководствуются правилами, можно ожидать, что реальное количество будет приблизительно равно прогнозируемому, поэтому результаты будут расположены на прямой с углом наклона 45 градусов, выходящей из точки начала координат. Именно так и было в случае с 2–3-летними детьми, а также с детьми старшего возраста. То же самое касалось и стандартных языковых корпусов взрослых людей, таких как Брауновский корпус. Дети оправдывали прогнозы с коэффициентом корреляции 0,997. Двухсловные конструкции из жестов, применяемые Нимом, напротив, располагались гораздо ниже прямой с углом наклона 45 градусов, что свидетельствовало о более низкой степени разнообразия. В свою очередь, низкая степень разнообразия — это сигнал о том, что Ним запоминал комбинации. Так что Петитто была права: Ним просто повторял списки слов. По нашему мнению, это ставит крест на изучении языка шимпанзе. У шимпанзе просто нет языка в том виде, в котором он есть у людей, с какой стороны ни посмотри. Можно смело вычеркивать шимпанзе из списка подозреваемых, невзирая на их явно высокие способности к познанию.

Где и когда?

Если базовое свойство действительно базовое, где и когда оно возникло? Как рассказывается в главе 3, появление осмысленных словоподобных элементов остается загадкой для всех, включая нас. Бикертон (Bickerton, 2014), автор недавно вышедшей книги по эволюции языка, также разводит руками. Нетрудно предположить, что хотя бы часть этих элементов появилась до возникновения операции соединения, поскольку в ином случае операции соединения нечего было бы соединять. Хотя проверить это предположение невозможно. (В главе 1 рассказывается об альтернативном варианте, предложенном Бервиком в 2011 году.) Также сложно ответить на вопрос, как именно появилась сама операция соединения; об этом пишет Левонтин (Lewontin, 1998). У нас есть только косвенные языковые свидетельства, а все археологические данные строятся преимущественно на умозакключениях. В одном учебнике приводится следующая формула для определения поведенческой современности: «пять поведенческих *B*: *blades* (“клинок”), *beads* (“бусы”), *burials* (“захоронение”), *bone tool-making* (“изготовление костяных орудий труда”) и *beauty* (“красота”)» (Jobling et al., 2014: 344).

Если использование символов рассматривать как замену языку, то артефакты, найденные в южноафриканской пещере Бломбос (куски охры с геометрическим орнаментом и бусы), вполне могут выступать источни-

ком информации о времени и месте появления языка — 80 000 лет назад на территории, где расположена пещера. Как описано в главе 1, наблюдается большое несоответствие между появлением морфологических изменений в анатомии человека и какими бы то ни было переменами в поведении или технологиях. Появление новых технологий и новых типов поведения следует за длительными периодами застоя, имеющими место после появления новых видов человека. Поэтому, отвечая на вопрос «когда?», мы можем указать промежуток времени между появлением современных с анатомической точки зрения людей (приблизительно 200 000 лет назад в Южной Африке) и первых современных с поведенческой точки зрения людей (приблизительно 80 000 лет назад). Затем приблизительно 60 000 лет назад произошла массовая миграция с Африканского континента, во время которой современный человек заселил территорию Старого Света и позже Австралию¹⁴. Низкая вариативность в языке косвенно приводит нас к этому же выводу. Есть ли какие-либо основания сомневаться в том, что с рождения живший в Бостоне ребенок из племени Папуа — Новой Гвинеи, не имевшего никаких контактов с другими людьми на протяжении 60 000 лет, будет чем-то отличаться от местного ребенка? Насколько нам известно, нет. История Стеббинса о Феодосии Добржанском и Эрнсте Майере из примечания 1 к главе 2 — это современная версия подобного эксперимента. Нынешние геномные исследования — тому подтверждение¹⁵.

Поэтому мы полагаем, что человеческий язык и базовое свойство, скорее всего, возникли между этими двумя датами: 200 000 лет назад и 60 000 лет назад, но предположительно задолго до волны миграции из Африки, о чем свидетельствуют находки в пещере Бломбос, возраст которых — около 80 000 лет. В свете новых фактов можно утверждать, что это произошло ближе к отметке 200 000 лет. Практически это же время указывает Джин Айтчисон (Jean Aitchison, 1996: 60) на рис. 5.4 в книге *Seeds of Speech* («Семена речи»). Джин утверждает, что «где-то между 100 000 и 75 000 (лет) (назад), вероятно, язык достиг критической степени усложнения», хотя точку начала она относит дальше по времени — 250 000 лет назад.

Какое место в этой картине отводится неандертальцам? Как говорилось в главе 1, ответ на этот вопрос неоднозначный, поскольку имеющиеся у нас данные — это преимущественно умозаключения, а не факты. Вспомним, что эволюционное разделение нас и неандертальцев произошло примерно 400 000–600 000 лет назад и, очевидно, вскоре после этого неандертальцы мигрировали в Европу. Это означает, что возникновение анатомически современных людей на юге Африки и в районе пещеры Бломбос происходило, насколько нам известно, уже без неандертальцев. Найденные в пещере Эль-Сидрон в Испании останки неандертальцев исследовали на предмет того, присутствуют ли в их гене FOXP2 два недавно обнаруженных изменения, которые характерны для современных людей (Krause et al., 2007) и которые, по утвер-

ждению Энарда и соавторов (Enard et al., 2002), являются случаем положительного отбора у человека. (Необходимо отличать эти изменения от тех, под влиянием которых вследствие повреждения гена FOXP2 развиваются нарушения речи.) Поскольку возраст найденных в пещере Эль-Сидрон неандертальцев — приблизительно 48 000 лет (Wood et al., 2013) (то есть они жили там еще до того, как современные люди заселили территорию Испании), значит, исключается вероятность смешения современных людей и неандертальцев, в результате которого последние могли бы приобрести те же изменения в гене FOXP2. Получается, что описанный Энардом измененный вариант гена FOXP2 характерен и для анатомически современного человека, и для неандертальца.

Но был ли у неандертальцев также и человеческий язык с характерными для него чертами — базовым свойством и синтаксисом? Фактических подтверждений, что у неандертальцев было нечто похожее на богатое символами наследие, которое оставил человек разумный 80 000 лет назад, нет. С учетом всех наших знаний о ДНК неандертальцев можно предположить, что выметание отбором, проявляющееся в указанной выше генетической мутации и у человека, и у неандертальца, предшествовало появлению их общего предка. То есть отбор состоялся 300 000–400 000 лет назад — гораздо раньше, чем предположил Эnard (Enard et al., 2002). Есть и другие нестыковки. Вспомним главу 1, где говорилось, что, по мнению шведского биолога Паабо, в эволюционной

истории гена FOXP2 произошло как минимум два отдельных события. Маричич и соавторы (Maricic et al., 2013) утверждают, что FOXP2 неандертальца и человека различаются функционально важной регуляторной частью. Ее необходимо отличать от кодирующей части гена, которая, по утверждению Энарда (Enard et al., 2002), подверглась селекции. Проблема заключается в том, что при традиционном подходе «сигнал» селекции довольно быстро угасает, если заглянуть еще на 50 000–100 000 лет назад. В результате эти открытия, свидетельствующие о том, имела место селекция или же нет, а также указывающие ее приблизительное время, по-прежнему вызывают вопросы. Чжоу и соавторы (Zhou et al., 2015) предложили новый подход, позволяющий обойти (неизвестные) колебания в численности населения и при этом обнаружить положительную селекцию, но этот метод еще должен пройти проверку (см. примечание 11 к главе 1). Если говорить кратко, мы согласны со специалистом по эволюционной геномике и статистике Ником Паттерсоном (Nick Patterson), который уже давно занимается изучением ДНК древних людей в Институте Броуда. Паттерсон в личной беседе сказал, что на данный момент нет каких-либо четких признаков селекции, произошедшей в тот важнейший период времени, когда неандертальцы отделились от основной эволюционной ветви, представители которой впоследствии стали нашими предками. Это лишь дым без огня.

Кроме того, как уже говорилось ранее, некоторые, несомненно, критически важные для развития нервной

системы гены у человека и у неандертальца также различаются. Сомель, Лиу и Хайтович (Somel, Liu and Khaitovich, 2013: 119) отмечают, что «растет число доказательств того, что развитие человеческого мозга коренным образом изменило свое направление под воздействием нескольких генетических событий, пришедшихся на короткий промежуток времени между эволюционным разделением людей и неандертальцев и возникновением современного человека». Это касается определенных регуляторных мутаций, которые привели к неотении и изменили процесс развития костей черепа человека по сравнению с неандертальцами (Gunz et al., 2010). Мозг человека приобрел более глобулярную (округлую) форму по сравнению с мозгом неандертальца благодаря более длительному периоду детства. Это наблюдение довольно любопытно в связи с тем, что, хотя у неандертальцев мозг имел больший объем, чем у современных людей, он иначе располагался в черепной коробке: у неандертальцев был большой затылочный узел — выступ на тыльной части головы, который у современного человека отсутствует, а у людей повышенной емкостью отличается передняя часть черепа. Некоторые ученые опираются на этот факт, чтобы подчеркнуть различие между современным человеком и неандертальцем, у которого большая часть мозга отвечала за визуальное восприятие и использование орудий (затылочный узел) (Pearce et al., 2013).

Если мы будем рассматривать возможные заменители языка, ситуация становится еще более непонятной. Мало

кто станет спорить, что сложная обработка камня, поддержание огня, изготовление одежды, охры требуют наличия языка. Вся эта деятельность присутствовала в жизни человека, но это не означает, что у неандертальцев было все то же самое. То, что у них было что-то из перечисленного, не значит, что у них было все. Вспомним три признака символической деятельности: захоронения, бусы, костяные орудия труда. Под захоронением можно понимать все что угодно. Археологи не нашли ничего, что достоверно можно было бы назвать «погребальным инвентарем» неандертальцев. Еще более показательно то, что неандертальцы, похоже, имели обыкновение есть друг друга, о чем свидетельствуют повсеместные находки (Зафаррая, Эль-Сидрон и т. д.), причем в этот акт не вкладывался никакой особый смысл (хотя бы использование черепов в качестве орудий).

Некоторые ученые считают свидетельствами символической деятельности неандертальцев изделия из камня, найденные в пещере Арси-сюр-Кюр. Однако принадлежность обнаруженных в шательперонских слоях пещеры Арси-сюр-Кюр останков (преимущественно зубов) неандертальцам недавно была поставлена под сомнение на основании возможного смешения осадочных пород (Higham et al., 2011). Из этого следует, что шательперон, как весь верхний палеолит, может быть результатом деятельности современного человека, а присутствие останков нескольких неандертальцев в этих слоях не доказывает, что именно они изготавливали

найденные там предметы (Pinhasi et al., 2011; Bar-Yosef and Bordes, 2010). Мелларс (Mellars, 2010: 20148) говорит об этом следующее:

«Важный и неизбежный вывод, который следует из недавно полученных сведений об Оленьей пещере, — это то, что единственное убедительное и потому широко распространяемое свидетельство наличия сложного “символического” поведения у поздних неандертальцев в Европе фактически развалилось на части. Можно ли говорить о существовании других доказательств подобного сложного, преднамеренного символического поведения неандертальцев в других частях Европы — по-прежнему спорный вопрос... В этой связи неизбежно встает важнейший вопрос — почему. Если преднамеренное символическое поведение было неотъемлемой частью культуры и поведенческого репертуара европейских неандертальцев, на протяжении 250 000 лет населявших огромную и разнообразную территорию площадью более 2000 миль, то почему осталось так мало реальных (или гипотетических) свидетельств этого факта?»

Принимая во внимание неутихающие споры по поводу доказательств, мы считаем, что сейчас нет никаких оснований утверждать, что у неандертальцев присутствовало нечто напоминающее базовое свойство или хотя бы какие-то зачатки символического языка.

Позволяют ли современные методы популяционной генетики изучить соответствующие гены и определить, когда возник язык? Именно это и сделали Энард и соавторы

(Enard et al., 2002), когда, изучив изменения в гене FOXP2, разглядели в них выметание отбором (см. также главу 1, примечание 10). Суть в следующем. В результате отбора происходит фильтрация изменений в ДНК. Это своего рода решето, сквозь которое просеивается смесь золота и мусора — и остается только золото. Мусор, который случайно пристал к драгоценному металлу, образно выражаясь, оказывается «в одной упряжке» с золотом (речь о геномных областях, фланкирующих интересующий нас ген, прошедший через отбор). Итак, в результате мы должны получить единообразную неизменную последовательность ДНК в мутировавшем в результате отбора локусе (золото), а также небольшие вариации в любом из фланкирующих его участков (тех самых, которые оказались «в одной упряжке» с золотом). С течением времени, поколение за поколением этот единообразный низковариативный блок, непосредственно примыкающий к указанному локусу (золоту), постепенно распадается под влиянием естественного процесса половой рекомбинации — мейоза, то есть редукционного деления хромосом, в результате которого потомство получает только часть ДНК одного родителя, а вторую часть — от второго родителя. Сам мутировавший в результате отбора участок не делится, поскольку он должен оставаться неделимым, чтобы выполнять свою функцию (любая геномная последовательность, распадаясь, не передается следующим поколениям). В результате мы видим регулярное распадение единообразных областей, фланкирующих мутировавшую геномную область.

Все это приводит к появлению некоего шаблона, в соответствии с которым происходит наблюдаемое распадение. Теперь, опираясь на предположения касательно скорости происходящего под влиянием рекомбинации распада, интенсивности отбора и возможных демографических изменений (поскольку увеличение или снижение уровня миграции также может привести к изменениям в ДНК), мы можем ретроспективно определить, сколько поколений разделяет нас с моментом отбора. Неудивительно, что все это опять же лишь упражнение в вероятностном моделировании, ведь мы не можем быть уверенными в том, насколько интенсивным был отбор, какова была скорость рекомбинации и какими были демографические изменения.

Поэтому все, что нам остается, — это ориентироваться на статистические расчеты. Мы получаем приблизительное время отбора, примерное число поколений, а также оцениваем степень своей уверенности в этих данных. Эта уверенность часто оказывается весьма сильной, что скорее отражает нехватку данных об отборе и обо всем, что с ним связано. Например, Энард и соавторы (Enard et al., 2002) с уверенностью 95 % отнесли выметание отбором в гене FOXP2 ко времени 120 000 лет назад.

В более свежем исследовании Фитч, Арbib и Дональд (Fitch, Arbib and Donald, 2010) предложили в качестве основного метода проверки гипотез, касающихся эволюции языка, высчитывать выметание. Они говорят, что мы можем вычислять возраст, когда происходило выметание отбором в генах, отвечающих за язык (среди них первым мутировал

ген FOXP2, а следом и многие другие). Исследователи составили список возможных генов по образцу, описанному в главе 1. Например, они отмечают, что если гены, отвечающие за восприятие речи, прошли через выметание отбором раньше, чем гены, отвечающие за «компетентное сознание», то мы, ориентируясь на примерное время этих выметаний, можем сказать: теория, утверждающая, что восприятие речи появилось раньше, больше соответствует истине, чем теория о том, что первым появилось «компетентное сознание». Ученые подчеркивают, что, конечно, было бы лучше, если бы для каждой гипотетической модели имелись набор возможных генов и приблизительное время выметания отбором для каждого из них.

На данный момент неясно, как такой подход мог вообще привлечь к себе внимание. Хотя, конечно, ни в чем нельзя быть уверенными. Можно утверждать только одно: сильные выметания отбором случаются относительно редко по причинам, обрисованным Купом (Coop) и Пшеворским (Przeworski) (Jobling et al., 2014: 204). Выметания отбором стоят далеко не за каждым интересным адаптивным событием. Кроме того, когда мы заглядываем дальше в прошлое, следы отбора легко теряются, а его влияние на генетическую изменчивость перекрывается такими факторами, как миграция, демографические изменения (состав населения, увеличение или уменьшение численности) и половая рекомбинация. Чжоу и соавторы (Zhou et al., 2015) недавно предложили метод, позволяющий обойти некоторые данные сложности, однако пока еще слишком рано

делать выводы. И тут мы сталкиваемся с самым большим затруднением: чтобы пользоваться этим методом, мы должны знать, какие генетические взаимодействия стоят за каждым конкретным фенотипом.

Подводя итог, наш лучший ответ на вопросы «когда?» и «где?» звучит так: где-то между появлением анатомически современного человека в южной части Африки приблизительно 200 000 лет назад и последней волной миграции с Африканского континента около 60 000 лет назад (Pagani et al., 2015), но, скорее всего, более 80 000 лет назад. Итого мы имеем около 130 000 лет, то есть приблизительно 5000–6000 поколений, на эволюционное изменение. Это не «скачок в одно поколение», как неверно заключают некоторые исследователи, но и не сопоставимо по масштабу с целой геологической эрой. Однако такое количество времени вписывается в тот промежуток, который Нильссон и Пельгер (Nilsson and Pelger, 1994) определили как время, необходимое на полную эволюцию глаза из одной клетки даже без всяких отсылок к «эво-дево».

Как?

У нас осталось два последних вопроса: «как?» и «почему?». В этом разделе мы попробуем (гипотетически) ответить на первый вопрос, а второй затронем в заключительной части.

На вопрос «как?» нет точного ответа, поскольку мы не знаем, как базовое свойство в действительности

реализовано в нейронной сети. Когда мы отвечали на вопрос «что?», мы делали оговорку, что у нас нет четкого понимания, как те или иные когнитивные вычисления осуществляются в реальности. А наше представление о том, как языковые знания или «грамматика» могут быть отражены в строении головного мозга, еще более туманное. Возьмем самый простой случай: мы довольно хорошо понимаем, какие вычисления производят насекомые, чтобы ориентироваться в пространстве (магнитный азимут и путь интегрирования), и у нас есть возможность проводить генетические эксперименты (что невозможно в случае с людьми), но мы все равно не знаем, как именно осуществляются эти вычисления (Gallistel and King, 2009).

Оставим в стороне эти обоснованные сомнения и все же озвучим свои предположения. Ученые смогли немного разобраться в нейробиологическом фундаменте языка, поэтому даже сугубо теоретический подход может дать неплохие результаты. Мы опираемся на работы Фридеричи и коллег (Friederici, 2009; Perani et al., 2011), которые постарались провести параллель между наработками современной лингвистики и анатомией головного мозга, а также на интереснейшие умозаключения Майкла Скейда (Michael Skeide), озвученные им в личном общении. Еще одна свежая работа, в которой объединены выводы Фридеричи и коллег, а также немало другого интересного материала, написана Пинкером и ван дер Лели (Pinker and van der Lely, 2014).

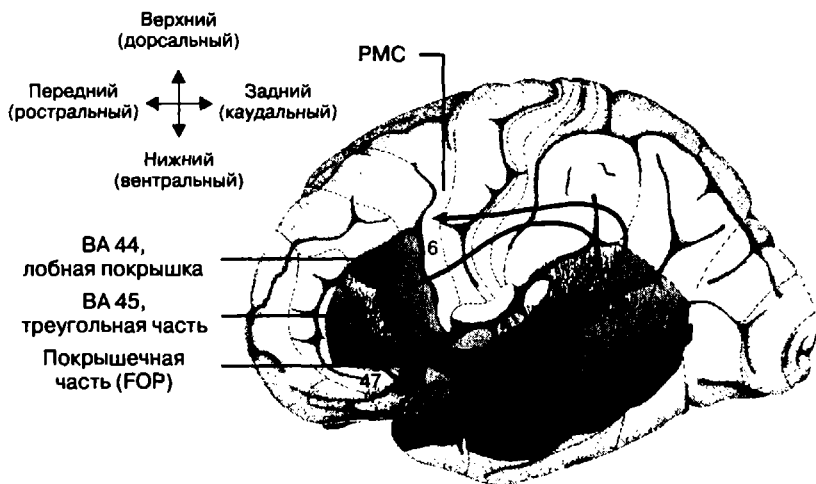
Однако прежде, чем мы начнем, хотелось бы сказать пару слов о том, по какому пути мы *не будем* идти в поисках ответа на вопрос «как?». Мы не пойдем по проторенной дорожке. На вопрос о том, как возникла операция соединения, ответить «легко», если допустить, что она представляет собой не что иное, как изначально существовавший у других животных вычислительный механизм, или если считать, что она паразитирует на существовавшем изначально вычислительном механизме. Мы продемонстрировали, что первый вариант (которого придерживаются Борнкессель-Шлезевски, Фрэнк и многие другие исследователи, считающие язык «чем-то наподобие» самой обыкновенной последовательной обработки данных) довольно маловероятен. Что касается паразитизма — тут мнения расходятся. С точки зрения других ученых, операция соединения возникла на основе ... да практически чего угодно, *кроме того*, о чем мы говорили на страницах этой книги (иерархического моторного планирования, жестикуляции, музыки, догугловской системы навигации или ее зачатков, сложно организованного процесса запасания еды, языка мышления, различий в человеческих планах). (Имеется в виду, что у нас единственных увеличилось количество копий определенного гена, что привело к появлению фермента, отвечающего за ускоренное переваривание приготовленной пищи, содержащей картофельный крахмал. В результате способность добывать огонь стала толчком к интенсивному развитию мозга (Hardy et al., 2015).)

С нашей точки зрения, все это неубедительно. Вспомним, что операция соединения состоит из таких компонентов, как: 1) базовая операция соединения; 2) словоподобные элементы или ранее созданные синтаксические репрезентации; 3) вычислительное пространство (пространства). В какой части головного мозга все это может происходить?

В научной среде принято считать, что участки коры головного мозга, известные как поля Бродмана под номерами 44 и 45 (расположенный в лобной доле центр Брока, который на рис. 4.4 отмечен как BA 44 и BA 45), отвечают за синтаксические вычисления и нарушения (афазия Брока), а также за другие функциональные возможности. Метаанализ показывает, что поле 44 (покрышечная часть, в отличие от всех остальных полей) участвует в синтаксической обработке (Vigneau et al., 2006), но система дает гораздо более детальное описание. Вторая отвечающая за язык часть коры головного мозга — это область Вернике (поля 22, 38, 41 и 42 на рис. 4.4). Еще в XIX веке ученые выяснили, что эти отвечающие за язык области связаны между собой проводящими путями (Dejerine, 1895). Мы (теоретически) предположим, что словоподобные элементы или хотя бы их характеристики, используемые операцией соединения, хранятся в средневисочной области в виде лексикона, хотя, как уже говорилось в главе 1, нам неизвестно, как что-то вообще может храниться в памяти или извлекаться из нее.

Теперь благодаря диффузионно-тензорной визуализации у нас появилась дополнительная информация о проводящих путях, соединяющих эти области, а также наглядный материал для сравнения анатомии головного мозга человека и остальных приматов. Начинает вырисовываться картина эволюционного анализа, в которую, по мнению Скейда, удачно вписываются описанные выше аспекты операции соединения.

На рис. 4.4 показано местоположение длинных проводящих путей, соединяющих связанные с языком участки в дорсальной (верхней) части мозга взрослого человека с отвечающими за язык участками в вентральной (нижней) части мозга. По наблюдениям Перани и соавторов (Perani et al., 2011: 16058), есть два дорсальных пути: «Один соединяет теменно-височно-затылочную ассоциативную кору с премоторной корой, а другой соединяет височную долю с центром Брока. (Предполагается), что (эти) два пути могут выполнять различные функции: первый обеспечивает слухомоторную координацию, а второй — обработку синтаксической структуры предложения». Также есть два вентральных пути, которые соединяют ту область, где предположительно хранится лексикон, с префронтальной корой. Суть в том, что эти дорсальные и вентральные проводящие пути вместе образуют полное кольцо, по которому информация из лексикона передается в переднюю часть мозга, где используется для выполнения операции соединения. Это кольцо из проводящих путей задействуется в обработке синтаксических структур.



- Нижняя лобная извилина
- Верхняя височная извилина
- Средняя височная извилина

Дорсальные проводящие пути

- От рSTC к PMC
- От рSTC к BA 44

Вентральные проводящие пути

- От BA 45 к TC
- От vIFC к TC



Рис. 4.4. Связанные с языком области и проводящие пути головного мозга человека.

Здесь показано левое полушарие. Сокращения: РМС, premotor cortex — премоторная кора; STC, superior temporal cortex — верхняя височная кора; р, posterior — задний (-я).

Числами обозначены цитоархитектонические поля Бродмана (ВА). На рисунке два дорсальных проводящих пути: один соединяет рSTC (теменно-височно-затылочную кору) и РМС (премоторную кору), а второй — рSTC и ВА 44 (поле Бродмана 44). Два вентральных проводящих пути, соединяющих ВА 45 и префронтальную кору (vlFC) с височной корой (ТС), также имеют отношение к языку.

Иллюстрация из работы Бервика и соавторов (Berwick et al., 2013. Evolution, brain and the nature of language.

Trends in the Cognitive Sciences 17 (2): 89–98). С разрешения правообладателя (Elsevier Ltd)

Теперь у нас есть наглядное подтверждение того, что обработка синтаксических структур осуществляется подобным образом. На рис. 4.5 (Perani et al., 2011) показано, как эти проводящие пути развиваются с течением времени, по мере взросления человека. На рисунке в части А показаны межнейрональные связи в левом и правом полушариях головного мозга взрослого человека, а в части Б — межнейрональные связи в мозге новорожденного. У взрослых (часть А) кольцо, соединяющее вентральные и дорсальные области, является полным. Закрашенные участки обозначают вентральные и дорсальные межнейрональные связи. Однако при рождении (часть Б) отсутствуют межнейрональные связи, отмеченные синим в части А; соответствующие нервные волокна еще не миелинизировались. Эти волокна связаны с центром Брока. Это как если бы мозг был не до конца «подключен», поэтому новорожденный не может выполнять обработку синтаксических структур. Проводящие пути развиваются и начинают функционировать приблизительно к 2–3 годам, тогда же происходит развитие языковых навыков. Что же касается проводящих путей слухового анализатора, то они, как мы уже говорили в начале этой книги, наоборот, выполняют свою функцию с рождения — и в течение первого года жизни дети накапливают фонетический материал, необходимый для формирования языковых навыков.

Сравнительный анализ подтверждает те же выводы. На рис. 4.6 показаны соответствующие проводящие пути в мозге обезьяны Старого Света (узконосой обезьяны) — макаки. В частности, обратим внимание, что полное коль-

цо, соединяющее дорсальную и вентральную стороны, между волокном, отмеченным буквами AF, и волокном, отмеченным буквами STS, отсутствует. Два волокна расположены настолько близко, что практически соединяются друг с другом. Но, как говорится, чуть-чуть не считается. Такая же ситуация и с шимпанзе. Можно предположить, что наряду со сравнительным анализом мозга человека на разных этапах развития (новорожденность — взрослый период) это доказывает, что для возникновения базового свойства необходимо полное кольцо, передающее информацию из хранилища словоподобных атомов в пространство, где осуществляется операция соединения.

Что все это значит с точки зрения эволюции? Похоже, что мы имеем дело с тем самым недостающим звеном. Хотя мы и не можем быть уверенными на 100 % в том, что синтаксис человеческого языка нуждается в наличии такого полностью замкнутого кольца, но и предположение, что «небольшая перенастройка мозга» привела к появлению полноценной синтаксической системы и операции соединения, вполне возможно, не так уж далеко от истины. Небольшого геномного изменения, затрагивающего один из проводящих путей, а также верного направления этого проводящего пути вполне может быть достаточно, и, безусловно, времени тоже хватает. Все это отлично вписывается в гипотезу Рамуса и Фишера (Ramus and Fisher, 2009), которые утверждают, что небольшое изменение в нейронных связях может привести к большим изменениям в фенотипе (и для этого не нужно ни особой эволюции, ни значительного количества времени).

A

Взрослые



LH

RH

Б

Новорожденные



LH

RH

-  Дорсальный проводящий путь: часть дугообразного/верхнего продольного пучка, соединяющаяся с центром Брока
-  Дорсальный проводящий путь: часть дугообразного/верхнего продольного пучка, соединяющаяся с прецентральной извилиной
-  Вентральный проводящий путь соединяет вентральную часть нижней лобной извилины с височной корой с помощью волокон, проходящих через наружную капсулу



Рис. 4.5. Дорсальные и вентральные проводящие пути у взрослых и новорожденных. Изображение получено благодаря диффузионно-тензорной визуализации. *Часть А:* проводящие пути в левом (LH) и правом (RH) полушариях головного мозга взрослого человека. *Часть Б:* проводящие пути в головном мозге новорожденного. Дорсальные проводящие пути, ведущие в центр Брока, при рождении еще не миелинизированы. Иллюстрация из работы Перани и соавторов (Perani et al., 2011. Neural language networks at birth. Proceedings of the National Academy of Sciences 108 (38): 16056–16061). С разрешения правообладателя (PNAS)



Область 44



Рис. 4.6. Проводящие пути в головном мозге макаки с отмеченными полями Бродмана 44 и 45. Изображение получено благодаря диффузионно-тензорной визуализации. Обратите внимание на зазор между дорсально-вентральным проводящим путем AF и вентральным проводящим путем STS (обведен). Из работы Фрея, Маккея и Петридеса (Frey, Mackey and Petrides, 2014. Cortico-cortical connections of areas 44 and 45B in the macaque monkey. *Brain and Language*, 131: 36–55). С разрешения правообладателя (Elsevier Ltd)

Почему?

У нас остался последний вопрос, который особенно интересовал Уоллеса: почему? Почему у людей вообще есть язык? В этой книге мы уже несколько раз подчеркивали: мы не считаем, что движущей силой появления языка была потребность в коммуникации. Среди вероятных причин возникновения языка разные исследователи называют планирование, навигацию, «модель психического состояния человека» и пр. С нашей точки зрения, все это вписывается в представление о языке как о «внутреннем мыслительном инструменте», критически важном понятийно-интенциональном средстве. В главах 2 и 3 мы показали, что это средство играет важнейшую роль. И по крайней мере на первых порах (если тогда еще отсутствовала экстернализация) операция соединения была обычным «внутренним» свойством, которое стало дополнительным преимуществом при отборе (благодаря лучшим навыкам планирования, способности рассуждать логически и т. п.).

Как минимум часть экспериментальных данных свидетельствует о том, что язык выполняет именно эту задачу. Спелке и коллеги (Hermer-Vazquez, Katsnelson and Spelke, 1999) провели эксперимент, чтобы выяснить, как дети и взрослые воспринимают геометрическую и негеометрическую информацию и как это отражается в языке. Взрослым испытуемым показывали объект, расположенный в углу геометрически неправильной (асимметричной) комнаты

с белыми стенами. Затем объект прятали. Испытуемые закрывали глаза и кружились на месте, пока не теряли ориентацию в пространстве. После этого они открывали глаза и должны были найти спрятанный объект. Всем им удалось, опираясь на геометрическую асимметрию комнаты, сузить поле поиска (если объект был спрятан рядом с длинной стеной слева, они искали его только в тех двух углах, которые прилегали к этой стене). Очевидно, что они пользовались геометрическими сигналами неосознанно. Если же экспериментатор добавлял негеометрический сигнал, который еще сильнее нарушал симметрию (например, синюю стену), то испытуемые, опираясь одновременно и на геометрическую, и на негеометрическую информацию, шли именно в тот угол, где был спрятан объект.

А как же поступали дети? Оказалось, что дети, которые еще не приобрели языковых навыков, не использовали информацию о том, что одна из стен синяя. В возрасте 4–5 лет (практически полностью освоив язык) они уже успешно справлялись с этой задачей. Кстати, если во время поиска объекта взрослые должны были выполнять отвлекающее задание, например повторять текст, то их результаты опускались до того уровня, который демонстрировали не владеющие языком дети. Одно из объяснений такого поведения, выходящее за рамки простой перегрузки памяти, — это то, что язык является посредником, который объединяет различные данные, полученные как из геометрических, так и из негеометрических источников. Именно так и должен функционировать

«внутренний мыслительный инструмент». Способность собирать воедино различные перцептивные сигналы и следующие из них выводы, например, находится животное на горе или у ее подножия, — явное преимущество при отборе. Подобное свойство могло бы передаваться потомству и обеспечить превосходство определенной группы особей (это вполне вероятный эволюционный сценарий). Все остальное — это история нас как современного вида.

И напоследок еще одна цитата Дарвина (1859: 490), замечательно вписывающаяся в контекст рассуждений об эволюции языка: «Из такого простого начала развилось и продолжает развиваться бесконечное число самых прекрасных и самых изумительных форм».

ЛИТЕРАТУРА

1. Английские материалисты 18 в. В 3 т. — М.: Мысль, 1968. Т. 3.
2. Бейкер М. Атомы языка. Грамматика в темном поле сознания. — М.: Издательство ЛКИ, 2008.
3. Гудолл Дж. Шимпанзе в природе: поведение. — М.: Мир, 1992.
4. Дарвин. Автобиография. — М.: Академия наук СССР, 1957.
5. Дарвин Ч. Происхождение видов путем естественного отбора, или Сохранение благоприятных рас в борьбе за жизнь / Перевод с шестого издания (Лондон, 1872). — СПб.: Наука, 1991.
6. Дарвин Ч. Сочинения. Том 5. Происхождение человека и половой отбор. Выражение эмоций у человека и животных. — М.: Издательство Академии наук СССР, 1953.
7. Звегинцев В. А. История языкознания XIX–XX вв. в очерках и извлечениях. 3-е изд. Ч. 1. — М.: Просвещение, 1964; Ч. 2. — М.: Просвещение, 1965.
8. Кэрролл Ш. Бесконечное число самых прекрасных форм. — М.: АСТ: Corpus, 2015.

9. Соссюр Ф. Курс общей лингвистики. — Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 1999.
10. Трубецкой Н. С. Основы фонологии. — М.: Издательство иностранной литературы, 1960.
11. Хомский Н. Синтаксические структуры = Syntactic Structures // Новое в лингвистике. — М., 1962. Вып. II.
12. Хомский Н. Картезианская лингвистика. — М.: Ком-Книга, 2005.
13. Abe, Kentaro, and Dai Watanabe. 2012. Songbirds possess the spontaneous ability to discriminate syntactic rules. *Nature Neuroscience* 14: 1067–1074.
14. Ahouse, Jeremy, and Robert C. Berwick. 1998. *Darwin on the mind*. Boston Review of Books, April/May.
15. Aitchison, Jean. 1996. *The Seeds of Speech: Language Origin and Evolution*. Cambridge: Cambridge University Press.
16. Aitchison, Jean. 1998. Discontinuing the continuity-discontinuity debate. In *Approaches to the Evolution of Language: Social and Cognitive Bases*, ed. James R. Hurford, Michael Studdert-Kennedy and Chris Knight, 17–29. Cambridge: Cambridge University Press.
17. Ariew, André, and Richard Lewontin. 2004. The confusions of fitness. *British Journal for the Philosophy of Science* 55: 347–363.
18. Baker, Mark C. 2002. *The Atoms of Language*. Oxford: Oxford University Press.
19. Barton, G. Edward, Robert C. Berwick, and Eric S. Ristad. 1987. *Computational Complexity and Natural Language*. Cambridge, MA: MIT Press.

20. Bar-Yosef, Ofer, and Jean-Guillaume Bordes. 2010. Who were the makers of the Châtelperronian culture? *Journal of Human Evolution* 59 (5): 586–593.
21. Beckers, Gabriel, Johan Bolhuis, and Robert C. Berwick. 2012. Birdsong neurolinguistics: Context-free grammar claim is premature. *Neuroreport* 23: 139–146.
22. Bersaglieri, Todd, Pardis C. Sabeti, Nick Patterson, Trisha Vanderploeg, Steve F. Schaffner, Jared A. Drake, Matthew Rhodes, David E. Reich and Joel N. Hirschhorn. 2004. Genetic signatures of strong recent positive selection at the lactase gene. *American Journal of Human Genetics* 74 (6): 1111–1120.
23. Berwick, Robert C. 1982. *The Acquisition of Syntactic Knowledge*. Ph. D. thesis, Department of Electrical Engineering and Computer Science. Cambridge, MA: The Massachusetts Institute of Technology.
24. Berwick, Robert C. 1985. *Locality Principles and the Acquisition of Syntactic Knowledge*. Cambridge, MA: MIT Press.
25. Berwick, Robert C. 2011. All you need is Merge. In *Biolinguistic Investigations*, ed. Anna Maria Di Sciullo and Cedric Boeckx, 461–491. Oxford: Oxford University Press.
26. Berwick, Robert C. 2015. Mind the gap. In *50 Years Later: Reflections on Chomsky's Aspects*, ed. Angel J. Gallego and Dennis Ott, 1–12. Cambridge, MA: MIT Working Papers in Linguistics.
27. Berwick, Robert C., and Samuel David Epstein. 1993. On the convergence of “minimalist” syntax and categorial grammar. In *Proceedings of the Third Conference on Algebraic*

- Methodology and Software Technology (AMAST 93)*, ed. Martin Nivat, Charles Rattray, Teo Rus and George Scollo, 143–148. University of Twente, Enschede the Netherlands: Springer-Verlag.
28. Berwick, Robert C., Kazuo Okanoya, Gabriel Beckers and Johan Bolhuis. 2011. Songs to syntax: The linguistics of birdsong. *Trends in Cognitive Sciences* 15 (3): 113–121.
 29. Berwick, Robert C. and Samuel Pilato. 1987. Learning syntax by automata induction. *Machine Learning* 2: 9–38.
 30. Berwick, Robert C. and Amy S. Weinberg. 1984. *The Grammatical Basis of Linguistic Performance*. Cambridge, MA: MIT Press.
 31. Bickerton, Derek. 2014. *More Than Nature Needs*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
 32. Bloomfield, Leonard. 1926. A set of postulates for the science of language. *Language* 2 (3): 153–164.
 33. Boeckx, Cedric and Antonio Benítez-Burraco. November 2014. Globularity and language-readiness: Generating new predictions by expanding the set of genes of interest. *Frontiers in Psychology* 5: 1324. doi: 10.3389/fpsyg.2014.01324.
 34. Bornkessel-Schlesewsky, Ina, Matthias Schlewsky, Steven L. Small and Josef P. Rauschecker. 2015. Neurobiological roots of language in primate audition: common computational properties. *Trends in Cognitive Sciences* 19 (3): 142–150.
 35. Boyd, Lomax J., Stephanie L. Skove, Jeremy P. Rouanet, Louis-Jan Pilaz, Tristan Bepler, Raluca Gordân, Gregory

- A. Wray and Debra L. Silver. 2015. Human-Chimpanzee differences in a FZD8 enhancer alter cell-cycle dynamics in the developing neocortex. *Current Biology* 25: 772–779.
36. Brandon, Robert and Norbert Hornstein. 1986. From icons to symbols: Some speculations on the origin of language. *Biology & Philosophy* 1: 169–189.
37. Briscoe, Josie, Rebecca Chilvers, Torsten Baldeweg and David Skuse. 2012. A specific cognitive deficit within semantic cognition across a multi-generational family. *Proceedings of the Royal Society Series B, Biological Sciences* 279(1743): 3652–3661.
38. Brosnahan, Leonard Francis. 1961. *The Sounds of Language: An Inquiry into the Role of Genetic Factors in the Development of Sound Systems*. Cambridge: Heffer.
39. Burling, Robbins. 1993. Primate calls, human language, and nonverbal communication. *Current Anthropology* 34 (1): 25–53.
40. Carroll, Sean. 2005. *Endless Forms Most Beautiful*. New York: Norton.
41. Chatterjee, Krishendu, Andreas Pavlogiannis, Ben Adlam and Martin Nowak. 2014. The time scale of evolutionary innovation. *PLoS Computational Biology* 10 (9): e1003818.
42. Chomsky, Carol. 1986. Analytic study of the Tadoma method: Language abilities of three deaf-blind subjects. *Journal of Speech and Hearing Research* 29 (3): 332–347.
43. Chomsky, Noam. 1955. *The Logical Structure of Linguistic Theory*. Ms. Harvard University, Cambridge, MA.

44. Chomsky, Noam. 1956. Three models for the description of language. I. R. E. *Transactions on Information Theory* IT-2: 113–124.
45. Chomsky, Noam. 1957. *Syntactic Structures*. The Hague: Mouton.
46. Chomsky, Noam. 1965. *Aspects of the Theory of Syntax*. Cambridge, MA: MIT Press.
47. Chomsky, Noam. 1976. On the nature of language. In *Origins and Evolution of Language and Speech*, ed. Stevan Harnad, Horst D. Steklis and Jane Lancaster, 46–57. New York: New York Academy of Sciences.
48. Chomsky, Noam. 1980. *Rules and Representations*. New York: Columbia University Press.
49. Chomsky, Noam. 1981. *Lectures on Government and Binding*. Dordrecht: Foris.
50. Chomsky, Noam. 2010. Some simple evo-devo theses: How might they be true for language? In *The Evolution of Human Language*, ed. Richard K. Larson, Vivienne Déprez and Hiroko Yamakido, 45–62. Cambridge: Cambridge University Press.
51. Chomsky, Noam. 2012. Problems of projection. *Lingua* 130: 33–49.
52. Chomsky, Noam. 2015. Problems of projection extensions. In *Structures, Strategies and Beyond: Studies in Honour of Adriana Belletti*, ed. Elisa Di Domenico, Cornelia Hamann and Simona Matteini, 1–16. Amsterdam: John Benjamins.
53. Coen, Michael. 2006. *Multi-Modal Dynamics: Self-Supervised Learning in Perceptual and Motor Systems*. Ph. D. thesis,

Department of Electrical Engineering and Computer Science. Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology.

54. Cohen, Shay B., Giorgio Satta and Michael Collins. 2013. Approximate PCFG parsing using tensor decomposition. In *Proceedings of the 2013 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies*, 487–496. Atlanta, Georgia: Association for Computational Linguistics.
55. Colosimo, Pamela F., Sarita Balabhadra, Guadalupe Villarreal, Jr., Mark Dickson, Jane Grimwood, Jeremy Schmutz, Richard M. Myers, Dolph Schluter and David M. Kingsley. 2005. Widespread parallel evolution in sticklebacks by repeated fixation of Ectodysplasin alleles. *Science* 307: 1928–1933.
56. Colosimo, Pamela F., Catherine L. Peichel, Kirsten Nereng, Benjamin K. Blackman, Michael D. Shapiro, Dolp Schluter and David M. Kingsley. 2004. The genetic architecture of parallel armor plate reduction in threespine sticklebacks. *PLoS Biology* 2: 635–641.
57. Comins, Jordan A. and Tiomthy Q. Gentner. 2015. Pattern-Induced covert category learning in songbirds. *Current Biology* 25: 1873–1877.
58. Crain, Stephen. 2012. *The Emergence of Meaning*. Cambridge: Cambridge University Press.
59. Cudworth, Ralph. 1731. *A Treatise Concerning Eternal and Immutable Morality*. London: James and John Knapton.
60. Culicover, Peter and Ray Jackendoff. 2005. *Simpler Syntax*. Oxford: Oxford University Press.

61. Curtiss, Susan. 2012. Revisiting modularity: Using language as a window to the mind. In *Rich Languages from Poor Inputs*, ed. Massimo Piatelli-Palmarini and Robert C. Berwick, 68–90. Oxford: Oxford University Press.
62. Darlington, Charles D. 1947. The genetic component of language. *Heredity* 1: 269–286.
63. Darwin, Charles. (1856) 1990. *Darwin Correspondence Project*. Vol. 6. Cambridge: Cambridge University Press.
64. Darwin, Charles. 1859. *On the Origin of Species*. London: John Murray.
65. Darwin, Charles. 1868. *Variation of Plants and Animals under Domestication*. London: John Murray.
66. Darwin, Charles. 1871. *The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex*. London: John Murray.
67. Darwin, Charles. 1887. *The Autobiography of Charles Darwin*. London: John Murray.
68. Dediu, Daniel and D. Robert Ladd. 2007. Linguistic tone is related to the population frequency of the adaptive haplogroups of two brain size genes, ASPM and Microcephalin. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104 (26): 10944–10949.
69. Dejerine, Joseph Jules. 1895. *Anatomie des Centres Nerveux*. Paris: Rueff et Cie.
70. Ding, Nai, Yue Zhang, Hong Tian, Lucia Melloni and David Poeppel. 2014. Cortical dynamics underlying online building of hierarchical structures. *Proceedings of the Society for Neuroscience 2014*. Poster 204.14. Washington, DC: Society for Neuroscience.

71. Ding, Nai, Yue Zhang, Hong Tian, Lucia Melloni and David Poeppel. 2015. Cortical dynamics underlying online building of hierarchical structures. *Nature Neuroscience*.
72. Dobzhansky, Theodosius. 1937. *Genetics and the Origin of Species*. New York: Columbia University Press.
73. Earley, Jay. 1970. An efficient context-free parsing algorithm. *Communications of the ACM* 13 (2): 94–102.
74. Enard, Wolfgang, Molly Przeworski, Simon E. Fisher, Cecillia Lai, Victor Wiebe, Takashi Kitano, Anthony P. Monaco and Svante Pääbo. 2005. Molecular evolution of FOXP2, a gene involved in speech and language. *Nature* 418: 869–872.
75. Engesser, Sabrina, Jodie M. S. Crane, James L. Savage, Andrew F. Russell and Simon W. Townsend. 2015. Experimental evidence for phonemic contrasts in a nonhuman vocal system. *PLoS Biology*. doi:10.1371/journal.pbio.1002171.
76. Feynman, Richard. 1959/1992. There's plenty of room at the bottom. *Journal of Microelectromechanical Systems* 1 (1): 60–66.
77. Fisher, Ronald A. 1930. *The Genetical Theory of Natural Selection*. London: Clarendon.
78. Fisher, Simon E., Faraneh Vargha-Khadem, Katherine E. Watkins, Anthony P. Monaco and Marcus E. Pembrey. 1998. Localisation of a gene implicated in a severe speech and language disorder. *Nature Genetics* 18 (2): 168–170.
79. Fitch, William Tecumseh. 2010. *The Evolution of Language*. Cambridge: Cambridge University Press.
80. Fitch, William Tecumseh, Michael A. Arbib and Merlin Donald. 2010. A molecular genetic framework for testing

- hypotheses about language evolution. In *Proceedings of the 8th International Conference on the Evolution of Language*, ed. Andrew D. M. Smith, Marieke Schouwstra, Bart de Boer and Kenny Smith, 137–144. Singapore: World Scientific.
81. Fong, Sandiway. 1991. *Computational Implementation of Principle-Based Parsers*. Ph. D. thesis, Department of Electrical Engineering and Computer Science. Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology.
 82. Frank, Stefan L., Rens Bod and Morten H. Christiansen. 2012. How hierarchical is language use? *Proceedings of the Royal Society Series B* 297: 4522–4531. doi:10.1098/rspb.2012.1741.
 83. Frey, Stephen, Scott Mackey and Michael Petrides. 2014. Corticocortical connections of areas 44 and 45B in the macaque monkey. *Brain and Language* 131: 36–55.
 84. Friederici, Angela. 2009. Language and the brain. In *Of Minds and Language, A Dialogue with Noam Chomsky in the Basque Country*, ed. Massimo Piattelli-Palmarini, Juan Uriagereka and Pello Salaburu, 352–377. Oxford: Oxford University Press.
 85. Gallistel, Charles G. 1990. Representations in animal cognition: An introduction. *Cognition* 37 (1–2): 1–22.
 86. Gallistel, Charles G. and Adam Philip King. 2009. *Memory and the Computational Brain*. New York: Wiley.
 87. Gehring, Walter. 2005. New perspectives on eye development and the evolution of eyes and photoreceptors. *Journal of Heredity* 96 (3): 171–184.

88. Gehring, Walter. 2011. Chance and necessity in eye evolution. *Genome Biology and Evolution* 3: 1053–1066.
89. Gillespie, John. 2004. *Population Genetics: A Concise Guide*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
90. Goldschmidt, Richard. 1940. *The Material Basis of Evolution*. New Haven, CT: Yale University Press.
91. Goodall, Jane. 1986. *The Chimpanzees of Gombe: Patterns of Behavior*. Boston: Belknap Press of the Harvard University Press.
92. Gould, Stephen J., and Steven Rose. 2007. *The Richness of Life: The Essential Stephen Jay Gould*. New York: W.W. Norton and Company.
93. Graf, Thomas. 2013. *Local and Transderivational Constraints on Syntax and Semantics*. Ph. D. thesis, Department of Linguistics. Los Angeles: University of California at Los Angeles.
94. Graham, Susan L., Michael A. Harrison and Walter Ruzzo. 1980. An improved context-free recognizer. *ACM Transactions on Programming Languages and Systems* 2 (3): 415–462.
95. Grant, Peter, and Rosemary Grant. 2014. *Forty Years of Evolution: Darwin's Finches on Daphne Major Island*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
96. Groszer, Matthias, David A. Keays, Robert M. J. Deacon, Joseph P. de Bono, Shetwa Prasad-Mulcare, Simone Gaub, Muriel G. Baum, Catherine A. French, Jérôme Nicod, Julie A. Coventry, Wolfgang Enard, Martin Fray, Steve D. M. Brown, Patrick M. Nolan, Svante Pääbo, Keith M. Channon, Rui M. Costa, Jens Eilers, Günter Ehret, J. Nicholas P. Rawlins,

- and Simon E. Fisher. 2008. Impaired synaptic plasticity and motor learning in mice with a point mutation implicated in human speech deficits. *Current Biology* 18: 354–362.
97. Gunz, Philipp, Simon Neubauer, Bruno Maureille, and Jean-Jacques Hublin. 2010. Brain development after birth differs between Neanderthals and modern humans. *Current Biology* 20 (21): R921–R922.
98. Haldane, John Burdon Sanderson. 1927. A mathematical theory of natural and artificial selection. Part V: Selection and mutation. *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society* 23 (7): 838–844.
99. Hansson, Gunnar Ólafur. 2001. Remains of a submerged continent: Preaspiration in the languages of Northwest Europe. In *Historical Linguistics 1999: Selected Papers from the 14th International Conference on Historical Linguistics*, ed. Laurel J. Brinton, 157–173. Amsterdam: John Benjamins.
100. Hardy, Karen, Jennie Brand-Miller, Katherine D. Brown, Mark G. Thomas, and Les Copeland. 2015. The Importance of dietary carbohydrate in human evolution. *The Quarterly Review of Biology* 90 (3): 251–268.
101. Harmand, Sonia, Jason E. Lewis, Craig S. Feibel, Christopher J. Lepre, Sandrine Prat, Arnaud Lenoble, Xavier Boës, Horst D. Steklis and Jane Lancaster. 2015. 3.3-million-year-old stone tools from Lomekwi 3, West Turkana, Kenya. *Nature* 521: 310–315.
102. Harnad, Stevan, Horst D. Steklis and Jane Lancaster, eds. 1976. *Origins and Evolution of Language and Speech*. New York: New York Academy of Sciences.

103. Harris, Zellig. 1951. *Methods in Structural Linguistics*. Chicago: University of Chicago Press.
104. Hauser, Marc. 1997. *The Evolution of Communication*. Cambridge, MA: MIT Press.
105. Heinz, Jeffrey. 2010. Learning long-distance phonotactics. *Linguistic Inquiry* 41: 623–661.
106. Heinz, Jeffrey and William Idsardi. 2013. What complexity differences reveal about domains in language. *Topics in Cognitive Science* 5 (1): 111–131.
107. Henshilwood, Christopher, Francesco d'Errico, Royden Yates, Zenobia Jacobs, Chantal Tribolo, Geoff A. T. Duller, Norbert Mercier. 2002. Emergence of modern human behavior: Middle Stone Age engravings from South Africa. *Science* 295: 1278–1280.
108. Hermer-Vazquez, Linda, Alla S. Katsnelson, and Elizabeth S. Spelke. 1999. Sources of flexibility in human cognition: Dual-task studies of space and language. *Cognitive Psychology* 39 (1): 3–36.
109. Hennessy, John L., and David A. Patterson. 2011. *Computer Architecture: A Quantitative Approach*. Waltham, MA: Morgan Kaufman Publishers.
110. Hingham, Thomas, Fiona Brock, Christopher Bronk Ramsey, William Davies, Rachel Wood, Laura Basell. 2011. Chronology of the site of Grotte du Renne, Arcy-sur-Cure, France: Implications for Neandertal symbolic behavior. *Before Farm* 2: 1–9.
111. Hinzen, Wolfram. 2006. *Mind Design and Minimal Syntax*. Oxford: Oxford University Press.

112. Hittinger, Chris Todd and Sean B. Carroll. 2007. Gene duplication and the adaptive evolution of a classic genetic switch. *Nature* 449 (7163): 677–681.
113. Hoogman, Martine, Julio Guadalupe, Marcel P. Zwiers, Patricia Klarenbeek, Clyde Francks and Simon E. Fisher. 2014. Assessing the effects of common variation in the *FOXP2* gene on human brain structure. *Frontiers in Human Neuroscience* 8: 1–9.
114. Hornstein, Norbert. 2009. *A Theory of Syntax*. Cambridge: Cambridge University Press.
115. Huerta-Sánchez, Xin Jin, Asan, Zhuoma Bianba, Benjamin M. Peter, Nicolas Vinckenbosch, Yu Liang, Xin Yi, Mingze He, Mehmet Somel, Peixiang Ni, Bo Wang, Xiaohua Ou, Huasang, Jiangbai Luosang, Zha Xi Ping Cuo, Kui Li, Guoyi Gao, Ye Yin, Wei Wang, Xiuqing Zhang, Xun Xu, Huanming Yang, Yingrui Li, Jian Wang, Jun Wang and Rasmus Nielsen. 2014. Altitude adaptation in Tibetans caused by introgression of Denisovan-like DNA. *Nature* 512: 194–197.
116. Humplik, Jan, Alison L. Hill and Martin A. Nowak. 2014. Evolutionary dynamics of infectious diseases in finite populations. *Journal of Theoretical Biology* 360: 149–162.
117. Hurford, James. 1990. Beyond the roadblock in linguistic evolution studies. *Behavioral and Brain Sciences* 13 (4): 736–737.
118. Hurford, James, Michael Studdert-Kennedy and Chris Knight. 1998. *Approaches to the Evolution of Language*:

Cognitive and Linguistic Bases. Cambridge: Cambridge University Press.

119. Huxley, Julian. 1963. *Evolution: The Modern Synthesis*. 3rd ed. London: Allen and Unwin.
120. Huxley, Thomas. 1859. *Letter to Charles Darwin, November 23. Darwin Correspondence Project, letter 2544*. Cambridge: Cambridge University Library; www.darwinproject.ac.uk/letter/entry-2544.
121. Huxley, Thomas. 1878. *Evolution in Biology*. Clark University.
122. Jacob, François. 1977. Darwinism reconsidered. *Le Monde*, September, 6–8.
123. Jacob, François. 1980. *The Statue Within*. New York: Basic Books.
124. Jacob, François. 1982. *The Possible and the Actual*. New York: Pantheon.
125. Jerison, Harry. 1973. *Evolution of the Brain and Intelligence*. New York: Academic Press.
126. Jobling, Mark A., Edward Hollox, Matthew Hurles, Toomas Kivsild and Chris Tyler-Smith. 2014. *Human Evolutionary Genetics*. New York: Garland Science, Taylor and Francis Group.
127. Joos, Martin. 1957. *Readings in Linguistics*. Washington, DC: American Council of Learned Societies.
128. Jürgens, Uwe. 2002. Neural pathways underlying vocal control. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* 26 (2): 235–258.
129. Kallmeyer, Laura. 2010. *Parsing Beyond Context-Free Grammars*. New York: Springer.

130. Kimura, Moota. 1983. *The Neutral Theory of Molecular Evolution*. Cambridge: Cambridge University Press.
131. King, Marie-Claire and Alan Wilson. 1975. Evolution at two levels in humans and chimpanzees. *Science* 188 (4184): 107–116.
132. Kleene, Stephen. 1956. *Representation of Events in Nerve Nets and Finite Automata*. Annals of Mathematical Studies 34. Princeton: Princeton University.
133. Kobele, Gregory. 2006. *Generating Copies: An Investigation into Structural Identity in Language and Grammar*. Ph. D. thesis, Department of Linguistics. Los Angeles: University of California at Los Angeles.
134. Kos, Miriam, Danielle van den Brink, Tineke M. Snijders, Mark Rijpkema, Barbara Franke, Guillen Fernandez and Peter Hagoort. 2012. CNTNAP2 and language processing in healthy individuals as measured with ERPs. *PLoS One* 7 (10): e46995, Oct. 24. doi: PMCID: PMC34 80372. 10.1371/journal.pone.00 46995.
135. Koulouris, Andreas, Nectarios Koziris, Theodore Andronikos, George Papakonstantinou and Panayotis Tsanakas. 1998. A parallel parsing VLSI architecture for arbitrary context-free grammars. *Proceedings of the 1998 Conference on Parallel and Distributed Systems*, IEEE, 783–790.
136. Krause, Johannes, Carles Lalueza-Fox, Ludovic Orlando, Wolfgang Enard, Richard Green, Herman A. Burbano, Jean-Jacques Hublin. 2007. The derived FOXP2 variant of modern humans was shared with Neandertals. *Current Biology* 17: 1–5.

137. Kuypers, Hanricus Gerardus Jacobus Maria. 1958. Corticobulbar connections to the pons and lower brainstem in man: An anatomical study. *Brain* 81 (3): 364–388.
138. Lane, Nicholas. 2015. *The Vital Question: Why Is Life the Way It Is?* London: Profile Books Ltd.
139. Lashley, Karl. 1951. The problem of serial order in behavior. In *Cerebral Mechanisms in Behavior*, ed. Lloyd A. Jeffress, 112–136. New York: Wiley.
140. Lasnik, Howard. 2000. *Syntactic Structures Revisited*. Cambridge, MA: MIT Press.
141. Lasnik, Howard and Joseph Kupin. 1977. A restrictive theory of transformational grammar. *Theoretical Linguistics* 4: 173–196.
142. Lenneberg, Eric H. 1967. *Biological Foundations of Language*. New York: Wiley.
143. Lewontin, Richard. 1998. The evolution of cognition: Questions we will never answer. In *Methods, Models, and Conceptual Issues: An Invitation to Cognitive Science*, ed. Don Scarborough and Mark Liberman, 108–132. 4th ed. Cambridge, MA: MIT Press.
144. Lewontin, Richard. 2001. *The Triple Helix*. New York: New York Review of Books Press.
145. Lindblad-Toh, Kersten, Manuel Garber, Or Zuk, Michael F. Lin, Brian J. Parker, Stefan Washietl, Pouya Kheradpour, Jason Ernst, Gregory Jordan, Evan Mauceli, Lucas D. Ward, Craig B. Lowe, Alisha K. Holloway, Michele Clamp, Sante Gnerre, Jessica Alföldi, Kathryn Beal, Jean Chang, Hiram Clawson, James Cuff, Federica Di Palma, Stephen

Fitzgerald, Paul Flicek, Mitchell Guttman, Melissa J. Hubisz, David B. Jaffe, Irwin Jungreis, W. James Kent, Dennis Kostka, Marcia Lara, Andre L. Martins, Tim Massingham, Ida Moltke, Brian J. Raney, Matthew D. Rasmussen, Jim Robinson, Alexander Stark, Albert J. Vilella, Jiayu Wen, Xiaohui Xie, Michael C. Zody, Broad Institute Sequencing Platform and Whole Genome Assembly Team, Kim C. Worley, Christie L. Kovar, Donna M. Muzny, Richard A. Gibbs, Baylor College of Medicine Human Genome Sequencing Center Sequencing Team, Wesley C. Warren, Elaine R. Mardis, George M. Weinstock, Richard K. Wilson, Genome Institute at Washington University, Ewan Birney, Elliott H. Margulies, Javier Herrero, Eric D. Green, David Haussler, Adam Siepel, Nick Goldman, Katherine S. Pollard, Jakob S. Pedersen, Eric S. Lander, and Manolis Kellis. 2011. A high-resolution map of human evolutionary constraint using 29 mammals. *Nature* 478: 476–482.

146. Luria, Salvador. 1974. *A Debate on Bio-Linguistics*. Endicott House, Dedham, MA, May 20–21. Paris: Centre Royaumont pour une science de l'homme.
147. Lyell, Charles. 1830–1833. *Principles of Geology*. London: John Murray.
148. Lynch, Michael. 2007. *The Origins of Genome Architecture*. Sunderland, MA: Sinauer Associates.
149. Mampe, Birgit, Angela D. Friederici, Anne Christophe, and Kristine Wermke. 2009. Newborns' cry melody is shaped by their native language. *Current Biology* 19 (23): 1994–1997.

150. Marchant, James. 1916. *Alfred Russel Wallace Letters and Reminiscences*. London: Cassell.
151. Marcus, Gary. 2001. *The Algebraic Mind*. Cambridge, MA: MIT Press.
152. Marcus, Gary. 2009. How does the mind work? *Topics in Cognitive Science* 1 (1): 145–172.
153. Margulis, Lynn. 1970. *Origin of Eukaryotic Cells*. New Haven: Yale University Press.
154. Maricic, Tomislav, Viola Günther, Oleg Georgiev, Sabine Gehre, Marija Ćurlin, Christiane Schreiweis, Ronald Naumann, Hernán A. Burbano, Matthias Meyer, Carles Lalueza-Fox, Marco de la Rasilla, Antonio Rosas, Srećko Gajović, Janet Kelso, Wolfgang Enard, Walter Schaffner and Svante Pääbo. 2013. A recent evolutionary change affects a regulatory element in the human *FOXP2* gene. *Molecular Biology and Evolution* 30 (4): 844–852.
155. Markowitz, Jeffrey E., Lizabeth Ivie, Laura Kligler and Timothy J. Gardner. 2013. Long-range order in canary song. *PLoS Computational Biology*, doi: 10.1371/journal.pcbi.1003052.
156. Marr, David. 1982. *Vision: A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information*. Cambridge, MA: MIT Press.
157. Maynard Smith, John. 1982. *Evolution and the Theory of Games*. Cambridge: Cambridge University Press.
158. Maynard Smith, John, and Eörs Szathmáry. 1995. *The Major Transitions in Evolution*.

159. Maynard Smith, John, Richard Burian, Stuart Kauffman, Pere Alberch, John Campbell, Brian Goodwin, Russell Lande, David Raup and Lewis Wolpert. 1985. Developmental constraints and evolution: A perspective from the Mountain Lake Conference on development and evolution. *Quarterly Review of Biology* 60 (3): 265–287.
160. Mayr, Ernst. 1963. *Animal Species and Evolution*. Cambridge, MA: Belknap Press of Harvard University Press.
161. Mayr, Ernst. 1995. Can SETI Succeed? Not Likely. *Bioastronomy News* 7 (3). http://www.astro.umass.edu/~mhanner/Lecture_Notes/Sagan-Mayr.pdf.
162. McMahon, April and Robert McMahon. 2012. *Evolutionary Linguistics*. Cambridge: Cambridge University Press.
163. McNamara, John M. 2013. Towards a richer evolutionary game theory. (doi: 10.1098/rsif.2013.0544.) *Journal of the Royal Society, Interface* 10 (88): 20130544.
164. Mellars, Paul. 2010. Neanderthal symbolism and ornament manufacture: The bursting of a bubble? *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 107 (47): 20147–20148.
165. Minsky, Marvin L. 1967. *Computation: Finite and Infinite Machines*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
166. Monod, Jacques. 1970. *Le hasard et la nécessité*. Paris: Seuil.
167. Monod, Jacques. 1972. *Chance and Necessity: An Essay on the Natural Philosophy of Modern Biology*. New York: Vintage Books.
168. Müller, Gerd. 2007. Evo-devo: Extending the evolutionary synthesis. *Nature Reviews. Genetics* 8: 943–949.

169. Muller, Hermann J. 1940. Bearing of the *Drosophila* work on systematics. In *The New Systematics*, ed. Julian S. Huxley, 185–268. Oxford: Clarendon Press.
170. Musso, Mariacristina, Andrea Moro, Volkmar Glauche, Michel Rijntjes, Jürgen Reichenbach, Christian Büchel, and Cornelius Weiller. 2003. Broca's area and the language instinct. *Natstedstature Neuroscience* 6: 774–781.
171. Newmeyer, Frederick J. 1998. On the supposed “counter-functionality” of Universal Grammar: Some evolutionary implications. In *Approaches to the Evolution of Language*, ed. James R. Hurford, Michael Studdert Kennedy and Christopher Knight 305–319. Cambridge: Cambridge University Press.
172. Nilsson, D. E. and Susanne Pelger. 1994. A pessimistic estimate of the length of time required for an eye to evolve. *Proceedings of the Royal Society Series B* 256 (1345): 53–58.
173. Niyogi, Partha and Robert C. Berwick. 2009. The proper treatment of language acquisition and change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 109: 10124–10129.
174. Nowak, Martin A. 2006. *Evolutionary Dynamics*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
175. Ohno, Susumu. 1970. *Evolution by Gene Duplication*. Berlin: Sprifiger-Verlag.
176. Okanoya, Kazuo. 2004. The Bengalese finch: A window on the behavioral neurobiology of birdsong syntax. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1016: 724–735.

177. Orr, H. Allen. 1998. The population genetics of adaptation: the distribution of factors fixed during adaptive evolution. *Evolution; International Journal of Organic Evolution* 52 (4): 935–949.
178. Orr, H. Allen. 2005 a. The genetic theory of adaptation. *Nature Reviews. Genetics* 6: 119–127.
179. Orr, H. Allen. 2005 b. A revolution in the field of evolution? *New Yorker (New York, N.Y.)* (October): 24.
180. Orr, H. Allen, and Jerry A. Coyne. 1992. The genetics of adaptation revisited. *American Naturalist* 140: 725–742.
181. Ouattara, Karim, Alban Lemasson and Klaus Zuberbühler. 2009. Campbell's monkeys concatenate vocalizations into context-specific call sequences. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 106 (51): 22026–22031.
182. Pääbo, Svante. 2014 a. The human condition — a molecular approach. *Cell* 157 (1): 216–226.
183. Pääbo, Svante. 2014 b. Neanderthal Man. *In Search of Lost Genomes*. New York: Basic Books.
184. Pagani, Luca, Stephan Schiffels, Deepti Gurdasani, Petr Danecek, Aylwyn Scally, Yuan Chen, Yali Xue. 2015. Tracing the route of modern humans out of Africa using 225 human genome sequences from Ethiopians and Egyptians. *American Journal of Human Genetics* 96: 1–6.
185. Pearce, Eiluned, Christopher Stringer and Richard I. Dunbar. 2013. New insights into differences in brain organization between Neanderthals and anatomically modern humans. *Proceedings of the Royal Society Series B*

- 280 (1758): 20130168. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2013.0168>.
186. Perani, Daniela, Maria C. Saccumana, Paola Scifo, Alfred Anwander, Danilo Spada, Cristina Baldolib, Antonella Poloniato, Gabriele Lohmann and Angela D. Friederici. 2011. Neural language networks at birth. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 108 (38): 16056–16061.
187. Petitto, Laura Anne. 1987. On the autonomy of language and gesture: Evidence from the acquisition of personal pronouns in American Sign Language. *Cognition* 27 (1): 1–52.
188. Petitto, Laura Anne. 2005. How the brain begets language. In *The Chomsky Reader*, ed. James McGilvray, 85–101. Cambridge: Cambridge University Press.
189. Pfenning, Andreas R., Erina Hara, Osceola Whitney, Miriam V. Rivas, Rui Wang, Petra L. Roulhac, Jason T. Howard M. Arthur Moseley, J. Will Thompson, Erik J. Soderblom, Atsushi Iriki, Masaki Kato, M. Thomas P. Gilbert, Guojie Zhang, Trygve Bakken, Angie Bongaarts, Amy Bernard, Ed Lein, Claudio V. Mello, Alexander J. Hartemink, Erich D. Jarvis. 2014. Convergent transcriptional specializations in the brains of humans and song-learning birds. *Science* 346 (6215): 1256846:1–10.
190. Pinhasi, Ronald, Thomas F. G. Higham, Liubov V. Golovanova and Vladimir B. Doronichev. 2011. Revised age of late Neanderthal occupation and the end of the Middle Paleolithic in the northern Caucasus. *Proceedings of the*

- National Academy of Sciences of the United States of America* 108 (21): 8611–8616.
191. Pinker, Steven and Paul Bloom. 1990. Natural language and natural selection. *Behavioral and Brain Sciences* 13 (4): 707–784.
 192. Pinker, Steven and Heather K. J. van der Lely. 2014. The biological basis of language: insight from developmental grammatical impairments. *Trends in Cognitive Sciences* 18 (11): 586–595.
 193. Poelwijk, Frank, Daniel J. Kiviet, Daniel M. Weinreich and Sander J. Tans. 2007. Empirical fitness landscapes reveal accessible evolutionary paths. *Nature* 445 (25): 383–386.
 194. Pollard, Carl. 1984. *Generalized Phrase Structure Grammars, Head Grammars and Natural Language*. Ph. D. dissertation, Stanford, CA: Stanford University.
 195. Prabhakar, Shyam, James P. Noonan, Svante Pbo and Edward M. Rubin. 2006. Accelerated evolution of conserved noncoding sequences in humans. *Science* 314: 786.
 196. Priestley, Joseph. 1775. *Hartley's Theory of the Human Mind*. London: J. Johnson.
 197. Ptak, Susan E., Wolfgang Enard, Victor Wiebe, Ines Hellmann, Johannes Krause, Michael Lachmann and Svante Pääbo. 2009. Linkage disequilibrium extends across putative selected sites in FOXP2. *Molecular Biology and Evolution* 26: 2181–2184.
 198. Pulvermüller, Friedemann. 2002. *The Neuroscience of Language*. Cambridge: Cambridge University Press.

199. Ramus, Franck and Simon E. Fisher. 2009. Genetics of language. In *The Cognitive Neurosciences*. 4th ed., ed. Michael S. Gazzaniga, 855–871. Cambridge, MA: MIT Press.
200. Reinhart, Tanya and Eric Reuland. 1993. Reflexivity. *Linguistic Inquiry* 24: 657–720.
201. Rice, Sean R. 2004. *Evolutionary Theory: Mathematical and Conceptual Foundations*. Sunderland, MA: Sinauer Associates.
202. Rice, Sean R., Anthony Papadopoulos and John Harting. 2011. Stochastic processes driving directional selection. In *Evolutionary Biology — Concepts, Biodiversity, Macroevolution and Genome Evolution*, ed. Pierre Pontarotti, 21–33. Berlin: Springer-Verlag.
203. Rosenfeld, Azriel. 1982. Quadtree grammars for picture languages. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* SMC-12 (3): 401–405.
204. Samet, Hanan, and Azriel Rosenfeld. 1980. Quadtree representations of binary images. *Proceedings of the 5th International Conference on Pattern Recognition*, 815–818.
205. Sapir, Edward, and Harry Hoiyer. 1967. *The Phonology and Morphology of the Navaho Language*. Los Angeles: University of California Publications in Linguistics.
206. Sauerland, Uli, and Hans Martin Gärtner. 2007. *Interfaces + Recursion = Language?* New York: Mouton.
207. Saussure, Ferdinand. 1916. *Cours de linguistique générale*. Paris: Payot.
208. Schreiweis, Christiane, Ulrich Bornschein, Eric Burguière, Cemil Kerimoglu, Sven Schreiter, Michael Dannemann,

- Shubhi Goyal, Ellis Rea, Catherine A. French, Rathi Puliyadith, Matthias Groszer, Simon E. Fisher, Roger Mundry, Christine Winter, Wulf Hevers, Svante Pääbo, Wolfgang Enard and Ann M. Graybiel. 2014. Humanized Foxp2 accelerates learning by enhancing transitions from declarative to procedural performance. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 111 (39): 14253–14258.
209. Schuler, William, Samir Abdel Rahman, Tim Miller and Lane Schwartz. 2010. Broad-coverage parsing using human-like memory constraints. *Computational Linguistics* 36 (1): 1–30.
210. Sherman, Michael. 2007. Universal genome in the origin of Metazoa: Thoughts about evolution. *Cell Cycle (Georgetown, TX)* 6 (15): 1873–1877.
211. Smith, Neil and Ianthi-Maria Tsimpli. 1995. *The Mind of a Savant: Language, Learning, and Modularity*. New York: Wiley.
212. Somel, Mehmet, Xiling Liu and Philip Khaitovich. 2013. Human brain evolution: Transcripts, metabolites and their regulators. *Nature Reviews Neuroscience* 14: 112–127.
213. Spoor, Frederick, Philip Gunz, Simon Neubauer, Stefanie Stelzer, Nadia Scott, Amandus Kwekason and M. Christopher Dean. 2015. Reconstructed *Homo habilis* type OH 7 suggests deep-rooted species diversity in early *Homo*. *Nature* 519 (7541): 83–86.
214. Stabler, Edward. 1991. Avoid the pedestrian's paradox. In *Principlebased Parsing*, ed. Robert C. Berwick, Stephen P. Abney and Carol Tenny, 199–237. Dordrecht: Kluwer.

215. Stabler, Edward. 2011. Top-down recognizers for MCFGs and MGs. In *Proceedings of the 2nd Workshop on Cognitive Modeling and Computational Linguistics*, ed. Frank Keller and David Reiter, 39–48. Stroudsburg, PA: Association for Computational Linguistics.
216. Stabler, Edward. 2012. Top-down recognizers for MCFGs and MGs. *Topics in Cognitive Science* 5: 611–633.
217. Stebbins, Ledyard. 1995. Recollections of a coauthor and close friend. In *Genetics of Natural Populations, the continuing influence of Theodosius Dobzhansky*, ed. Louis Levine, 7–13. New York: Columbia University Press.
218. Steedman, Mark. 2014. Evolutionary basis for human language. *Physics of Life Reviews* 11 (3): 382–388.
219. Steffanson, Hreinn, Agnar Helgason, Gudmar Thorleifsson, Valgerdur Steinthorsdottir, Gisli Masson, John Barnard, Adam Baker, Aslaug Jonasdottir, Andres Ingason, Vala G. Gudnadottir, Natasa Desnica, Andrew Hicks, Arnaldur Gylfason, Daniel F. Gudbjartsson, Gudrun M. Jonsdottir, Jesus Sainz, Kari Agnarsson, Birgitta Birgisdottir, Shyamali Ghosh, Adalheidur, Olafsdottir, Jean-Baptiste Cazier, Kristleifur Kristjansson, Michael L Frigge, Thorgeir E. Thorgeirsson, Jeffrey R. Gulcher, Augustine Kong, and Kari Stefansson. 2005. A common inversion under selection in Europeans. *Nature Genetics* 37 (2): 129–137.
220. Stent, Gunther. 1984. From probability to molecular biology. *Cell* 36: 567–570.
221. Stevens, Kenneth N. 1972. The quantal nature of speech: Evidence from articulatory-acoustic data. In *Human*

- Communication: A Unified View*, ed. Edward E. David, Jr. and Peter B. Denes, 51–66. New York: McGraw-Hill.
222. Stevens, Kenneth N. 1989. On the quantal nature of speech. *Journal of Phonetics* 17 (1/2): 3–45.
223. Striedter, Georg. 2004. *Principles of Brain Evolution*. Sunderland, MA: Sinauer Associates.
224. Striedter Georg. 2006. *Précis of Principles of Brain Evolution*. Department of Neurobiology and Behavior and Center for the Neurobiology of Learning and Memory, University of California at Irvine, Irvine.
225. Swallow, Dallas M. 2003. Genetics of lactase persistence and lactose intolerance. *Annual Review of Genetics* 37: 197–219.
226. Számadó, Szabolcs, and Eörs Szathmáry. 2006. Selective scenarios for the emergence of natural language. *Trends in Ecology & Evolution* 679: 555–561.
227. Szathmáry, Eörs. 1996. From RNA to language. *Current Biology* 6 (7): 764.
228. Szklarczyk, Damian, Andrea Franceschini, Stefan Wyder, Kristoffer Forslund, Davide Heller, Jaime Huerta-Cepas, Milan Simonovic, Alexander Roth, Alberto Santos, Kalliopi P Tsafou, Michael Kuhn, Peer Bork, Lars J Jensen and Christian von Mering. 2011. The STRING database in 2011: Functional interaction networks of proteins, globally integrated and scored. *Nucleic Acids Research* 39: D561–D568.
229. Takahashi, Daniel Y., Alicia Fenley, Yayoi Teramoto, Darshana Z. Narayan, Jeremy Borjon, P. Holmes, and Asif

- A. Ghazanfar. 2015. The developmental dynamics of marmoset monkey vocal production. *Science* 349 (6249): 734–748.
230. Tallerman, Maggie. 2014. No syntax saltation in language evolution. *Language Sciences* 46: 207–219.
231. Tattersall, Ian. 1998. *The Origin of the Human Capacity, the Sixty-Eighth James McArthur Lecture on the Human Brain*. New York: American Museum of Natural History.
232. Tattersall, Ian. 2002. *The Monkey in the Mirror*. New York: Harcourt.
233. Tattersall, Ian. 2006. Becoming human: Evolution and the rise of intelligence. *Scientific American* (July): 66–74.
234. Tattersall, Ian. 2008. An evolutionary framework for the acquisition of symbolic cognition by *Homo sapiens*. *Comparative Cognition & Behavior Reviews* 3: 99–114.
235. Tattersall, Ian. 2010. Human evolution and cognition. *Theory in Biosciences* 129 (2–3): 193–201.
236. Thompson, D'arcy Wentworth. (1917) 1942. *On Growth and Form*. Cambridge: Cambridge University Press.
237. Thompson, John N. 2013. *Relentless Evolution*. Chicago: University of Chicago Press.
238. Tishkoff, Sarah, Floyd A. Reed, Benjamin F. Voight, Courtney C. Babbitt, Jesse S. Silverman, Kweli Powell, Holly M. Mortensen. 2007. Convergent adaptation of human lactase persistence in Africa and Europe. *Nature Genetics* 39 (1): 31–40.
239. Tomasello, Michael. 2009. UG is dead. *Behavioral and Brain Sciences* 32 (5): 470–471.

240. Trubetzkoy, Nikolay. 1939. *Grundzüge der Phonologie*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
241. Trubetzkoy, Nikolay. 1969. *Principles of Phonology*. Trans. C. A. Baltaxe. Berkeley: University of California Press.
242. Turing, Alan, and Claude W. Wardlaw. (1953) 1992. A diffusion reaction theory of morphogenesis. In *The Collected Works of Alan Turing: Morphogenesis*. Amsterdam: North-Holland.
243. Turner, John. 1984. Why we need evolution by jerks. *New Scientist* 101: 34–35.
244. Turner, John. 1985. Fisher's evolutionary faith and the challenge of mimicry. In *Oxford Surveys in Evolutionary Biology* 2, ed. Richard Dawkins and Matthew Ridley, 159–196. Oxford: Oxford University Press.
245. Van Dyke, Julie and Clinton L. Johns. 2012. Memory interference as a determinant of language comprehension. *Language and Linguistics Compass* 6 (4): 193–211.
246. Vargha-Khadem, Faraneh, David G. Gadian, Andrew Copp and Mortimer Mishkin. 2005. FOXP2 and the neuroanatomy of speech and language. *Nature Reviews. Neuroscience* 6: 131–138.
247. Vernot, Benjamin and Joshua M. Akey. 2014. Resurrecting surviving Neanderthal lineages from modern human genomes. *Science* 343 (6174): 1017–1021.
248. Vijay-Shanker, K., and J. David Weir, and Aravind K. Joshi. 1987. Characterizing structural descriptions produced

- by various grammatical formalisms. In *Proceedings of the 25th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (ACL)*, 104–111, Stanford, CA: Association for Computational Linguistics.
249. Vigneau, Nicolas-Roy, Virginie Beaucousin, Pierre-Yves Hervé, Hugues Duffau, Fabrice Crivello, Oliver Houdé, Bernard Mazoyer, and Nathalie Tzourio-Mazoyer. 2006. Meta-analyzing left hemisphere language areas: phonology, semantics, and sentence processing. *NeuroImage* 30 (4): 1414–1432.
250. Wallace, Alfred Russel. 1856. On the habits of the Orangutan of Borneo. *Annals & Magazine of Natural History* (June): 471–475.
251. Wallace, Alfred Russel. 1869. Sir Charles Lyell on geological climates and the origin of species. *Quarterly Review* (April): 359–392.
252. Wallace, Alfred Russel. 1871. *Contributions to the Theory of Natural Selection*. 2nd ed. London: Macmillan.
253. Wardlaw, Claude W. 1953. A commentary on Turing's reaction-diffusion mechanism of morphogenesis. *New Physiologist* 52 (1): 40–47.
254. Warneken, Felix, and Alexandra G. Rosati. 2015. Cognitive capacities for cooking in chimpanzees. *Proceedings of the Royal Society Series B* 282: 201 50229.
255. Weinreich, Daniel M., Nigel F. Delaney, Mark A. DePristo, and Daniel L. Hartl. 2006. Darwinian evolution can follow

- only very few mutational paths to fitter proteins. *Science* 7 (312): 111–114.
256. Wexler, Kenneth, and Peter W. Culicover. 1980. *Formal Principles of Language Acquisition*. Cambridge, MA: MIT Press.
257. Whitney, William Dwight. 1893. *Oriental and Linguistic Studies*. Vol. 1. New York: Scribner.
258. Whitney, William Dwight. 1908. *The Life and Growth of Language: An Outline of Linguistic Science*. New York: Appleton.
259. Wood, Rachel, Thomas F. G. Higham, Trinidad De Torres, Nadine Tisnérat-Laborde, Hector Valladas, Jose E. Ortiz, Carles Lalueza-Fox. 2013. A new date for the Neanderthals from El Sidrón cave (Asturias, northern Spain). *Archaeometry* 55 (1): 148–158.
260. Woods, William A. 1970. Transition network grammars for natural language analysis. *Communications of the ACM* 13 (10): 591–606.
261. Wray, Gregory. 2007. The evolutionary significance of cis — regulatory mutations. *Nature Reviews Genetics* 8: 206–216.
262. Wright, Sewall. 1948. *Evolution, organic*. 14th ed. vol. 8, 914–929. Encyclopaedia Britannica.
263. Yang, Charles. 2002. *Knowledge and Learning in Natural Language*. New York: Oxford University Press.
264. Yang, Charles. 2013. Ontogeny and phylogeny of language. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 110 (16): 6324–6327.

265. Younger, Daniel H. 1967. Recognition and parsing of context-free languages in time n^3 . *Information and Control* 10 (2): 189–208.
266. Zhou, Hang, Sile Hu, Rostislav Matveev, Qianhui Yu, Jing Li, Philipp Khaitovich, Li Jin. 2015. A chronological atlas of natural selection in the human genome during the past half-million years. bioRxiv preprint June 19, 2015, doi: <http://dx.doi.org/10.1101/018929>.

ПРИМЕЧАНИЯ

Глава 1

- ¹ В 2010 году вышла работа Хомского (Chomsky, 2010), в которой впервые поднимался вопрос об уоллесовской дилемме эволюции языка и мышления. «Проблема Дарвина» описана у Хорнштейна (Hornstein, 2009). Уоллес в 1869 году выпустил работу (Wallace, 1869), которая считается одним из его первых обзоров этой проблемы. В ней он предложил вынести происхождение языка и мышления за рамки традиционного биологического дарвинизма (хотя разработанное Уоллесом решение все же не обошло стороной концепцию Дарвина). Эту линию продолжает развивать и Бикертон (Bickerton, 2014); первая глава его книги озаглавлена как «Проблема Уоллеса».
- ² Обновленную версию можно найти у Бервика (Berwick, 2011).
- ³ Универсальную грамматику не следует путать с так называемыми языковыми универсалиями — наблюдениями, которые в довольно общих чертах описывают

язык, например универсалиями Гринберга, подразумевающими, что субъект, глагол и объект в каждом языке мира располагаются в определенном порядке. Языковые универсалии могут выступать ценным источником данных о человеческом языке. Однако, как это часто бывает, когда речь идет об обобщениях, касающихся внешней стороны явления, встречаются и исключения (и нередко они могут указать верное направление для исследований и для науки в целом).

- 4 Идея о том, что это нейробиологическое различие объясняет различия между способными и неспособными к вокальному научению видами, называется гипотезой Кейперса — Юргенса в честь Кейперса (Kuipers, 1958) и Юргенса (Jurgens, 2002).
- 5 Конкретизируем, что этим изменением была инверсия участка ДНК длиной 900 килобаз в длинном плече 17-й хромосомы. (Второе плечо 17-й хромосомы было в норме, поэтому эти женщины считаются гетерозиготными по этой инверсии.) Получается, что вместо традиционной последовательности звеньев ДНК данный отрезок был «перевернут». Женщины, у которых обе копии 17-й хромосомы были нормальными (то есть гомозиготными по неинвертированности), не демонстрировали описанного увеличения численности потомства.
- 6 Не стоит считать это подлинной приспособленностью или приравнивать дарвиновскую приспособленность к «скорости размножения», поскольку тут возникает

ряд сложностей (поэтому используются кавычки). Подробнее см. у Эрью и Левонтина (Ariew and Lewontin, 2004). Ученые, которые проводили исследование в Исландии, решили, что все дети имели равные шансы на достижение взрослого возраста и произведение собственного потомства независимо от того, к какой группе относилась их мать.

- ⁷ Например, можно было бы предположить, что количество детей от каждой конкретной женщины, относящейся к категории «более приспособленных», имеет пуассоновское распределение с математическим ожиданием $\mu = 1 + s / 2$, где s — это указанное преимущество в отношении приспособленности, поэтому количество детей может составлять $0, 1 \dots \infty$. В таком случае вероятность, что получится ровно i детей, составляет:

$$e^{-\mu} \mu^i / i!,$$

где e — это число Эйлера, основание натуральных логарифмов. Если предположить, что преимущество в приспособленности равно $0,2$, то соответствующее распределение Пуассона будет иметь математическое ожидание $1 + 0,1$. Вероятность, что у этого более приспособленного гена будет 0 потомков в каждом отдельном поколении, составляет $e^{-1,1} 1 / 1$, то есть приблизительно $0,33287$ (меньше одной трети). Обратите внимание, что абсолютно «нейтральный» ген без всякого преимущества при отборе обладает практически такой же вероятностью: $1/e$, или $0,36787$. (Gillespie, 2004: 91–94). Один из основоположни-

ков синтетической теории эволюции Халдейн (Haldane, 1927) был среди первых ученых, которые занимались подобными вычислениями «рождаемости-смертности».

- 8 Как уже упоминалось, нельзя сказать, что после появления пигментных и дублированных клеток не было больше никаких значительных эволюционных событий. Мы ни слова не упомянули об удивительной и невероятно интересной истории эволюции молекулы опсина, которую подкрепляют богатые данные компаративной геномики, включая обретение и утрату опсинов цветного зрения, а также то, как ничтожные изменения в молекуле опсина влияют на ее функционирование у различных видов и т. п. Точно так же эволюционные изменения в «корпусе и объективе фотокамеры» и то, как они появились, — важная и интересная тема сама по себе, но все это не играет никакой роли в контексте данной книги. Возможно, читателям будет интересно подробнее познакомиться с «пессимистической» оценкой времени, необходимого на эволюцию глаза из двухклеточной системы, которая представлена в работе Нилссона и Пелгер (Nilsson and Pelger, 1994).
- 9 Чаттерджи и коллеги (Chatterjee et al., 2014) предложили другой способ оценки времени, необходимого на обнаружение геномных последовательностей, кодирующих новые биологические функции. Они продемонстрировали, что на адаптацию в целом требуется слишком много времени, учитывая огромное пространство возможных геномных последовательностей,

которые необходимо просмотреть, и приблизительно 10^9 лет, прошедших с момента возникновения жизни на Земле. Эта величина экспоненциально возрастает в зависимости от длины геномной последовательности, проходящей через адаптацию, то есть от длины изучаемой цепочки ДНК (средняя длина бактериального гена составляет приблизительно 1000 нуклеотидов). Также они продемонстрировали: чтобы сократить это время до того объема, который «поддается обработке» (чтобы оно полиномиально зависело от длины последовательности), можно ввести следующее ограничение. Изначальная геномная последовательность должна быть такой, чтобы ее можно было «возобновить», иными словами — без труда вернуться к начальной точке поиска. Этот вывод с биологической точки зрения можно представить таким образом: начальные точки должны быть «рядом» с целевыми последовательностями (если геномная последовательность дублируется, адаптационная цель будет где-то неподалеку). Обратите внимание, что эта точка зрения расходится с популярной теорией некоторых авторов (например, Стидмана) о том, что «эволюция располагает практически неограниченными ресурсами, количество процессов ограничено только физическими ресурсами планеты, а время выполнения этих процессов ограничивается только продолжительностью существования последней. При этом проверяется каждый возможный вариант из всех допустимых»

(2014: 3). Это неверно. Согласно исследованию Мартина Новака (Martin Nowak), эволюция охватывает только очень крошечную часть «пространства последовательностей» геномных и морфобиологических вариаций. Более того, она постоянно возвращается к проблемам, которые уже решала ранее. Например, по утверждению Новака, это может происходить посредством дупликации генов. Долгое время считалось, что дупликация генов — один из способов возвращения к начальной точке в случаях изначально хороших эволюционных решений; многие ученые считают, что это один из главных способов приобретения новых биологических функций. На дублированную ДНК не распространяется ограничение, связанное с отбором, поэтому она может без труда меняться в погоне за новой целевой функцией, поскольку у нее есть копия, которая прикрывает тылы. Также см.: Ohno, 1972.

- ¹⁰ Если эти два изменения у человека/неандертальца действительно так важны с функциональной точки зрения, то следовало бы ожидать, что они «срастутся» во время половой рекомбинации в процессе размножения, но Птак и соавторы (Ptak et al., 2009) этого не обнаружили. Более того, все попытки выяснить, когда возникли эти две характерные для неандертальцев и людей области гена FOXP2, указывают на разное время. Отсюда следует, что локация, природа и хронология эволюции гена FOXP2 — по-прежнему спорные вопросы. Согласно результатам некоторых новых

исследований (Maricic et al., 2013), вариации гена FOXP2 у людей и неандертальцев различаются критически важными регуляторными областями, которые, вероятно, не так давно прошли через выметание отбором (у человека). При этом две аминокислотные позиции, которые, как прежде считалось, были задействованы в выметании отбором в указанной области у общего предка человека и неандертальца, остались незадействованными. Более того, в выметании участвовала совершенно другая область, причем только у человека.

- ¹¹ Чжоу и соавторы (Zhou et al., 2015) недавно с помощью «коалесцирующего» моделирования и полногеномного анализа древних ДНК постарались разработать новый метод выявления выметания отбором. Опираясь на данные, полученные в первой фазе проекта «1000 геномов» (об африканской, европейской и азиатской популяциях), они заявляют, что знают способ обойти преграды со стороны демографических изменений. Кроме того, они говорят, что могут различить положительный, очищающий (отрицательный) и уравнивающий отбор, а также оценить его интенсивность. Чжоу и соавторы нашли подтверждение того, что пять связанных с головным мозгом генов прошли через положительный отбор у человека еще до его миграции из Африки. Интересно, что все они так или иначе связаны с болезнью Альцгеймера. Первая фаза проекта «1000 геномов» не обнаружила никаких при-

знаков положительного отбора в гене FOXP2 у населения Африки (популяция йоруба), но выявила признаки положительного отбора в FOXP2 у населения Центральной Европы (популяция центрально-европейского происхождения; данные получены в Юте), который состоялся приблизительно 1000 поколений назад, то есть с тех пор прошло 22 000–25 000 лет. Эти даты не вполне совпадают с данными предыдущих исследований, что опять же указывает на то, насколько трудно делать какие-либо выводы о прошлом, опираясь на сложную генеалогию человеческой популяции. Мы до сих пор не знаем, действительно ли этот недавно предложенный метод позволяет обойти разные сложности (в том числе связанные с оценкой демографических процессов), ведь причины возникновения многих случаев болезни Альцгеймера неясны и весьма трудно понять, была ли болезнь Альцгеймера у «пациента», который жил 20 000 лет назад.

Глава 2

- ¹ Леннеберг (Lenneberg, 1967: 254) быстро развенчал выдвинутое Дарлингтоном (Darlington, 1947) и подхваченное Броснахэном (Brosnahan, 1961) предположение о существовании генетически обусловленных звуковых предрасположенностей, проявляющихся в четко выраженных структурных различиях в речевом тракте человека и передающихся по принципу

наименьших усилий, что приводит к появлению отдельных человеческих популяций, которые усваивают язык иначе, нежели основная популяция людей. Если бы это было правдой, результат был бы аналогичен тому, насколько различаются возможности отдельных групп людей по усвоению содержащейся в молоке лактозы во взрослом возрасте (у европейцев присутствует ген лактазы LCT, а у азиатов отсутствует). Броснахэн основывал свое предположение на сопоставлении уникальной географической области распространения языков, которые не были связаны между собой исторически (например, баскский и финно-угорские языки), и того, как в этих языках употребляются определенные звуки, например более частое использование звука *th* по сравнению с основной популяцией. Однако, как отмечает Леннеберг, подобная доказательная база очень слаба и наличие генетических оснований для таких «предрасположенностей» ничем не подтверждается. Лучше всего эту ситуацию описывает забавный случай из воспоминаний биолога-эволюциониста Стеббинса о Добржанском: «Мое близкое знакомство с семьей Добржанских позволило мне многое узнать о человеческой генетике и культуре. В то время английский ботаник и цитогенетик С. Д. Дарлингтон в своих публикациях и книгах утверждал, что способность произносить слова определенного языка, особенно английский диграф *th*, имеет генетическую подоплеку. По сути, он видел генетическую связь меж-

ду фенотипом А и способностью произносить английский диграф *th*. Когда он слышал противоположные по смыслу высказывания Добржанского или кого-то другого, он со своими английскими друзьями воспроизводил следующий вымышленный диалог между Добржанским и Эрнстом Майром. *Ernst, you know zat Darlington's idea is silly! Why, anyone can pronounce ze 'th'* («Эрнст, знаешь, эта идея Дарлингтона глупа! Кто угодно может произнести “з”»). Майр: *Yes, dat's right* («Да, ты прав»). Конечно, в отношении Добржанского и Майра, которые оба учили английский во взрослом возрасте, идея Дарлингтона оправданна. Но когда я был у Добржанского в гостях, то слышал, как его 13-летняя дочь Софи разговаривает со своими родителями. Хотя оба родителя произносили *th* и другие английские звуки именно так, как пародировал Дарлингтон (и так было с самого детства Софи), она разговаривала по-английски с типичным нью-йоркским произношением, таким же, как у меня, коренного жителя Нью-Йорка» (Stebbins, 1995: 12). Отсутствие генетической/языковой вариативности также стало почвой для других известных нам попыток связать генетические различия с определенными типами языков. Например, Дидье и Лэдд (Dediu and Ladd, 2007) нашли связь между тональными языками, различием в восприятии тонов (звуков) и двумя геномными секвенциями, которые, по мнению некоторых ученых, недавно подверглись положительному отбору и отвечают за размер и развитие

мозга. Это исследование весьма неоднозначно. Более тщательный генетический анализ данных, полученных в проекте «1000 геномов», не подтвердил факт, что этот положительный отбор состоялся, также не было обнаружено никаких подтверждений наличия связи (не говоря уж о причинно-следственной связи) между тональными языками и особенностями генома, поскольку геномно-тоновая вариативность во многом объясняется географическими факторами. Недавно вышедшая работа об изменениях в гене FOXP2 (Hoogman, 2014; et al.) также доказывает, что изменения в этом геномном сегменте никак не влияют на популяцию в целом (за исключением патологии).

- ² Как отмечают Ахаус и Бервик (Ahouse and Berwick, 1998), у четвероногих животных изначально количество пальцев не было равно пяти (как у людей на руках и ногах), а у земноводных, вероятно, количество пальцев на передних и задних лапах никогда не было больше четырех (обычно оно равно трем). Молекулярная генетика развития объясняет, почему количество разных пальцев не превышает пяти, даже если некоторые из них присутствуют в двойном экземпляре.
- ³ Лаура Петитто (Petitto, 1987) в своей работе, посвященной усваиванию языка жестов, демонстрирует еще более яркий пример того, о чем говорил Берлинг: один и тот же жест используется и для указания, и в качестве местоименной ссылки, но в последнем случае ребенок (если он находится еще в том возрасте, когда дети сме-

шивают употребление местоимений «я» и «ты») использует обратноподанный жест (указывает на собеседника, имея в виду «я»).

- 4 Обратите внимание, что этот аргумент останется в силе, даже если предположить, будто ген FOXP2 отвечает за ту часть системы ввода-вывода, которая связана со звуковым обучением, когда индивид должен экстернализовать, а затем обратно интернализовать песню/язык, то есть петь или разговаривать сам с собой. Здесь мы видим тот же способ «передачи» элементов из внутренней системы и в обратном направлении, а также их упорядочение. Это очень важный компонент, его можно сравнить со способом вывода на печать документа с компьютера.
- 5 Это напоминает ситуацию, когда уделяют внимание абсолютно разным способам вывода изображения на экран жидкокристаллического телевизора и старого телевизора с электронно-лучевой трубкой и при этом не обращают внимания на то, какое именно изображение показывается. Старые телевизоры «создавали» изображение, проецируя электронный пучок на группу точек с химическим составом, которые либо светятся, либо нет. Жидкокристаллический дисплей работает совершенно иначе: в общих чертах, он либо пропускает, либо не пропускает свет через группу ячеек — в зависимости от электрического заряда, воздействующего на каждую ячейку. Но тут нет единого электронного пучка, каждый генерирует одно и то же

изображение своим уникальным способом. Точно так же нельзя сравнивать то, как ячейки в линейном времени при экстернализации передаются нашими моторными командами в речевой тракт, и более значимые «внутренние» репрезентации.

- ⁶ Постулирование независимого рекурсивного «языка мышления» как средства, отвечающего за рекурсию в синтаксисе, возвращает нас к отправной точке в плане объяснений, кроме того, оно довольно туманно и в нем нет необходимости. Эта проблема свойственна многим теориям происхождения языка, в частности тем, которые предполагают наличие операции соединения.

Глава 4

- ¹ Мы снова должны подчеркнуть, что по-прежнему не знаем, как появились присущие людям понятия и «атомы вычисления», которые участвуют в операции соединения. Этому не знают и другие современные авторы, такие как Бикертон (Bickerton, 2014). В работе Брэндона и Хорнштейна (Brandon and Hornstein, 1986) сделана попытка частично разобраться в этом вопросе. Работа затрагивает тему перехода от «значков» к «символам» в контексте аналитической модели эволюции путем естественного отбора.
- ² Если точнее, то операция соединения выбирает вершину (head) конструкции head-XP, но не выбирает

ничего, если сталкивается с конструкцией ХР-УР (когда оба соединяемых элемента представляют собой группу слов, например VP (глагольная группа) и NP (именная группа)). Последний случай актуален для всех операций внутреннего соединения и, вероятно, для всех вариантов схемы «субъект-предикат» (subject-predicate), конструкций малых клауз (например, *ate the meat raw* — «съел мясо сырым») и пр. Правила традиционной (контекстно-свободной) фразовой структуры подразумевают сразу два процесса: присвоение метки или проекцию и формирование иерархической структуры. Тут всегда присутствуют некоторые условия, например соблюдение правила $S \rightarrow NP VP$ в английском языке, которое не имеет никаких логических обоснований. В работе Хомского (Chomsky, 2012) представлены анализ подобных общепринятых условий и способ их обойти с помощью «алгоритма присвоения меток». Остальные вопросы и объяснения, касающиеся этого подхода, описаны в другой работе Хомского (Chomsky, 2015).

- ³ Говард Ласник (Howard Lasnik) описывает эти «срезы» с помощью многоуровневой структуры (в первой главе книги *Syntactic Structures Revisited*, 2000). Это устоявшаяся трактовка, которая, как отмечает Ласник, использовалась в самой ранней версии трансформационно-порождающей грамматики (Chomsky, 1955). Фрэнк и соавторы, вероятно, не осведомлены о прослеживаемой здесь связи с их работой. В 1977 году

Ласник представил формализованную и доработанную версию этой трактовки (Lasnik and Kupin, 1977).

- ⁴ Этот подход к определению «связи» между местоимениями и возможными референтами давно применяется в современной порождающей грамматике. Тот его вариант, который отражен в основном тексте книги, можно назвать классическим. Он был сформулирован Хомским в книге *Lectures on Government and Binding* (Chomsky, 1981). Есть альтернативные и более современные варианты, о которых мы не будем рассказывать в этой книге (например, работа Рейнхарта и Ройлада (Reinhart and Reuland, 1993)).
- ⁵ Чтобы убедиться, что система с конечным числом состояний отвергнет последовательность *dasdoliʃ*, исключив ее из числа допустимых слов в языке навахо (поскольку она нарушает ограничение), переместимся в незакрашенную точку с меткой 0. Отсюда согласный звук *d* возвращает нас к начальному состоянию 0; то же самое происходит и с символом *a*. Теперь мы находимся в начальном состоянии 0, и направленная дуга с меткой *s* перемещает нас к состоянию 1. Из состояния 1 идущие друг за другом звуки *d, o, l, i* делают петлю, возвращаясь в состояние 1 (так как это гласные или нешипящие/несвистящие переднеязычные согласные). Для последнего звука *ʃ* нет разрешенного перехода из состояния 1, поэтому автомат зафиксирует ошибку и отбракует последовательность *dasdoliʃ*, как недопустимое слово для языка навахо. Читатель

может убедиться, что слово *dasdolis* автомат признает допустимым.

- ⁶ Можно попытаться найти выход из этой ситуации, записав два различных линейных автомата. В одном мы объединяем *deer* и *blue* в своего рода слово-бумажник (портманто) *deer-blue*. Во втором мы создаем новое «слово» *blue-sky*. Безусловно, это решает проблему различения этих двух значений, но уже постфактум. Нам пришлось бы поступать так в каждом подобном случае, что весьма нежелательно. Иные варианты этой схемы, имеющие целью обойти иерархическую структуру, путаются в просодике и других отпечатках иерархической структуры.
- ⁷ В частности, все эти теории можно воплотить в виде синтаксических анализаторов, которые работают во временных рамках, полиномиально зависящих от длины входных данных (предложения на вводе) на детерминированной машине Тьюринга. Этот класс вычислительных задач называется классом P (англ. *polynomial* — «полиномиальный») и обычно противопоставляется вычислительным задачам, которые решаются за недетерминированное полиномиальное время (класс NP). Задача, которую можно решить на детерминированной машине Тьюринга за полиномиальное время, считается реально выполнимой в вычислительном отношении. Задача, которую можно решить за полиномиальное время только на недетерминированной машине Тьюринга, считается невыполнимой.

В работе Бартона, Бервика и Ристада (Barton, Berwick and Ristad, 1987) представлен устоявшийся взгляд на теорию сложности вычислений в контексте естественного языка. Как отмечают некоторые источники (Kobele, 2006), в данный момент отсутствует какая-либо внушающая доверие лингвистическая теория, в рамках которой обеспечивался бы эффективный синтаксический анализ. Однако с когнитивной точки зрения это различие не играет такой уж существенной роли, поскольку полиномиальность обычно подразумевает слишком большое множество для практической реализации (длина входного предложения превышает шестую степень). Результаты также отличаются полиномиальностью. Поэтому во всех этих случаях синтаксический анализ производится и слишком медленно, и слишком быстро по сравнению с тем, как это происходит у человека. Слишком быстро, потому что анализаторы могут исследовать предложения, анализ которых невыполним для людей, например двусмысленные предложения (с подвохом) и центрально-вложенные предложения. Слишком медленно, потому что люди обычно могут анализировать предложения в линейном времени. Все это означает, что ни одна существующая лингвистическая теория не соответствует по скорости синтаксическому анализу, производимому человеком. Необходимо что-то еще, выходящее за рамки лингвистической теории. Обратите внимание, что некоторые теории, такие как лексико-функцио-

нальная грамматика или HPSG-грамматика, гораздо более сложные в вычислительном отношении. Например HPSG-грамматика является тьюринг-полной, поэтому может описать любую грамматику. Опять же мы не считаем, что это играет какую-то роль с когнитивной точки зрения, поскольку на практике обычно используются эмпирически оправданные ограничения. Кроме того, отметим, что недавно возникшие лингвистические теории, такие как упрощенный синтаксис Джекендоффа (Culicover and Jackendoff, 2005), также апеллируют к общей унификации и поэтому не менее сложны (гораздо сложнее более строгих теорий грамматики сложения деревьев или минималистических систем). Такие подходы также избыточно предлагают использовать подобные более мощные, чем операция соединения, вычисления не только в разрезе синтаксиса, но и применительно к семантическим интерпретациям. Нам непонятно, для чего нужно это дублирование.

- ⁸ Карл Поллард (Carl Pollard, 1984) впервые описал подобную надстройку над КС-грамматикой, назвав ее вершинной грамматикой. Она обладает более высокой мощностью (Vijay-Shanker, Weir and Joshi, 1987).
- ⁹ Стивидман (Steedman, 2014) утверждал, что на основе КС-грамматик эволюционным путем возникли системы, которые можно охарактеризовать как КС-грамматики плюс «нечто большее», например MCFG-грамматики. Возможно, тут все дело в «слабой порождающей способности», но мы не видим, как это можно было бы

привязать к операции соединения. Имея магазинную память для КС-грамматик плюс дополнительную линейную память для переменных, как в MCFG-грамматике, мы получаем «слегка контекстно зависимые языки» (Vijay-Shanker et al., 1987). Сидман считает, что это некое эволюционное поэтапное «корректирование» стековой архитектуры. Мы с этим не согласны. Не похоже, чтобы в естественных условиях наблюдался столь существенный разрыв между операцией наружного соединения и операцией внутреннего соединения. Существует просто соединение, и самый простой специальный вопрос, который по-прежнему контекстно-свободный, апеллирует к внутренней версии операции соединения. Сидман также отводит большую роль эволюции путем естественного отбора, утверждая, что она «решила» проблему усвоения: «Обучение осуществляется в ограниченных условиях индивидуальных конечных автоматов. Эволюция располагает практически неисчерпаемыми ресурсами, количество процессов лимитировано только физическими ресурсами планеты, а время выполнения этих процессов — только продолжительностью существования последней. При этом проверяется каждый возможный вариант из всех допустимых» (2014: 3). Это неверно, поскольку налицо непонимание процесса эволюции путем естественного отбора. Отбор — это не какой-то «универсальный алгоритмический раствор», выступающий чем-то вроде философского камня, как это представ-

ляется некоторым авторам. Пространство геномных и морфобиологических последовательностей огромно, и жизнь освоила только крошечный кусочек этого пространства безграничных возможностей. Теоретики эволюции, такие как Мартин Новак (Martin Nowak), гораздо серьезнее изучили этот вопрос и обозначили строгие пределы влияния алгоритмов на эволюцию (Chatterjee et al., 2014), продемонстрировав, что для поиска «решений» путем естественного отбора потребовалось бы слишком много времени: часто на решение повседневных биологических «проблем» (например, оптимизации функции одного гена) требуется не поддающееся вычислению количество времени (сильно превышающее время существования Вселенной). (См. примечание 9 к главе 1, где рассказывается, как Чаттерджи и Новак продемонстрировали, что одного только возникновения параллелизма у разных организмов и немного различных геномов еще недостаточно.) Поэтому на вопрос о том, располагает ли эволюция путем естественного отбора «достаточным пространством и временем» для того, чтобы решить обозначенные Стидманом проблемы, можно смело ответить «нет». Естественный отбор сделал много чудесного, но он не всемогущ. Майр (Mayr, 1995) и Лейн (Lane, 2015) напоминают, что ему удалось создать сложную форму жизни всего один раз. Как и язык. Наряду с Шоном Райсом (Sean Rice, 2004) мы считаем, что оптимизм, который Стидман

связывает с естественным отбором, направлен не по адресу. Он вызван одним из самых широко распространенных заблуждений по поводу эволюции.

- 10 Мы не будем касаться тех подходов, которые связаны с перемножением матриц, включая тензорные вычисления, ставшие популярными не так давно в сфере компьютерной лингвистики. Эта тема раскрыта в других работах (Humplik, Hill and Nowa, 2012).
- 11 Особенно яркая иллюстрация этого недопонимания, связанного с древовидной структурой, представлена в работе Маркуса (Marcus, 2009). Он утверждает, что допустил ошибку в своей книге *The Algebraic Mind* (Marcus, 2001), написав: «У разума есть реализованный с помощью нейронов способ представления “произвольных деревьев”, например синтаксических деревьев, часто используемых в лингвистике» (2009: 17). Действительно, он ошибся, но не потому, что существование лингвистических деревьев подразумевает, будто эти деревья обязательно должны быть реализованы на нейронном уровне. Такой необходимости нет, поскольку лингвистические деревья вообще не являются обязательным элементом лингвистической теории. Маркус также пытается доказать, что ассоциативная память ведет себя точно так же, как можно было бы ожидать от реальной нейронной системы человека, и поэтому ассоциативная память плохо сопоставима с иерархической древовидной структурой. Это вторая ошибка Маркуса.

- ¹² Недавно вышла новая работа, в которой выдвинуто предположение, что мартышкам мона присущ тот же процесс «словообразования», что и человеческому языку: когда к корню добавляется аффикс. Это спорное утверждение. В любом случае тут необходимые вычисления даже более простые, чем в обычном конечном автомате, и не конструируются никакие иерархические репрезентации (опять же в отличие от человеческого языка). Это видно на знакомых примерах: в слове *unlockable* («неблокируемый») можно проследить как минимум два способа иерархического структурирования с двумя различными значениями — *(unlock)-able* или *un-(lockable)*. Анализ показывает, что данный процесс не ассоциативный, а все конечные автоматы по определению могут генерировать только ассоциативные языки.
- ¹³ К сожалению, ученые, имевшие отношение ко всем прочим исследованиям «языка животных», например к эксперименту с бонобо Канзи, не предоставили нам полного доступа к полученным данным, поэтому Йанг не имел возможности применить свой метод к результатам других исследований.
- ¹⁴ Недавно проведенные исследования, в которых приняли участие 225 жителей Эфиопии и Египта, свидетельствуют о том, что миграция происходила по северному маршруту — через Египет, а не по южному — через Эфиопию и Аравийский полуостров. Это произошло приблизительно 60 000 лет назад (Pagani et al., 2015).

- ¹⁵ Безусловно, в «нормальных» человеческих популяциях присутствует языковая вариативность, которая остается за границами секвенирования генома. Как упоминалось в главе 2, фактор транскрипции FOXP2 отвечает за регуляцию целевого гена CNTNAP2, кодирующего трансмембранный белок нейрексин. По данным международного проекта «1000 геномов», у людей европейского происхождения (популяция CEU) в этом гене проявляется однонуклеотидный полиморфизм (SNP). Кос и соавторы (Kos et al., 2012) изучили вопрос о том, повлияли ли эти геномные вариации на обработку языка у «нормальных» взрослых людей (то есть тех, у кого не наблюдалось никаких отклонений в гене FOXP2). Они обнаружили небольшие различия, зависящие от варианта однонуклеотидной замены (SNP, одной «буквы» ДНК) в гене CNTNAP2. В свою очередь, Хугман и соавторы (Hoogman et al., 2014) не обнаружили никаких языковых фенотипических различий у людей без патологических изменений в гене FOXP2.

НОАМ ХОМСКИЙ, РОБЕРТ БЕРВИК

ЧЕЛОВЕК ГОВОРЯЩИЙ

ЭВОЛЮЦИЯ И ЯЗЫК

Человеческий язык — уникальная система общения, которая есть только у *Homo sapiens*.

- Почему и, главное, зачем мы научились разговаривать?
- Почему любой из нас в раннем детстве легко и непринужденно усваивает родной язык, а изучение иностранных языков — непростое дело?
- Существовал ли язык неандертальцев, доводилось ли нашим предкам с ними разговаривать?
- Что такое гипотеза лингвистической относительности и как она влияет на наше понимание природы человека?

Ответы на эти и многие другие вопросы вы найдете в книге Ноама Хомского — величайшего, эксцентричного и неукротимого лингвиста современности, — написанной в соавторстве с Робертом Бервиком, специалистом по искусственному интеллекту.

 **ПИТЕР®**

Заказ книг:
тел.: (812) 703-73-74
books@piter.com

WWW.PITER.COM
каталог книг
и интернет-магазин

 vk.com/piterbooks

 [instagram.com/piterbooks](https://www.instagram.com/piterbooks)

 [facebook.com/piterbooks](https://www.facebook.com/piterbooks)

 [youtube.com/ThePiterBooks](https://www.youtube.com/ThePiterBooks)

ISBN 978-5-4461-0915-9



9 785446 109159