

© 2006 г. И.А. СЕКЕРИНА

МЕТОД ВЫЗВАННЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ МОЗГА В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ПСИХОЛИНГВИСТИКЕ

Статья посвящена описанию метода вызванных потенциалов мозга, заимствованному психолингвистикой из нейронауки и позволяющему непосредственно исследовать внутреннюю организацию языка как психический феномен, порождаемый мозгом, наблюдать реакцию мозга при восприятии и понимании языка.

1. ВВЕДЕНИЕ

Функциональная гибкость языка и его эффективность как средства общения обуславливаются двумя главными факторами: его внутренней иерархической организацией и наличием биологического субстрата, человеческого мозга. Традиционно лингвисты представляют язык в виде знаковой системы, состоящей из уровней – фонетического, фонологического, морфологического, синтаксического, семантического и дискурсивного. Так, фонетика изучает звуки языка и то, как они производятся, передаются и воспринимаются. Абстрактные характеристики звуков, которыми определяются фонемы, изучаются фонологией. Сочетания фонем, образующие самостоятельные языковые единицы, имеющие значения, обозначаются морфемами, а словообразовательные и словоизменяющие процессы составляют предмет морфологии. Сочетания морфем и слов образуют синтагмы, предложения и тексты (дискурсы), и особенности этих сложных языковых единиц составляют предмет синтаксиса. Цель этого поэтапного процесса – переход от звука к смыслу высказывания, а результат – смысловое восприятие речи.

Очевидно, однако, что наличие внутренней иерархической организации само по себе не может служить доказательством эффективности языка как средства общения; иначе как тогда объяснить тот факт, что только человек обладает языковыми способностями? Усвоение языка, его использование и языковое творчество могут объясняться только при одновременном наличии обоих необходимых условий: внутренней языковой организации и особенностей строения человеческого мозга. Какова взаимосвязь этих двух факторов? Представлен ли язык в мозгу человека в виде иерархических уровней, т.е. так, как его описывает лингвистика?

С одной стороны, мы можем смело ответить на последний вопрос утвердительно. Действительно, сочетания фонем воспринимаются и порождаются мозгом не так, как синтаксические фразы или смысл целого предложения. В этом плане языковые единицы разных иерархических уровней, выделяемые в лингвистике, имеют свои собственные, уникальные ментальные представления. С другой стороны, однако, языковые явления, изучаемые в лингвистике, принято делить на относящиеся либо к сфере языковой компетенции, либо к сфере языковой деятельности. Языковая компетенция определяется абстрактными единицами, например, фонемами, морфемами и синтагмами, которые оторваны от реального времени и пространства. В противоположность этому функционирование мозга представляет собой языковую деятельность, т.е. процесс, имеющий конкретные пространственно-временные характеристики, значимость которых трудно переоценить. Очевидно, что соответствие между абстрактными языковыми единицами, выделяемыми в лингвистике, и их ментальными представлениями, порождаемыми мозгом, не может быть взаимооднозначным. В качестве иллюстрации

приведем процесс визуального распознавания букв. На его ранних стадиях мозг одинаково реагирует не только на сочетания букв, соответствующих фонотактическим правилам языка, а именно на слово *масло* и псевдослово *макло*, но и на сочетания, которые эти правила нарушают (*мсло*).

Данная статья построена следующим образом. В разделе 2 кратко описывается метод вызванных потенциалов мозга, начиная с характеристики самих вызванных потенциалов (раздел 2.1) и кончая конкретным описанием того, как проводится психолингвистический эксперимент с использованием этого метода (раздел 2.2). Раздел 3 посвящен обзору основных результатов экспериментальных психолингвистических исследований в области распознавания слов (раздел 3.1), синтаксического анализа предложения в процессе понимания (раздел 3.2), роли оперативной памяти (раздел 3.3) и семантическому анализу (раздел 3.4). Раздел 4 представляет собой конкретный пример эксперимента по применению метода вызванных потенциалов при исследовании порядка слов в разных языках, а разделы 5 и 6 описывают аналогичный эксперимент на материале русских предложений со свободным порядком слов.

2. МЕТОД ВЫЗВАННЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ МОЗГА

2.1. Краткое описание вызванных потенциалов

Метод вызванных потенциалов (ВП) мозга основан на записи электроэнцефалограммы (ЭЭГ), которая измеряет спонтанную ритмическую активность мозга, происходящую с разной частотой [Kutas, Dale 1997]. Вызванными потенциалами (event-related potentials, ERPs) называются биоэлектрические сигналы мозга, которые появляются с постоянными временными интервалами после определенных внешних воздействий, или стимулов. Выделяются следующие характеристики потенциала: форма (наличие или отсутствие пиков), латентность (временной промежуток от момента подачи стимула до появления пика), длительность и амплитуда пиков. Каждый потенциал представляет собой синусоидальную волну, амплитуда которой изменяется во времени, и при этом полярность участков волны меняется от положительной к отрицательной. Участки волны разной полярности принято называть *компонентами* и обозначать латинскими буквами P (positive) и N (negative). В зависимости от периода времени анализа, т.е. времени возникновения мозговой активности после стимула, потенциалы подразделяются на коротколатентные, средне- и длиннолатентные. Коротколатентные потенциалы возникают уже через 10 мс после подачи стимула, в то время как среднелатентные после 100 мс, а длиннолатентные регистрируются значительно позднее, начиная от 300 мс и больше после сигнала.

В основе метода ВП лежит суммирование и усреднение большого количества потенциалов, каждый из которых сам по себе слишком слаб и часто не отличим от спонтанных ритмов, не имеющих отношения к сигналу. В течение определенного времени после подачи стимула производится вычисление амплитуд электросигналов мозга через временные интервалы, зависящие от частоты квантования. Полученные данные запоминаются и суммируются. В результате амплитуда стабильно возникающих после стимула потенциалов неуклонно возрастает, а амплитуда спонтанных ритмов в той же степени уменьшается. Для получения результирующих амплитуд ВП амплитуда в каждой точке усредняется, т.е. делится на число стимулов.

Вызванные потенциалы мозга широко применяются как в научных исследованиях, так и в клинической практике (см. [Гнездицкий 1997; 2003]). Для исследования языка в зависимости от модальности предъявляемого стимула используются сенсорные ВП двух типов – зрительные и слуховые. При этом значительно преобладают эксперименты, основанные на записи зрительных потенциалов, которые, например, исследуют то, как реагирует мозг на конкретный внешний сигнал в виде слова, представленного на экране компьютера. Метод ВП является важным методом изучения восприятия языка, потому

что вызванные потенциалы отражают процесс, который разворачивается в режиме реального времени и позволяет измерять несколько разных характеристик. В частности, ВП позволяют непосредственно судить о том, какая активность характеризует мозг до начала языкового сигнала, во время его восприятия и после его окончания, используя при этом частоту квантования в пределах миллисекунд. ВП могут продемонстрировать не только разницу между двумя критическими условиями в психолингвистическом эксперименте, но и охарактеризовать ее, например, показать наличие или отсутствие количественной / качественной разницы по длительности или амплитуде волн и их топологическое распределение по зонам коры головного мозга [Kutas, Fedemeier, Sereno 1999].

2.2. Методика

Оборудование. Для записи ВП используется лабораторное оборудование, в состав которого входят несколько компонентов: (1) компьютер для подачи стимулов и кнопочное устройство для записи ответов и времени реакции; (2) электродная шапочка (или сетка) и набор электродов к ней; (3) блок подключения электродов; (4) блоки приема и передачи и (5) блок усиления и компьютер для записи ВП (усреднитель).

Главным компонентом ВП системы является эластичная шапочка, к которой крепятся электроды (Рисунок 1а). Количество электродов, иначе еще называемых *каналами* (channels) или отведениями, обычно кратно 32, поэтому минимальное количество электродов тоже 32. Более распространенными являются шапочки с 64, 128 и 256 электродами. Системы, использующие 128 или 256 электродов, называются высокоплотными (high density). При психолингвистических исследованиях в основном используются системы с 64 или 128 электродами. На рисунке 1б изображена типовая конфигурация ВП системы с 64 электродами. Помимо 64 электродов на голове используются еще два контрольных электрода и четыре глазных электрода. Контрольные электроды, называемые мастоидными (mastoids), устанавливаются на черепные кости, расположенные непосредственно за мочками ушей (на рисунке 1б левый контрольный электрод изображен в виде черного кружка рядом с левым ухом). Контрольные электроды являются точками отсчета: электроэнцефалограмма вычисляется при помощи вычитания потенциалов, записанных на всех остальных точках головы, из потенциалов, записанных в контрольных точках. Четыре глазных электрода устанавливаются на лице. Глазные электроды записывают *электроокулограмму* (electrooculogram, EOG), т.е. вертикальные и горизонтальные движения глаз, которые впоследствии отфильтровываются.

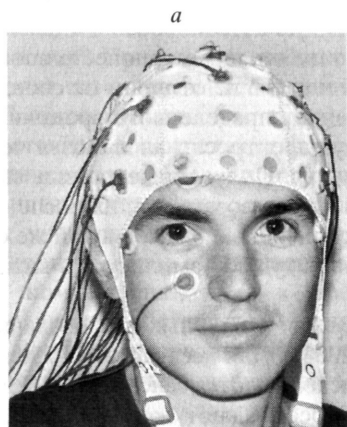


Рис. 1а. Шапочка с 64 вставляющимися электродами (компания Neuroscan)

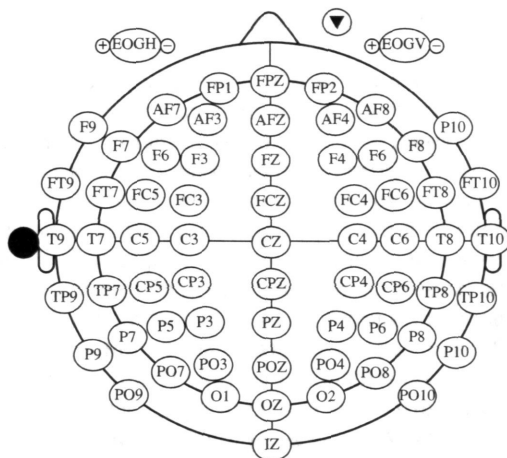


Рис. 1б. Топография 64 электродов

Головные электроды делятся на несколько групп, в зависимости от их расположения: на левой или правой стороне головы и, соответственно, на левом или правом полушарии и в разных долях. Электроды левого полушария имеют нечетные номера 1–9, правого – четные номера 2–10, при этом номера возрастают от центра к периферии. В соответствии с долями электроды делятся на следующие группы:

А – передние доли (anterior)

Р – задние доли (posterior)

Z – средняя линия (midline)

F – лобная линия (frontal)

T – височная линия (temporal)

C – центральная линия (central)

Pt – теменная линия (parietal)

O – затылочная линия (occipital).

Количество электродов, задействованных в эксперименте, может варьироваться в каждом конкретном случае.

Процедура проведения ВП эксперимента. Кресло испытуемого устанавливается на расстоянии одного метра от экрана компьютера, на котором предъявляются стимулы. Испытуемому объясняются необходимые детали: минимизировать произвольные мускульные движения, по возможности контролировать движения глаз и постараться не моргать во время чтения экспериментальных стимулов. ВП, вызванные движениями головы, других частей тела, и в особенности глаз, и морганием, считаются артефактами, и обычно удаляются из ЭЭГ в процессе автоматического фильтрации после окончания эксперимента. Задача испытуемого – быстро и внимательно читать появляющиеся на экране стимульного компьютера слова или фрагменты предложения и отвечать на контрольные вопросы.

Испытуемому дается кнопочное устройство для записи времени реакции, лаборатория затемняется и начинаются тренировочные блоки, задача которых ознакомить испытуемого с процедурой проведения эксперимента. Время реакции записывается, когда испытуемый нажимает на одну из двух кнопок на кнопочном устройстве после успешного прочтения стимула, а также правильность ответа на контрольный вопрос, который обычно следует за пофрагментным прочтением предложения. Контрольные вопросы обычно включаются в эксперимент для предотвращения механического чтения фрагментов предложений, во время которого испытуемый может просто ритмично нажимать на кнопки, не задумываясь над смыслом предложения. Подача слов или фрагментов предложений на экран стимульного компьютера и запись ответов испытуемого, т.е. его поведенческие результаты, правильность ответов и время реакции, контролируются программным обеспечением, отличным от программного обеспечения для усреднения и записи ВП.

После установки электродов на голове испытуемого (от 30 мин до 2 часов) и разъяснений по поводу задания и работы кнопочного устройства для записи ответов, лаборатория затемняется, и начинается разминка, состоящая из нескольких тренировочных блоков. Разминка необходима для того, чтобы добиться максимально идеальной процедуры проведения эксперимента. После окончания разминки включается программа, регистрирующая ВП, и начинается сам эксперимент. Эксперимент состоит из определенного количества блоков, от четырех и более, обычно в зависимости от количества условий в дизайне эксперимента (подробнее о дизайне см. раздел 6 данной статьи). Каждый блок обычно включает в себя в среднем 40 предложений, а между блоками устанавливается короткий перерыв для отдыха. Существуют разные варианты компоновки блоков, с отвлекающими предложениями и без. В отличие от более традиционных экспериментов с использованием методики с саморегуляцией скорости чтения, в ВП экспериментах отвлекающие предложения могут вообще не использоваться. Более того, общепринятой практикой является возможность повторения каждого экспериментального предложения два, а иногда и более раз. В остальном соблюдаются стандартные правила раз-

бивки предложений на блоки по условиям и их рандомизации (более подробно см. [Солсо, Джонсон, Бил 2001]). Таким образом, испытуемый в течение эксперимента увидит большое количество экспериментальных стимулов в каждом условии. Сбор большого количества однотипных данных диктуется необходимостью усреднять одноразовые потенциалы, для того чтобы получить картину реакции мозга на стимул каждого типа в виде усредненного ВП. Вспомним, что для получения хорошо дифференцированного ВП требуется как минимум 50 усредненных одноразовых потенциалов. Считается, что при проведении ВП эксперимента испытуемый в среднем может активно проработать около полутора часов при условии, что между блоками будут короткие перерывы для отдыха.

Итак, испытуемый читает слова или фрагменты предложения, предъявляемые в центре монитора стимульного компьютера с запрограммированной скоростью, т.е. он не имеет возможности контролировать длительность предъявления стимула. Длительность каждого стимула обычно колеблется в пределах 400–800 мс, в зависимости от длины слова или фрагмента, а время между стимулами обычно устанавливается в размере 100 мс. Такой способ предъявления стимулов называется быстрым серийным визуальным предъявлением (*rapid serial visual presentation, RSVP*). Таким образом, при скорости предъявления в 600 мс на прочтение предложения, разбитого на восемь слов или фрагментов, отводится 5,5 секунд. После окончания пофрагментного прочтения предложения испытуемый читает контрольный вопрос, предъявляемый на мониторе целиком, и отвечает на него, нажимая на соответствующую кнопку. В течение эксперимента параллельно идет сбор поведенческих данных (правильности ответов и времени реакции) и запись ВП мозга.

Обработка полученных данных. Обработка полученных данных состоит из двух независимых процедур: обработка поведенческих данных и ВП данных, причем обработка поведенческих данных всегда предшествует обработке ВП. По результатам правильности ответов на контрольные вопросы отфильтровываются испытуемые с количеством ошибок, превышающим 20%; принято считать, что такие испытуемые не проявили должного внимания и старания при прочтении экспериментальных предложений, а поэтому их данные как поведенческие, так и ВП, не отражают реальной картины того, как происходит восприятие таких предложений. Поведенческие данные оставшихся испытуемых статистически анализируются на предмет выявления статистически значимых закономерностей в ответах на контрольные вопросы и времени реакции при чтении стимулов. В качестве главного статистического теста используется дисперсионный анализ (*analysis of variance, ANOVA*), так как психолингвистические эксперименты обычно используют две и более независимые переменные с двумя и более уровнями (условиями).

Второй процедурой обработки полученных в результате эксперимента данных является статистический анализ ВП. Однако прежде чем записанные ВП поступают на вход статистического пакета, они проходят две процедуры фильтрации. Первая фильтрация ВП данных осуществляется автоматически: программа обработки ВП сканирует ЭЭГ, записанную от каждого испытуемого, помечает и затем выбрасывает те фрагменты, где находит большие пики, связанные с движениями глаз и головы испытуемого. Во время второй фильтрации экспериментатор работает с ВП данными, оставшимися после автоматического сканирования, и вручную помечает и выбрасывает те фрагменты, где имеются пики постороннего характера, оставшиеся незамеченными в процессе автоматической фильтрации. Процент выброшенных ВП фрагментов колеблется от испытуемого к испытуемому и от условий, в которых происходил эксперимент (например, при повышенной температуре в лаборатории часто наблюдаются систематические сдвиги волн), и иногда может достигать трети всех ВП результатов. После окончания процедур фильтрации программа выдает обобщенные данные о том, какое количество ВП осталось для каждого испытуемого с разбивкой по экспериментальным условиям.

Метод ВП широко используется для изучения всех этапов восприятия языка, начиная с распознавания слов и кончая процессом понимания сложных текстов [Kutas, Van Petten 1994; Osterhout 1994; Osterhout, Holcomb 1995]. Эти исследования показывают, что восприятие языка мозгом представляет собой совокупность ментальных процессов, происходящих в разное время и в разных измерениях. Эти ментальные процессы отличаются как по своим функциям (общие и специфические языковые), так и по тому, в какой степени они зависят от контекста и как взаимодействуют между собой во времени и пространстве.

3. ОТ ВОСПРИЯТИЯ ЯЗЫКА К ЕГО ПОНИМАНИЮ: ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ВП В ПСИХОЛИНГВИСТИКЕ

Первоначальной задачей мозга в самом начале процесса восприятия языка является опознавание стимула, будь то написанное или произнесенное слово, и его классификация. Поскольку мозг изначально не может предугадать тип поступающего стимула, самый первый этап его опознавания не может зависеть от того, является он языковым или неязыковым. Частично тип стимула угадывается, основываясь на таких факторах, как частотность и повторяемость. В процессе начального опознавания мозг обрабатывает информацию как по принципу “сверху-вниз” (top-down: стимул в контексте), так и по принципу “снизу-вверх” (bottom-up: уникальность стимула). Так, например, если человек слушает устную речь или читает написанный текст, мозг настроен на волну восприятия языковых стимулов; если же ситуация внеязыковая, то тот же самый стимул может первоначально анализироваться как неязыковой. В определенных контекстах возможно даже предугадать более конкретные, физические, параметры стимула: цвет, размер, шрифт, громкость, голос и т.п. То, что мозг обращает внимание на эти параметры, находит свое отражение в изменении таких ранних перцептивных ВП компонентов, как наличие позитивного (P1) или негативного (N1) пиков в течение первых 100 мс с начала поступления стимула. В зависимости от того, какова конечная цель опознавания, наблюдаются изменения и в более поздних ВП компонентах типа N2, N400, P3 и P600, речь о которых пойдет ниже.

3.1. Восприятие букв и слов

Итак, вне зависимости от того, используется ли в самом начале опознавания процедура обработки информации “сверху-вниз” или “снизу-вверх”, первым этапом при понимании языка является ранняя перцептивная классификация стимула. При чтении, например, процесс начинается с классификации стимула на (1) отдельный объект (буква) или совокупность объектов (слово), (2) на слова, отвечающие орфографическим правилам конкретного языка и нарушающие их, и (3) на возможные слова и псевдослова (т.е. совокупность букв, не являющихся настоящими словами данного языка).

При помощи метода вызванных потенциалов Шендан, Ганис и Кутас [Schendan, Ganis, Kutas 1998] провели экспериментальное исследование процесса ранней перцептивной классификации визуальных объектов. Испытуемым были представлены три вида таких объектов: (1) цельные объекты-предметы, (2) сочетания букв (настоящие слова, псевдослова и наборы, состоящие из элементов, похожих на буквы) и (3) сочетания графических элементов. Было обнаружено, что на этапе первых 95 мс мозг отличает цельный неделимый предмет от сочетаний элементов; этот процесс характеризуется ранним негативным компонентом N100 (early negativity), особенно ярко выраженным на электродах средней линии теменной доли коры головного мозга. На следующем этапе происходит классификация сочетаний на сочетания, состоящие из букв и объектов, похожих на буквы, и на сочетания графических элементов. Этот результат позволил авторам прийти к заключению, что вследствие многолетней привычки к чтению мозг людей развил в себе способность скоростного опознавания стимулов, состоящих из букв. На третьем этапе классификации, происходящем в течение первых 200 мс с начала подачи стимула,

осуществляется последующее разделение сочетаний букв на настоящие слова и псевдослова. Похожие временные рамки и классификационные этапы характеризуют и процесс опознавания устной речи: слуховые ВП при прослушивании настоящих слов и псевдослов не отличаются на этапе первых 150 мс, а начинают отличаться только в районе 200–250 мс.

Необходимо отметить, однако, что несмотря на то, что ВП позволяют очень точно определить тот момент времени, в который мозг заметил разницу между двумя стимулами, вызванные потенциалы сами по себе не объясняют, что означают эти различия и каким образом они используются на последующих этапах восприятия. Таким образом, тот факт, что настоящие слова и псевдослова вызывают разные ВП на этапе 200–250 мс, не следует воспринимать как бесспорный аргумент в пользу того, что мозг расклассифицировал языковые стимулы именно так, как это делается в лингвистике. Возможно, что эти различия вызваны другими факторами, например, тем, что один вид стимула (псевдослова) содержит в себе менее привычные (низкочастотные) сочетания букв. Действительно, псевдослова, в отличие от произносимых сочетаний букв, продолжают восприниматься мозгом как настоящие слова (правда, только с точки зрения компонентов, а не их размера и длительности) в течение последующего временного интервала 200–400 мс. По прошествии этого интервала произносимые псевдослова отделяются от настоящих слов тем, что характеризуются наличием компонента N400 (т.е. негативным пиком примерно в районе 400 мс после начала стимула). Эти две гипотезы (семантическая классификация на слова / псевдослова и чисто частотная классификация на часто / редко встречающиеся сочетания букв или звуков) составляют важное направление исследований в области опознавания и классификации языковых стимулов в современной экспериментальной психофизиологии и психолингвистике.

Компонент N400 занимает особое место в психолингвистических исследованиях такого рода. Именно в районе 400 мс после начала стимула, как показывают ВП, мозг начинает отличать настоящие слова от псевдослов, и именно на этом этапе возникает различие в словах, связанное с частотой их употребления в данном конкретном языке. Кинг и Кутас [King, Kutas 1998] обнаружили, что длительность левой передней негативности, LAN (left anterior negativity), в районе 200–400 мс после начала стимула коррелирует с частотностью слова в данном языке, а именно, компонент N400 является реакцией мозга на низкочастотные слова, а более частотные слова такого компонента не вызывают. Мозг, соответственно, быстрее опознает слова, которые ему лучше известны.

Интересно, что это различие в скорости, с какой распознаются слова на раннем этапе, имеет серьезные последствия для последующих этапов восприятия речи. Так, та разница, которая выявлена при восприятии знаменательных частей речи типа глаголов, существительных, прилагательных и наречий, и служебных слов (артиклей и предлогов), во многом определяется различием по частотности [Osterhout, Bersick, McKinnon 1997]. Важно отметить, что это отнюдь не означает, что существует четко определенный момент или место запоминания частотности слова. Частотность слова оказывает влияние на многие процессы восприятия речи, включая лексический доступ к слову, извлечение ассоциативной фонологической и семантической информации из долговременной памяти, хранение слова и его ассоциаций в рабочей памяти и т.п. Эксперименты при помощи метода ВП ясно демонстрируют, как по-разному влияет частотность слова на процесс его дальнейшего восприятия. Например, при прочих равных условиях, в отсутствие контекста амплитуда компонента N400 обратно пропорциональна частотности слова [Van Petten, Kutas 1991]. Простое повторение слова в процессе эксперимента тоже уменьшает амплитуду N400. Из этого следует, что присутствие и характеристики компонента N400 напрямую зависят от извлечения семантической информации о данном конкретном слове из долговременной памяти и ее интеграции в контексте конкретного предложения.

3.2. Восприятие словосочетаний и синтаксический анализ предложений

Способность мозга различать высоко- и низкочастотные слова распространяется на другие языковые единицы, а именно, на высоко- и низкочастотные словосочетания и

синтаксические конструкции. Например, результаты ВП исследований демонстрируют, что мозг по-разному реагирует на то, насколько прагматически велика вероятность анафорической связи между местоимением и его антецедентом. Когда название профессии типа *госсекретарь* находится в анафорической связи с личным местоимением в мужском роде *он*, на этапе 200 мс наблюдается меньшая амплитуда LAN-компонента по сравнению с местоимением в женском роде *она* [King, Kutas 1995]. В случае с местоимением в женском роде мозг склонен считать, что *он* скорее всего относится к какому-то новому участнику ситуации, поскольку анафорическая связь *она* – *госсекретарь* является прагматически маловероятной. В этом случае большая амплитуда негативности LAN-компонента отражает нагрузку на рабочую память, так как человеку приходится держать в памяти информацию о двух участниках дискурса, а не просто об одном госсекретаре. Таким образом, можно заключить, что процесс понимания местоимений находит свое отражение в реальных ВП, а их характеристики могут помочь определить характер устанавливаемой в рабочей памяти анафорической связи между местоимением и существительным-антецедентом.

Вероятность или ожидаемость конкретной синтаксической структуры играет важную роль и в том, как мозг воспринимает разные аспекты грамматической информации в предложении. Многие виды грамматических нарушений вызывают так называемый компонент Р600, “позднюю позитивность” (late positivity), иначе называемый *позитивным синтаксическим сдвигом* (the syntactic positive shift, PSP) [Osterhout, Holcomb 1992; Nagoort, Brown, Groothusen 1993]. Начало этого компонента может варьироваться, но его пик в среднем приходится на этап 600 мс после подачи стимула. Топографически компонент Р600 более всего заметен в задних долях коры головного мозга (хотя в литературе есть упоминания и о некоторой активности передних долей). Р600 обычно появляется в тех случаях, когда структура предложения содержит нарушения грамматических правил языка, например, при неправильном согласовании подлежащего и сказуемого по числу: англ. **they was* ‘они был’, при наличии местоимения в неправильном падеже **the plane took we to Italy* ‘самолет, который доставил мы в Италию’, или при неправильном порядке слов внутри словосочетания **Max’s of proof the theorem* ‘Максом доказательство теоремы’. Следует отметить, что Р600 вызывается не только грамматическими нарушениями, но и в тех случаях, когда механизм восприятия языка сталкивается с дополнительной нагрузкой, возникающей при анализе сложных синтаксических конструкций (о чем более подробно пойдет речь ниже, в разделе 4, посвященном использованию метода ВП для исследования порядка слов в разных языках).

С чем же именно связано появление компонента Р600? Кулсон, Кинг и Кутас [Coulson, King, Kutas 1998] исследовали ВП, возникающие при грамматических нарушениях двух видов, а именно, при постановке местоимения в неправильный падеж и при неправильном согласовании подлежащего со сказуемым. В процессе эксперимента варьировалась частота встречаемости этих нарушений. Оказалось, что компонент Р600 возникал всякий раз, когда испытуемый реагировал на грамматическое нарушение, но при этом реже встречающиеся грамматические нарушения вызывали Р600 с большей амплитудой, чем часто встречающиеся нарушения. Более того, даже правильные синтаксические конструкции вызывали Р600, если их было меньше, чем конструкций с грамматическими нарушениями. Отсюда следует, что та же самая область мозга, которая реагирует на грамматические нарушения, реагирует и на их вероятность / частотность. В отличие от компонента N400, кратко описанного выше, компонент Р600 обычно не наблюдается при семантических аномалиях; он возникает в основном как реакция на морфосинтаксические нарушения в языке. Можно сделать вывод, что синтаксический анализ предложения начинается с оценки вероятности данной синтаксической конструкции в языке, и эта вероятность постоянно обновляется в соответствии с текущим опытом человека. Может ли Р600 возникать в результате других, лингвистических факторов, остается вопросом для дальнейших исследований.

3.3. Роль памяти при синтаксическом анализе предложений

Итак, мозг быстро реагирует как на лексическую и синтаксическую частотность, так и на то, насколько недавно данный конкретный стимул уже встречался при анализе. При этом амплитуда ВП варьируется в зависимости от характеристик стимула, начиная с физических параметров и заканчивая его сочетаемостью с другими стимулами, которые вместе могут образовывать словосочетание или предложение. Очевидно, что реакция мозга на то, как конкретный стимул взаимодействует со своим окружением, отражает важность синтагматических связей между единицами языка и их место в процессе семантического анализа текста. Семантический анализ словосочетания, предложения и, в конечном итоге, текста зависит от того, как разные слова соотносятся друг с другом и как они и их составляющие соотносятся с общим знанием о мире, хранящемся в долговременной памяти. Исследования с помощью метода ВП, в частности, позволяют охарактеризовать процесс установления подобных отношений между словами и их интеграцию с уже существующими в памяти знаниями.

Языковые единицы, которые отделены друг от друга во времени и пространстве, тем не менее связаны между собой многими отношениями. Восприятие таких разрывных составляющих осложнено необходимостью их временного хранения в рабочей памяти. Даже простые повествовательные предложения типа *В тот самый день Маргарита проснулась около полудня в своей спальне* вызывают нагрузку на рабочую память. Например, при анализе местоимения *своей* необходима отсылка на именную группу *Маргарита*, а конкретная грамматическая информация, относящаяся к подлежащему (единственное число, женский род), требует согласования сказуемого по числу и роду. Очевидно, что более сложные синтаксические конструкции, как, например, сложноподчиненные предложения с определительным придаточным, распространяющим подлежащее типа *Всё та же непонятная тоска, которая уже приходила на балконе, пронизала всё его существо*, требуют еще больших ресурсов памяти, чем простые повествовательные предложения. Необходимо установить связь между словами *тоска* и *которая*, являющимися подлежащими в главном и в придаточном предложениях. Однако даже такие предложения воспринимаются легче, чем сложноподчиненные предложения, в которых определительное придаточное относится не к подлежащему, а к прямому дополнению типа *Разрушение, которое Маргарита производила, доставляло ей жгучее наслаждение*. Здесь подлежащее главного предложения *разрушение*, к которому относится определительное придаточное, отличается от подлежащего придаточного *Маргарита*, что и является причиной дополнительной нагрузки на память при восприятии.

Метод ВП позволяет экспериментально проверить гипотезу о том, что эти два вида сложноподчиненных предложений связаны с различной нагрузкой на рабочую память в процессе их восприятия [Friederici, Steinhauer, Mecklinger, Meyer 1998]. При проведении подобных экспериментов у испытуемых сначала собирают данные, позволяющие охарактеризовать их индивидуальные когнитивные способности и разделить на группы с разным объемом оперативной памяти (working memory “span”). ВП, записанные у испытуемых в процессе эксперимента, рассматривают как функцию от наличия и типа структурной сложности воспринимаемых предложений. Так, например, Кинг и Кутас [King, Kutas 1998] сравнили ВП, записанные в процессе восприятия сложноподчиненных предложений с определительным придаточным, относящимся либо к подлежащему (1а), либо к прямому дополнению в главном предложении (1б):

- (1) a. The reporter₁ who₁ followed₁ the senator admitted the error.
Журналист, который следил за сенатором, признал свою ошибку
б. The reporter₁ who₁ the senator followed₁ admitted the error.
Журналист, за сенатор следил, признал свою ошибку
которым

Испытуемые читали такие предложения пословно при помощи метода быстрого серийного визуального предъявления (см. раздел 2.2). При анализе предложения (1б) к моменту появления в предложении второй именной группы (ИГ) *the senator* 'сенатор' испытуемый вынужден продолжать хранить в оперативной памяти ИГ1 *the reporter* 'журналист'. По сравнению с предложением (1а) ИГ2 в предложении (1б) вызвала LAN-компонент (левую переднюю негативность) с большей амплитудой у людей с большим объемом оперативной памяти. В противовес этому, амплитуда LAN-компонента у людей с меньшим объемом оперативной памяти была большой, но при этом была одинаковой в обоих типах предложений, подтверждая тем самым гипотезу, что при меньшем объеме оперативной памяти нагрузка на память возникает и при более легких предложениях типа (1а). По результатам этого, а также подобных экспериментов с устной речью был сделан вывод, что левая передняя негативность является компонентом, который характеризует общую нагрузку на оперативную память, вне зависимости от модальности поступающего стимула (визуальной или слуховой). Подтверждение этому предположению было найдено при анализе простых предложений с заполнителем / пропуском (*filler-gap dependencies*; см. [Секерина 2001]) типа вопросительных *Who_i did the doctor cure _i?* 'Кого вылечил доктор?'. В таких предложениях заполнитель *who* 'кого' связан с пропуском на месте прямого дополнения после глагола *cure* 'вылечил', и ВП англоговорящих испытуемых на месте пропуска характеризуются LAN-компонентом [Kluender, Kutas 1993].

Надо отметить, что влияние оперативной памяти в процессе синтаксического анализа предложений наиболее заметно в длиннотатентных ВП, которые протекают не так коротечно, как N400 и P600. Так, например, при восприятии сложноподчиненных предложений с разными определительными придаточными (распространяющими либо подлежащее, либо прямое дополнение) испытуемые с большим объемом оперативной памяти демонстрируют так называемый *длительный позитивный сдвиг* в передних долях головного мозга, и этот сдвиг наблюдается на протяжении всего придаточного предложения. У испытуемых с меньшим объемом оперативной памяти этот длительный позитивный сдвиг не наблюдается. Этот компонент можно обнаружить при анализе даже простых предложений с переходными глаголами; при этом у людей с большим объемом оперативной памяти длительный позитивный сдвиг значительно более выражен, чем у людей с меньшим объемом. Люди с меньшим объемом оперативной памяти обычно характеризуются ярко выраженным сложным компонентом P1-N1-P2 на этапе раннего, перцептивного, распознавания слов. На этом основании можно сделать заключение, что люди с меньшим объемом оперативной памяти затрачивают значительно больше усилий на низших, перцептивных, уровнях восприятия стимула, чем люди с большим объемом, и поэтому у них остается меньше ресурсов для восприятия сигнала на высших, когнитивных, уровнях, для которых характерен длительный позитивный сдвиг. Эта гипотеза подтверждается и данными ВП экспериментов с людьми пожилого возраста: их вызванные потенциалы очень похожи на ВП молодых людей с меньшим объемом оперативной памяти.

Итак, можно прийти к выводу, что приведенные выше результаты ВП экспериментов подтверждают гипотезу, ранее сформулированную на материале поведенческих экспериментов: процесс восприятия языка напрямую связан с хранением и извлечением информации из оперативной памяти [Carpenter, Just 1989]. Только прибегая к помощи оперативной памяти, мозг в состоянии воспринимать и перерабатывать сложные взаимоотношения между разными частями языкового стимула, разворачивающиеся во времени и пространстве. Структуры, которые отвечают за внимание, тоже оказываются активно задействованными в этом процессе: если возникает необходимость обратить особое внимание на процесс распознавания языкового стимула на низших, перцептивных, уровнях, то остается меньше ресурсов на его обработку на высших, когнитивных, уровнях.

3.4. Семантический анализ в процессе восприятия

Обратимся теперь к процессу установления смысла высказывания. В конечном итоге воспринимаемый языковой стимул должен быть осмыслен и соотнесен с общим знанием о мире, которое хранится в долговременной памяти. Слова, как известно, являются знаками, а связь между значением и формой знака устанавливается произвольно. Эта способность человека употреблять, запоминать и комбинировать огромное количество знаков в разных семиотических системах является одним из ведущих факторов, которые выделяют человека среди других биологических видов. На начальном этапе восприятия слова представляют собой не что иное, как физические сигналы, и их визуальные или акустические параметры подлежат распознаванию и перцептивной классификации. В конечном счете, именно слова оказываются теми ключами, которые открывают доступ к пластам информации, хранящейся в долговременной памяти человека. Ассоциативные связи слов устанавливаются благодаря многочисленным перцептивным явлениям, которые способствовали возникновению и укреплению исходных ассоциативных сетей. Так, например, слово *морковка* включает в свою ассоциативную сеть такие перцептивные характеристики, как форма и цвет, запах, вкус, гладкость и упругость, звук похрустывания при еде и т.д. Вопросы, связанные с устройством долговременной памяти (ее внутренняя организация, виды информации и доступ к ним), составляют одно из наиболее активно разрабатываемых направлений в современной когнитивной психологии и нейронауке.

При помощи метода ВП можно исследовать, какими видами информации, относящейся к словам, пользуются слушатели и читатели при восприятии устной и письменной речи и каковы временные параметры этого процесса. Кроме того, поскольку ВП обладают очень точной временной разрешающей способностью (можно четко выделить потенциалы, характеризующие слово, предложение или текст), этот метод широко применяется при исследовании вопроса о том, как информация о конкретных словах обобщается для установления смысла всего предложения. Уже на раннем этапе восприятия языкового стимула (250–300 мс после его восприятия) можно записать ВП, характеризующие отдельные аспекты установления смысла. Они отличаются негативностью, характеризующей в основном задние доли коры головного мозга правого полушария. При этом стимулы могут быть очень разными: слова и псевдослова, представленные визуально, устно или при помощи жестов [Holcomb, Neville 1990], картинки [Nigam, Hoffman, Simons 1992], лица [Barrett, Rugg 1989] и звуки окружающей среды, несущие семантическую нагрузку [Van Petten, Rheinfelder 1995]. Речь идет о компоненте N400, который был описан выше в разделе 3.1, посвященном частотности и повторяемости слов. N400 наблюдается в ВП нормальных взрослых и детей в процессе установления смысла языковых стимулов или стимулов, которые потенциально могут иметь смысл, как, например, псевдослова. Было высказано предположение, что компонент N400 возникает при поиске смысловой информации в долговременной памяти: действительно, амплитуда N400 зависит от факторов, которые оказывают существенное влияние на память (количество запоминаемых слов и промежуток времени между словами). Амплитуда компонента уменьшается, а длительность увеличивается с возрастом; эти же параметры претерпевают еще большие изменения в ВП испытуемых с различными формами деменции [Iragui, Kutas, Mitchiner, Hillyard 1993].

Итак, компонент N400 отражает определенные аспекты смысла, поскольку амплитуда этого компонента зависит от семантических характеристик предшествующего контекста, будь то просто отдельное слово, предложение или текст. В частности, амплитуда N400 при восприятии слова в списке уменьшается, если предшествующее ему слово связано с ним по смыслу. Холком и Невилл [Holcomb, Neville 1990] показали, что амплитуда N400 при восприятии слова *собака* уменьшается, если ему предшествует слово *кошка*, по сравнению с тем случаем, когда ему предшествует слово *чашка*. На уровне предложения амплитуда N400 уменьшается в зависимости от того, насколько хорошо слово вписывается в контекст. Когда семантика слова совершенно не отвечает контексту, на-

пример, *Он пьет кофе с сахаром и сосиской*, амплитуда N400 самая большая. Если слово с натяжкой может быть употреблено в данном контексте *Он пьет кофе с сахаром и медом*, амплитуда N400 уменьшается, но она все равно больше, чем в семантически предсказуемых предложениях *Он пьет кофе с сахаром и сливками* [Kutas, Hillyard 1984]. Зависит амплитуда N400 и от характера текста. Предложения *Мышка медленно спряталась в норку* и *Мышка быстро спряталась в норку* вне контекста являются семантически приемлемыми. Однако, если предложению предшествует контекст типа *Заглянув под стол, кошка обнаружила мышку, поедавшую крошки. Мышка...*, наречия *медленно* и *быстро* уже будут восприниматься по-разному, а именно, амплитуда N400 будет значительно больше для слова *медленно*, чем для слова *быстро* [van Berkum, Nagoort, Brown 1999]. Таким образом, лексические, семантические и дискурсивные факторы в равной мере начинают оказывать свое влияние на процесс установления смысла на этапе 400 мс. Дополнительные доказательства в пользу гипотезы о том, что N400 характеризует процесс семантической интеграции, можно найти в литературе, посвященной афазии. Свааб, Браун и Хагурт [Swaab, Brown, Nagoort 1997] показали, что у больных афазией с нарушением понимания средней и тяжелой степени N400 начинается с задержкой и его амплитуда значительно ослаблена; при этом подобная картина отсутствует у больных с эквивалентными поражениями правого полушария.

Если N400 отражает поиск информации в памяти, то можно прийти к заключению, что информация о слове существует в некотором ментальном пространстве, параметры которого определяются нашим опытом. Мы можем составить представление о том, каковы эти параметры, при помощи экспериментов, использующих классификацию и определение логической правильности предложений. Контекст, а также другие факторы, от которых зависит амплитуда N400 (например, частотность и повторяемость), служат ориентирами для поиска информации в разных точках этого пространства. Обычно это такие точки, которые облегчают последующий поиск значения слов. Эта гипотеза подтверждается результатами следующего эксперимента [Fedemeier, Kutas 1999]. Испытуемым предложили прочитать следующую пару предложений (2):

- (2) а. Анна хотела побаловать гостей настоящим американским десертом.
б. Она вышла в сад и сорвала несколько_____.

Можно закончить (2б) разными способами: (1) наиболее отвечающим контексту и ожидаемым словом *яблок*, (2) неожиданным словом *апельсинов*, но из той же семантической категории, или (3) неожиданным словом из другой семантической категории *помидоров*. Два последних варианта, неожиданные слова по сравнению с ожидаемым окончанием, вызвали у испытуемых N400. Однако несмотря на то, что оба слова, *апельсинов* и *помидоров*, не подходят в данном контексте, неожиданное слово из той же семантической категории *апельсинов* вызвало N400 с меньшей амплитудой, чем неожиданное слово из другой семантической категории *помидоров*. Уменьшение амплитуды коррелирует с семантической конгруэнтностью слова, т.е. с тем, насколько это слово ожидается в данном контексте. Можно сделать вывод, что компонент N400 связан с организацией общего знания о мире (яблоки и апельсины имеют больше общих черт, чем яблоки и помидоры), а также с тем, как соотносятся слова и контекст, в котором они встречаются. На более абстрактном уровне можно утверждать, что процесс установления смысла предложения напрямую связан со структурой общего знания о мире в долговременной памяти.

4. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРЯДКА СЛОВ С ПОМОЩЬЮ ВП МЕТОДА

4.1. Проблема порядка слов в теоретической лингвистике

Экспериментальные исследования в рамках формальной психолингвистики, посвященные проблеме свободного порядка слов в разных языках, начали появляться в середине 1990-х годов, после того как эта проблема привлекла к себе пристальное внимание

теоретиков-лингвистов. В теории генеративной грамматики явление свободного порядка слов получило название *скрэмлинга* (scrambling) [Ross 1967]. Были предложены две интерпретации скрэмлинга. Хомский предложил рассматривать предложения с неканоническим порядком слов как результат передвижения ИГ из позиции, в которой она стояла в глубинной структуре предложения, в другую позицию в поверхностной структуре предложения. Так, например, в английском вопросительном предложении (3) вопросительная ИГ *what song* 'какую песню' передвигается из канонической позиции прямого дополнения в начало предложения, оставляя за собой пустую категорию-пропуск. Эта операция получила название α -Перемещение [Казенин, Тестелец 2001; Кондрашова, 2001].

(3) [What song]₁ did the children perform __₁ at the concert?

Какую песню дети исполнили на концерте

Применяя операцию α -Перемещения в повествовательных предложениях, можно получать предложения со свободным порядком слов, как это проиллюстрировано на примере немецкого языка в (4):

(4) Vielleicht will [den Physiker]₁ der Peter __₁ überlisten.

Возможно хочет врача Петер перехитрить

Идея о том, что скрэмлинг получается в результате перемещения ИГ и является разновидностью α -Перемещения, нашла широкую поддержку среди специалистов, занимающихся синтаксисом самых разных языков. Однако другие исследователи выдвинули альтернативную теорию: предложения со свободным порядком слов порождаются непосредственно, как они есть, с соответствующей именной группой в начале предложения и не являются результатом перемещения [Karimi 2003]. При этом и та, и другая идея пока не получили неопровержимых доказательств в свою пользу. Такое неопределенное состояние дел в теоретической лингвистике дало толчок к поиску эмпирических аргументов в пользу первой или второй теории. Предыдущий опыт показывает (как, например, в споре по поводу пустых категорий), что психолингвистические результаты могут представлять собой как раз тот недостающий аргумент в пользу того или иного теоретического осмысления лингвистической проблемы.

4.2. Использование ВП метода при исследовании порядка слов

Первые психолингвистические эксперименты, посвященные скрэмлингу, опирались на поведенческие методы, а именно, опросники, чтение с саморегуляцией скорости и кросс-модальный прайминг [Секерина 2001]. Особенное распространение такие эксперименты получили среди немецких психолингвистов, для которых проблема скрэмлинга является актуальной как для теоретической лингвистики (синтаксис), так и для прикладной (машинный перевод, теория усвоения языка). Несколько групп немецких исследователей в разных университетах [Bader, Meng 1999; Schlesewsky, Fanselow, Kliegl, Krems 1998] показали, что вопросительные предложения с обратным порядком слов, *wh*-OSV, в немецком языке обычно интерпретируются испытуемыми как *wh*-SOV. Предложения с каноническим порядком слов SOV прочитываются быстрее, чем предложения OSV со скрэмлингом. Подобные результаты принято считать аргументом в пользу теории о когнитивной нагрузке в процессе понимания, вызванной синтаксическим перемещением ИГ и необходимостью ее держать в оперативной памяти [Gibson 1998]. Фэдерстон и его коллеги [Clahsen, Featherston 1999; Featherston 1999] провели серию экспериментов, используя метод кросс-модального прайминга, и обнаружили, что на месте пропуска время реакции испытуемых на слово-прайм, семантически связанное с передвинутой ИГ, было значительно быстрее, чем в контрольных предложениях. Они сделали вывод, что эти результаты подтверждают теорию скрэмлинга как перемещения для немецкого языка.

Если на чтение вопросительных предложений и предложений со свободным порядком слов уходит больше времени, чем на чтение предложений с прямым порядком слов, то можно сделать вывод только о том, что оба вида предложений связаны с когнитивной нагрузкой, но нельзя установить, вызвана ли эта нагрузка одними и теми же факторами. Фридеричи, Шлезевский и Фибах [Fiebach, Schlesewsky, Friederici 2001; Friederici, Schlesewsky, Fiebach 2003] предложили использовать именно метод ВП для более детального рассмотрения вопроса о том, какие процессы лежат в основе восприятия вопросительных предложений и предложений со скрэмблингом. Фридеричи, Шлезевский и Фибах провели три ВП эксперимента на материале немецкого языка. Для первого эксперимента они выбрали два вида вопросительных предложений: (1) с подлежащим *wer* “кто” и (2) с прямым дополнением *wen* “кого”. Кроме того, вопросительное слово отделялось от своего пропуска либо одним обстоятельством места, либо двумя, т.е. расстояние между заполнителем и пропуском тоже являлось экспериментальным фактором. Результаты ВП 22 немецкоговорящих испытуемых показали, что вопросительные предложения с прямым дополнением, отделенным от своего пропуска двумя обстоятельствами и глаголом, характеризуются длительной левой негативностью, зарегистрированной на лобной доле. В трех других типах экспериментальных вопросительных предложений этот компонент отсутствовал. Был сделан вывод, что длительная левая негативность вызвана нагрузкой на оперативную память, когда возникает необходимость долго удерживать в памяти ИГ-заполнитель.

Во втором эксперименте были использованы сложные предложения с определительными либо изъяснительными придаточными, при этом определительные придаточные относились либо к подлежащему, либо к прямому дополнению, а изъяснительные придаточные были либо с прямым (подлежащее–прямое дополнение) либо с обратным (прямое дополнение–подлежащее) порядком слов. Важно отметить принципиальную разницу между определительными и изъяснительными предложениями: оба типа определительных придаточных содержат перемещенную непосредственную составляющую, а в изъяснительных перемещение ИГ имеет место только в предложениях с обратным порядком слов (5а), а именно, предложения типа (5а) содержат скрэмблинг, а (5б) нет.

- | | | | | | |
|--------|----------------|-----------------------------------|-------------------|-----------------|--------------|
| (5) а. | Er wusste, daß | [die Professorinnen] ₁ | die Studentin | __ ₁ | gesucht hat. |
| | Он знал что | профессоров | студент | искал | |
| б. | Das | sind die Professorinnen, | die die Studentin | gesucht hat. | |
| | Это | есть профессора | которых студент | искал | |

При восприятии вспомогательного глагола *hat* была зарегистрирована поздняя позитивность, однако эта позитивность по своим характеристикам была различной для двух типов предложений. Исследователи предположили, что разница эта связана с тем, что эти два типа предложений различаются по характеру операции перемещения – скрэмблинг в (5а), но Wh-перемещение в (5б).

Третий эксперимент был непосредственно направлен на то, чтобы выявить компоненты, характеризующие скрэмблинг как таковой. В качестве экспериментальных предложений были выбраны два типа: предложения с перемещенной лексической ИГ типа *dem Jäger* “охотнику” (6а) и предложения с перемещенным личным местоимением типа *ihm* “ему” (6б).

- | | | | | | |
|--------|-------|---------------|------------|-----------|----------|
| (6) а. | Dann | hat dem Jäger | der Lehrer | den Roman | gegeben. |
| | Затем | охотнику | учитель | роман | дал |
| б. | Dann | hat ihm | der Lehrer | den Roman | gegeben. |
| | Затем | ему | учитель | роман | дал |

Определенный артикль *dem* в дательном падеже в (6а) вызвал негативность на разных электродах, но эта негативность отсутствовала в предложениях с местоимением *ihm* в (6б). При сравнении же артикля с местоимением и существительным (вне зависимости от наличия или отсутствия скрэмлинга в предложении) обнаружилось, что ВП в этом месте характеризовались наличием поздней позитивности. Таким образом, был сделан вывод, что скрэмлинг в немецком языке характеризуется наличием двух компонентов: LAN-компонент, за которым следует поздняя позитивность. Недавний ВП эксперимент на материале японского языка, в котором использовались вопросительные предложения и предложения со скрэмлингом, тоже показал двухмодальное распределение негативности-позитивности для скрэмлинга [Ueno, Kluender 2003]: между заполнителем и пропуском была зарегистрирована длительная передняя негативность, позиция непосредственно перед пропуском характеризовалась локализованным LAN-компонентом, а затем появилась поздняя позитивность.

Итак, суммируя результаты ВП экспериментов в двух языках со свободным порядком слов, можно выдвинуть следующую исходную гипотезу: предложения с обратным порядком слов, т.е. заполнителем/пропуском, характеризуются похожей электрической активностью мозга. При этом принадлежность языка к конкретной языковой семье, ограничения на порядок слов и орфография значения не имеют. Русский ВП эксперимент, описанный ниже в разделе 5, является попыткой эмпирической проверки этой гипотезы на материале русского языка.

5. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВП МЕТОДА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПОРЯДКА СЛОВ В РУССКОМ ЯЗЫКЕ

Русский эксперимент, описанный в данном разделе, был проведен в Институте лингвистики при университете Потсдама (Германия) при финансовой поддержке гранта, полученного автором данной статьи, от Национального Научного Фонда США (National Science Foundation, # INT-0107374). Это был совместный научный проект, в котором приняли участие автор данной статьи и немецкие коллеги: Штефан Фриш, Маттиас Шлезевский и Даглас Сэдди. Опираясь на имеющиеся данные результатов ВП экспериментов на материале немецкого и японского языков, мы поставили перед собой задачу сравнить процесс понимания предложений со свободным порядком слов в немецком и русском языках. Эксперимент был спланирован для проверки гипотезы о том, что свободный порядок слов в русском языке будет сопряжен с когнитивной нагрузкой на оперативную память и, соответственно, должен вызвать двухмодальное распределение негативности-позитивности, описанное в разделе 4.2. Гипотеза также содержала утверждение о том, что характер, амплитуда и топография этих компонентов относительно универсальны и поэтому должны возникать в процессе понимания предложений со свободным порядком слов во всех языках, где существует скрэмлинг. Таким образом, ожидалось, что результаты русского ВП эксперимента будут сходными с результатами немецкого.

5.1. Испытуемые

Испытуемые для данного эксперимента набирались среди русскоязычных взрослых, проживающих в Потсдаме и Берлине. Возраст участников был ограничен, от 18 до 35 лет. В эксперименте приняли участие 29 испытуемых, 16 мужчин и 13 женщин; все участники были правшами. Средний возраст участников составил 25 лет. В зависимости от уровня знания немецкого языка испытуемые распределились на три группы: только русский язык (на момент проведения эксперимента срок проживания в Германии не превышал 6 месяцев), немецкий язык как второй (несбалансированное двуязычие, обучение в Германии из российских вузов) и немецкий и русский в равной степени (сбалансированное двуязычие, родились в Германии в русскоязычных семьях). Семь человек

говорили только по-русски, 14 были отнесены к группе несбалансированного двуязычия и восемь к группе сбалансированного двуязычия. Все испытуемые добровольно выразили желание принять участие в эксперименте. В среднем каждый испытуемый провел в ВП лаборатории три часа, включая время на подготовку, проведение и приведение себя в порядок после эксперимента.

5.2. Метод

Каждое экспериментальное предложение было представлено в четырех видах, которые и составили четыре экспериментальных условия. Во-первых, предложение было либо повествовательным, либо вопросительным; во-вторых, в нем был либо прямой (прямое дополнение перед глаголом), либо обратный порядок слов (прямое дополнение вынесено в позицию начала предложения). Все четыре вида представлены в Таблице 1 (пример (7)).

Таблица 1

Пример экспериментального предложения

(7)	Усл.	Пример
а	СПП	<i>Любящий муж верной жене шелковую кофту подарил на годовщину свадьбы.</i>
б	СОП	<i>Шелковую кофту любящий муж верной жене подарил _ на годовщину свадьбы.</i>
в	ВПП	<i>Какой муж верной жене шелковую кофту подарил на годовщину свадьбы?</i>
г	ВОП	<i>Какую кофту любящий муж верной жене подарил _ на годовщину свадьбы?</i>

Четыре условия в примере (7) в Таблице 1 закодированы следующим образом: С – предложения со скрэмблингом, В – вопросительные предложения, ПП – прямой порядок слов, ОП – перемещение прямого дополнения (обратный порядок слов). Таким образом, был применен факторный экспериментальный план 2 × 2: тип предложения (со скрэмблингом или вопросительное) и порядок слов (прямой, без перемещения, или обратный, с перемещением прямого дополнения). Надо отметить, что в примере (7) есть еще один дополнительный фактор, связанный с порядком слов. Оба дополнения находятся в позиции, предшествующей глаголу, что не является канонической позицией дополнения в русском языке. Однако эта манипуляция была произведена во всех условиях и, таким образом, постоянно присутствовала во всех предложениях. Это было необходимо по двум причинам: во-первых, для того, чтобы увеличить расстояние между заполнителем и пропуском, и, во-вторых, для того, чтобы можно было напрямую сравнивать русские предложения с немецкими, для которых характерна постановка прямого дополнения в позицию перед глаголом.

Для эксперимента было подготовлено 20 предложений типа примера (7), при этом каждое предложение было представлено во всех четырех условиях и встретилось в эксперименте дважды. Следовательно, эксперимент состоял из 160 экспериментальных предложений (20 предложений в четырех условиях), которые были дополнены 80 отвлекающими предложениями. Таким образом, каждый испытуемый прочитал в течение эксперимента 240 предложений, разбитых на шесть блоков по 40 предложений в каждом. Порядок появления каждого предложения в каждом конкретном условии, а также порядок появления блоков, были рандомизированы и, соответственно, были разными для каждого участника эксперимента. Предложения были представлены на экране стимульного компьютера пофразно (см. Рис. 2):

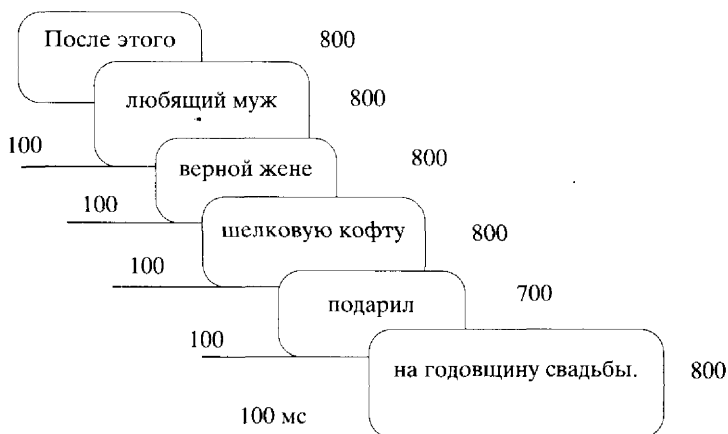


Рис. 2. Пофрагментное представление экспериментального предложения

Процедура проведения данного эксперимента была подробно описана в разделе 2. Была использована ВП система компании Нейроскэн с 64 отведениями (электродами). При проведении эксперимента были задействованы только 20 электродов в следующей конфигурации (см. Рис. 1): средняя линия (FZ, FCZ, CZ, CPZ, PZ, POZ), лобные (F3, F4, F7, F8), лобно-центральные (FC5, FC6), центральные (C3, C4), центрально-теменные (CP5, CP6) и теменные (P3, P4, P7, P8).

5.3. Результаты

Поведенческие данные состоят из двух компонентов: правильности ответа на контрольный вопрос и времени реакции при ответе. Однако делать выводы на основании этих данных нужно с осторожностью, так как они получены при ответах на контрольные вопросы, а не непосредственно при чтении предложений и поэтому только косвенно характеризуют процесс понимания интересующих нас предложений. В Таблице 2 приведены поведенческие данные для всех четырех условий эксперимента.

**Правильность ответа на вопрос и время реакции как функция типа предложения
и порядка слов**

	Предложения со скрэмблингом		Вопросительные предложения	
	СПП	СОП	ВПП	ВОП
Правильность (%)	92,8	89,1*	91,6	90,8
Время реакции (мс)	2091	2052	2045	2053

Как видно из данных, демонстрирующих правильность ответа на контрольные вопросы, испытуемые одинаково правильно отвечали на вопросы после вопросительных предложений, но сделали больше ошибок при ответе на вопросы после предложений со скрэмблингом с обратным порядком слов. Как показал дисперсионный анализ с факторами тип предложения $\times$ порядок слов, разница в 3,7% в правильности оказалась статистически значимой, $F(1,19) = 5,59, p < 0,05$. Время реакции при ответе на вопрос, однако, не отличалось в зависимости от условий, т.е. испытуемые одинаково быстро отвечали на вопросы по любому типу предложения и вне зависимости от порядка слов, $F(1) < 1$.

Обратимся теперь к анализу ВП данных. Для анализа были отобраны только те предложения, на которые испытуемые ответили правильно; усредненные 10% предложений, в которых были сделаны ошибки при ответе на контрольный вопрос, были исключены из анализа. Оставшиеся 90% экспериментальных предложений поступили на этап автоматической и ручной фильтрации данных. Результаты ВП данных были проанализированы для каждого из четырех фрагментов предложения отдельно (см. Таблицу 2), где ИГ1 (подлежащее/прямое дополнение), ИГ2 (косвенное дополнение/подлежащее), ИГ3 (прямое дополнение/косвенное дополнение).

Таблица 3

Фрагменты предложения, для которых анализировались ВП

	ИГ1	ИГ2	ИГ3	Глагол
Прямой порядок	<i>любящий муж</i> <i>какой муж</i>	<i>верной жене</i> <i>какой жене</i>	<i>шелковую кофту</i> <i>какую кофту</i>	<i>подарил</i>
Обратный порядок	<i>шелковую кофту</i> <i>какую кофту</i>	<i>любящий муж</i> <i>какой муж</i>	<i>верной жене</i> <i>какой жене</i>	<i>подарил</i>

Обратимся конкретно к описанию ВП мозга, записанных для каждой из интересующих нас трех ИГ.

ИГ1. На Рис. 3 приведены результаты при сравнении ВП для двух типов предложений в позиции ИГ1.

Как следует читать ВП результаты, представленные на рисунке 3? В левой части изображены данные для предложений со скрэмблингом (Scrambling conditions), в правой – для вопросительных предложений (WH-conditions). В каждой части рисунка представлены три компонента: (1) график-функция для конкретного электрода (в данном случае представлен CPZ – центрально-теменной электрод средней линии), (2) топография амплитуд ВП, схематически представленная на голове в виде регионов разного цвета, и (3)

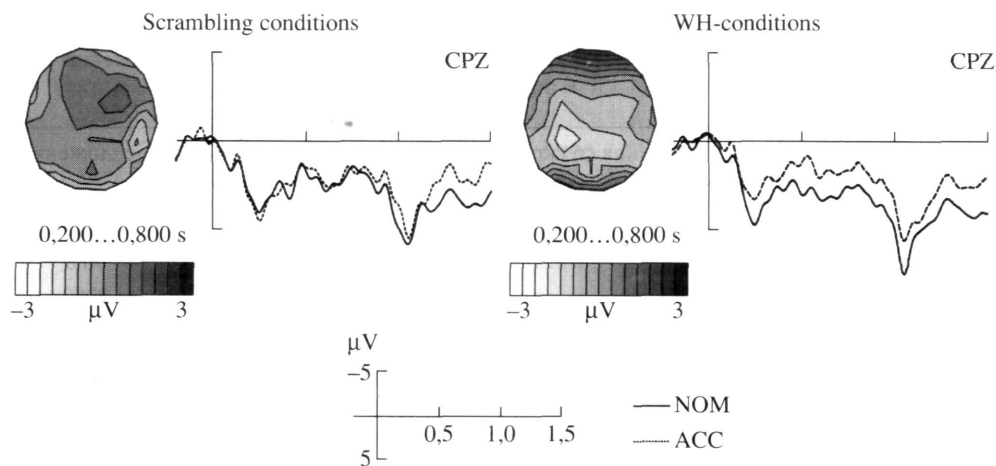


Рис. 3. ВП мозга, записанные во время чтения ИГ1. Сравнение предложений со скрэмблингом (слева) с вопросительными предложениями (справа)

масштаб и условные обозначения для расшифровки графика и топографии амплитуд. Надо заметить, что в данном конкретном случае рисунок представлен в черно-белом варианте, и цветовая гамма амплитуд, которая варьируется от светло-розового до темно-синего, выражается в интенсивности оттенков черного. При цветном изображении розовый цвет обозначает негативность (серый цвет на Рис. 3), синий цвет – позитивность (черный цвет на Рис. 3), а μV – это сопротивление в микровольтах. В самой нижней части рисунка представлены координаты для расшифровки графика-функции, где по оси Y указаны микровольты, а по оси X временные интервалы. Следует обратить особое внимание на то, что в отличие от математической традиции в ВП исследованиях негативность обозначается над осью X (сверху), а позитивность – под осью X (внизу). Пересечение осей (0 мс) означает начало конкретного фрагмента предложения, в нашем случае это начало ИГ1. Первый штрих на оси X равняется 500 мс от начала ИГ1, второй – 1000 мс, третий – 1500 мс. Вспомним, что длительность представления ИГ1, ИГ2 и ИГ3 во время эксперимента составляла 800 мс; таким образом, начало ИГ2 приходится на середину между первым и вторым штрихом на графике-функции Рис. 3. Справа от координат представлены условные обозначения для изображения ВП, записанных для предложений с прямым порядком слов, непрерывная темная линия (NOM, ИГ1 в именительном падеже – на графике нижняя линия) и для предложений с обратным порядком слов – прерывистая более светлая линия (ACC, ИГ2 в винительном падеже – на графике верхняя).

Хорошо видно, что в левой части Рис. 3 (предложения со скрэмблингом) обе линии ВП, для ИГ1 *любящий муж* в условиях СПП и *шелковую кофту* в условиях СОП, практически совпадают и, таким образом, друг от друга не отличаются. Можно сделать вывод, что на этапе прочтения первой именной группы ВП, записанные для повествовательных предложений с прямым и обратным порядком слов, не отличаются друг от друга. Однако в правой части Рис. 3 (вопросительные предложения) линии ВП для ИГ1 в вопросительных предложениях для двух порядков слов значительно отличаются друг от друга, а именно, вопросительные предложения с обратным порядком слов (*какую кофту*) вызвали негативность (прерывистая линия находится на графике выше), и начало этой негативности приходится на примерно 300 мс от начала ИГ1. Эта разница, т.е. наличие компонента негативности для вопросительных предложений с обратным порядком слов и его отсутствие для вопросительных предложений с прямым порядком слов (*какой муж*), является статистически значимой для группы электродов средней линии и

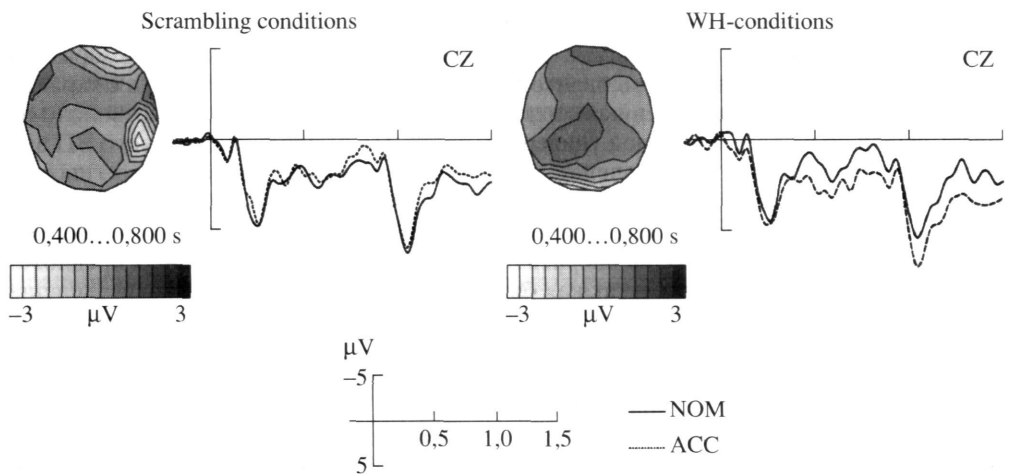


Рис. 4. ВП мозга, записанные во время чтения ИГ2. Сравнение предложений со скремблингом (слева) с вопросительными предложениями (справа)

левых лобных электродов. Таким образом, в русском языке вопросительные предложения вызывают негативность, а предложения со скремблингом нет.

На Рис. 4 приведены ВП результаты при сравнении двух типов предложений в позиции ИГ2.

При анализе ВП в позиции ИГ2 мы опять видим разницу между предложениями со Скремблингом и вопросительными предложениями, однако разница эта другого характера. Вспомним, что в этой позиции сравнивались косвенное дополнение (*верной жене*) в условии СПП и подлежащее (*любящий муж*) в условии СОП (см. Табл. 3). Как и в позиции ИГ1, так и здесь, в позиции ИГ2, ВП для прямого и обратного порядка слов в предложениях со скремблингом не отличались друг от друга: обе линии на графике в левой части Рис. 4 совпадают. Однако в вопросительных предложениях предложения с обратным порядком слов характеризуются позитивностью, начало которой приходится на примерно 500 мс от начала ИГ2. Прерывистая, более светлая линия для подлежащего (*какой муж*, ВОП) изображена на графике в правой части Рис. 4 ниже (более позитивная), чем сплошная темная линия для косвенного дополнения (*какой жене*, ВПП).

ИГ3 и глагол. Никаких значимых ВП эффектов в позиции ИГ3 не было обнаружено ни для одного из четырех условий эксперимента. В позиции глагола (*подарил*) была опять выявлена негативность, связанная с порядком слов и опять только для вопросительных предложений. Вопросительные предложения с обратным порядком слов охарактеризовались негативностью в районе 400 мс от начала глагола. Эта негативность была особенно ярко выражена на теменных электродах, в частности, на PZ, теменном электроде средней линии. Таким образом, был обнаружен главный эффект порядка слов в вопросительных предложениях, $F(1,19) = 4,84$, $p < 0,05$. Этот главный эффект отсутствовал для предложений со скремблингом.

5.4. Интерпретация результатов

Какие выводы можно сделать на основании полученных ВП результатов в эксперименте на материале русского языка? Напомним, что наша исходная гипотеза заключалась в том, что свободный порядок слов в русском языке будет сопряжен с когнитивной

нагрузкой на оперативную память и, следовательно, будет характеризоваться двухмодальным распределением негативности-позитивности. Также ожидалось, что характер, амплитуда и топография этих компонентов в русском языке будут сходными с характеристиками компонентов, выявленных в немецком и японском языках, что позволило бы сделать вывод об их потенциальной универсальности. По результатам русского ВП эксперимента мы приходим к заключению, что необходимо оценить исходную гипотезу для каждого из двух типов предложений в русском языке по отдельности.

Обратимся сначала к вопросительным предложениям. Мы нашли подтверждение гипотезе о когнитивной нагрузке на оперативную память для вопросительных предложений со свободным порядком слов, так как было выявлено двухмодальное распределение негативности-позитивности. Как только мозг начинает воспринимать ИГ1 (*какую кофту*), наличие вопросительного слова *какую* в винительном падеже требует построения такого начального синтаксического представления предложения, в котором эта ИГ не может быть подлежащим. Следовательно, она является вопросительным заполнителем, оказавшимся в начальной позиции в результате синтаксического перемещения при образовании вопроса *Какую кофту любящий муж верной жене подарил на годовщину свадьбы?* Необходимость хранения перемещенной ИГ *какую кофту* в памяти сопряжена с нагрузкой на оперативную память и, соответственно, с дополнительной электрической активностью мозга, которая напоминает N400 и находит свое выражение в виде негативности, зарегистрированной на электродах центральной линии. Именно такие параметры характеризовали перемещенное прямое дополнение и в немецком языке [Fiebach, Schleesewsky, Friederici 2001]. К этому моменту частичное синтаксическое представление предложения (7) в условии ВОП содержит перемещенное дополнение в качестве адъюнкта Инфлекссионной группы (IP) и его предполагаемый пропуск (8a):

- (8) а. $\{_{IP}\{_{NP}\text{какую кофту}\}_1 \dots\} \dots t_1 \dots$
 б. $\{_{IP}\{_{NP}\text{какую кофту}\}_1 \{_{I'}\{_{NP}\text{любящий муж}\} [_1 \dots] \dots\} [_{VP} \dots t_1 \dots]\}$

Когда на этап обработки поступает ИГ2 (*любящий муж*), которая стоит в именительном падеже, она подставляется в позицию подлежащего в составе Инфлекссионной группы (8б). При этом между перемещенным прямым дополнением (заполнителем) *какую кофту* и его следом (пропуском) t_1 устанавливается анафорическая связь, что позволяет интегрировать их в единую цепочку. Процесс интеграции перемещенной ИГ и ее следа находит свое отражение в позитивности, которая, вероятнее всего, представляет собой синтаксический позитивный сдвиг, компонент Р600. И опять именно такой же эффект был обнаружен и в немецком языке. Таким образом, можно сделать вывод о том, что вопросительные предложения в русском языке действительно являются конструкцией с заполнителем/пропуском, то есть представляют собой продукт операции синтаксического перемещения с соответствующей для подобной операции электрической активностью мозга.

А какие выводы можно сделать для предложений со скрэмблингом? Очевидно, что для этих предложений мы должны отказаться от исходной гипотезы и сделать вывод о том, что предложения со скрэмблингом в русском языке принципиально отличаются от вопросительных предложений. Электрическая активность мозга в предложениях с прямым дополнением в начале предложения *Шелковую кофту любящий муж верной жене подарил на годовщину свадьбы* не выявила наличие когнитивной нагрузки на оперативную память в виде негативности: ВП с позиции ИГ1 в винительном падеже (*шелковую кофту*) не отличались от ИГ1 в именительном падеже (*любящий муж*). Параллельный вывод приходится сделать и по поводу интеграционного компонента Р600: ИГ2 в предложениях с прямым порядком слов ничем не отличалась от ИГ2 в предложении с обратным порядком слов. Остается предположить, что процесс построения синтаксического представления предложений со скрэмблингом в русском языке не требует постулирования конструкции с заполнителем / пропуском, как это проиллюстрировано для вопросительных предложений в (8) и, соответственно, не вызывает нагрузки на оперативную

память. Поиск более определенного ответа на вопрос, порождаются ли предложения со скремблингом непосредственно так, как они есть, без синтаксического перемещения, необходимо продолжать дальше как с точки зрения теоретического синтаксиса, так и с точки зрения экспериментальной психолингвистики.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Запись вызванных потенциалов мозга представляет собой исключительно многообещающий метод в области экспериментальной психолингвистики. Его непосредственно операционный характер, позволяющий наблюдать реакцию мозга при восприятии и понимании языка, и высокая временная разрешающая способность позволяют детально анализировать языковые явления любого характера, начиная от процесса распознавания звуков речи и кончая процессом текстовой интеграции в дискурсе. Метод достаточно универсален, гибок и безвреден, что позволяет применять его для исследования языковых процессов с разными категориями испытуемых как с нормальными взрослыми и детьми, так и с больными афазией и детьми с общим недоразвитием речи и дислексией. Несмотря на относительно высокие затраты на необходимое первоначальное оборудование ВП лаборатории, в дальнейшем метод достаточно экономичен и позволяет поддерживать относительно высокий уровень загруженности лаборатории. Производители ВП оборудования постоянно совершенствуют ВП системы и обеспечивают техническую поддержку как самого оборудования, так и необходимого программного обеспечения для обработки ВП данных, что дает возможность многим университетам открывать лаборатории для экспериментальных исследований научного характера. Наличие большого количества активно работающих ВП лабораторий как в Европе, так и в США создает благоприятную почву для подготовки студентов-ассистентов и аспирантов, которые впоследствии могут эффективно участвовать как в работе существующих лабораторий, так и в дальнейшем организовывать собственные лаборатории. Прямая связь языковых исследований при помощи ВП метода с набирающей популярность нейронаукой позволяет искать точки соприкосновения интересов в когнитивной науке, т.е. в научных отраслях, смежных с лингвистикой, – с компьютерной наукой, экспериментальной психологией и прикладными медицинскими исследованиями. Многие научные журналы из этих смежных наук с готовностью печатают статьи, в которых языковые экспериментальные данные были собраны при помощи ВП метода. Возрастающий общий интерес в экспериментальной психолингвистике к исследованию разных языков привлекает к себе внимание и специалистов в области применения ВП метода, расширяя тем самым его возможности вносить свою лепту в психолингвистическую теорию и практику.

В России исследования речевых процессов на материале русского языка с помощью ВП метода проводятся уже давно, правда, в рамках нейрофизиологии. В качестве примера назовем исследования, проводимые А.Н. Шеповальниковым в лаборатории нейрофизиологии ребенка (<http://www.iephb.ru/01/lab01.htm>) при Институте эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова [Панасевич, Цицерошин 2004; Цапарина, Шеповальников 2004; Шеповальников, Цицерошин 2004] и Ю.Д. Кропотовым в лаборатории нейробиологии программирования действий (<http://www.ihb.spb.ru/progr.html>) при Институте мозга человека [Бехтерева, Гоголицын, Кропотов, Медведев 1985; Яковенко, Кропотов, Чутко, Пономарев, Сурушкина 2004].

Есть все основания надеяться, что в ближайшем будущем начнут осуществляться ВП исследования непосредственно и в области русской экспериментальной психолингвистики. ВП метод позволит успешно исследовать многие интересные грамматические особенности русского языка, которые прольют свет на ряд актуальных вопросов в теоретической лингвистике и экспериментальной психолингвистике. Важными вопросами для будущих ВП исследований будут грамматический род, именные сказуемые в творительном падеже, родительный падеж отрицания, безличные предложения, анафора в дискурсе, кванторы и многие другие синтаксические явления в русском языке, статус кото-

рых активно дебатруется в теоретической славистике и экспериментальной психолингвистике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бехтерева, Гоголицын, Кропотов, Медведев 1985 – *Н.П. Бехтерева, Ю.П. Гоголицын, Ю.Д. Кропотов, С.В. Медведев*. Нейрофизиологические основы мышления. Л., 1985.
- Гнездицкий 1997 – *В.В. Гнездицкий*. Вызванные потенциалы мозга в клинической практике. Таганрог, 1997.
- Гнездицкий 2003 – *В.В. Гнездицкий*. Вызванные потенциалы мозга в клинической практике. М., 2003.
- Казенин, Тестелец 2001 – *К.И. Казенин, Я.Г. Тестелец*. Исследование синтаксических ограничений в генеративной грамматике // А.А. Кибрик, И.М. Кобозева, И.А. Секерина (ред.). Современная американская лингвистика: Фундаментальные направления. 2-е изд. М., 2001.
- Кондрашова 2001 – *Н.Ю. Кондрашова*. Генеративная грамматика и проблема свободного порядка слов // А.А. Кибрик, И.М. Кобозева, И.А. Секерина (ред.). Современная американская лингвистика: Фундаментальные направления. 2-е изд. М., 2001.
- Панасевич, Цицерошин 2004 – *Е.А. Панасевич, М.Н. Цицерошин*. Особенности пространственно-временной организации ЭЭГ при выполнении вербальных заданий мужчинами и женщинами // Сенсорные системы. 18 (2). 2004.
- Секерина 2001 – *И.А. Секерина*. Психолингвистика // А.А. Кибрик, И.М. Кобозева, И.А. Секерина (ред.). Современная американская лингвистика: Фундаментальные направления. 2-е изд. М., 2001.
- Солсо, Джонсон, Бил 2001 – *Р. Солсо, Х. Джонсон, К. Бил*. Экспериментальная психология. Практический курс. 7-е изд. СПб., 2001.
- Цапарина, Шеповальников 2004 – *Д.М. Цапарина, А.Н. Шеповальников*. Роль межполушарного взаимодействия в процессе опознания ошибок в предъявляемом на слух вербальном материале // Сенсорные системы. 18(2). 2004.
- Шеповальников, Цицерошин 2004 – *А.Н. Шеповальников, М.Н. Цицерошин*. Формирование межрегионального взаимодействия кортикальных полей при речемыслительной деятельности // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. 2004. № 5.
- Яковенко, Кропотов, Чутко, Пономарев, Сурушкина 2004 – *Е. А. Яковенко, Ю.Д. Кропотов, Л.С. Чутко, В.А. Пономарев, С.Ю. Сурушкина*. Изменения компонентного состава вызванных потенциалов в парадигме GO/NOGO у подростков с синдромом нарушения внимания с гиперактивностью // Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 3. Биология. 2. 2004.
- Bader, Meng 1999 – *M. Bader, M. Meng*. Subject-object ambiguities in German embedded clauses: A cross-the-board comparison // Journal of psycholinguistic research. 28(2). 1999.
- Barrett, Rugg 1989 – *S.E. Barrett, M.D. Rugg*. Event-related potentials and the semantic matching of faces // Neuropsychologia. 27(7). 1989.
- Carpenter, Just 1989 – *P.A. Carpenter, M.A. Just*. The role of working memory in language comprehension // D. Klahr, K. Kotovsky (eds.). Complex information processing: The impact of Herbert A. Simon. Hillsdale, NJ: Inc. 1989.
- Clahsen, Featherston 1999 – *H. Clahsen, S. Featherston*. Antecedent priming at trace positions: Evidence from German scrambling // Journal of psycholinguistic research. 28(4). 1999.
- Coulson, King, Kutas 1998 – *S. Coulson, J.W. King, M. Kutas*. Expect the unexpected: Event-related brain response to morphosyntactic violations // Language and cognitive processes. 13(1). 1998.
- Featherston 1999 – *S. Featherston*. Empty categories in sentence processing: Psycholinguistic evidence from German. Doctoral Dissertation. University of Essex. 1999.
- Fiebach, Schlesewsky, Friederici 2001 – *C.J. Fiebach, M. Schlesewsky, A.D. Friederici*. Syntactic working memory and the establishment of filler-gap dependencies: Insights from ERPs and fMRI // Journal of psycholinguistic research. 30(3). 2001.
- Friederici, Schlesewsky, Fiebach 2003 – *A. Friederici, M. Schlesewsky, C. Fiebach*. Wh-movement vs. Scrambling: The brain makes a difference // S. Karimi (ed.). Word order and scrambling. Malden, 2003.
- Friederici, Steinhauer, Mecklinger, Meyer 1998 – *A.D. Friederici, K. Steinhauer, A. Mecklinger, M. Meyer*. Working memory constraints on syntactic ambiguity resolution as revealed by electrical brain responses // Biological psychology. 47(3). 1998.
- Gibson 1998 – *E. Gibson*. Linguistic complexity: Locality of syntactic dependencies // Cognition. 68. 1998.

- Hagoort, Brown, Groothusen 1993 – *P. Hagoort, C. Brown, J. Groothusen*. The syntactic positive shift (SPS) as an ERP measure of syntactic processing // *Language and cognitive processes*. 8(4). Special Issue: Event-related brain potentials in the study of language. 1993.
- Handy 2004 – *T.C. Handy* (ed). Event-related potentials. Cambridge (Mass.), 2004.
- Holcomb, Neville 1990 – *P.J. Holcomb, H.J. Neville*. Auditory and visual semantic priming in lexical decision: A comparison using event-related brain potentials // *Language and cognitive processes*. 5(4). 1990.
- Iragui, Kutas, Mitchiner, Hillyard 1993 – *V. Iragui, M. Kutas, M.R. Mitchiner, S. A. Hillyard*. Effects of aging on event-related potentials and reaction times in an auditory oddball task // *Psychophysiology*. 30(1). 1993.
- Karimi 2003 – *S. Karimi* (ed.). Word order and scrambling. Malden (Mass.), 2003.
- King, Kutas 1995 – *J.W. King, M. Kutas*. Who did what and when? Using word- and clause-level ERPs to monitor working memory usage in reading // *Journal of cognitive neuroscience*. 7(3). 1995.
- King, Kutas 1998 – *J.W. King, M. Kutas*. Neural plasticity in the dynamics of brain of human visual word recognition // *Neuroscience letters*. 244(2). 1998.
- Kluender, Kutas 1993 – *R. Kluender, M. Kutas*. Bridging the gap: Evidence from ERPs on the processing of unbounded dependencies // *Journal of cognitive neuroscience*. 5(2). 1993.
- Kutas, Dale 1997 – *M. Kutas, A. Dale*. Electrical and magnetic readings of mental functions // *M.D. Rugg* (ed.). *Cognitive neuroscience*. Hove (East Sussex), 1997.
- Kutas, Fedemeier, Sereno 1999 – *M. Kutas, K.D. Fedemeier, M.I. Sereno*. Current approaches to mapping language in electromagnetic space // *C.M. Brown, P. Hagoort* (eds). *The neuroscience of language*. Oxford, 1999.
- Kutas, Hillyard 1984 – *M. Kutas, S.A. Hillyard*. Brain potentials during reading reflect word expectancy and semantic association // *Nature*. 307(5947). 1984.
- Kutas, Van Petten 1994 – *M. Kutas, C.K. Van Petten*. Psycholinguistics electrified: Event-related brain potential investigations // *M.A. Gernsbacher* (ed.). *Handbook of psycholinguistics*. San Diego, 1994.
- Lee 1993 – *Y.-S. Lee*. Scrambling as case-driven obligatory movement. Doctoral Dissertation. University of Pennsylvania (Philadelphia). 1993.
- Nigam, Hoffman, Simons 1992 – *A. Nigam, J.E. Hoffman, R.F. Simons*. N400 to semantically anomalous pictures and words // *Journal of cognitive neuroscience*. 4(1). 1992.
- Osterhout 1994 – *L. Osterhout*. Event-related brain potentials as tools for comprehending language comprehension // *C. Clifton, L. Frazier, K. Rayner* (eds.). *Perspectives on sentence processing*. Hillsdale, NJ, 1994.
- Osterhout, Bersick, McKinnon 1997 – *L. Osterhout, M. Bersick, R. McKinnon*. Brain potentials elicited by words: Word length and frequency predict the latency of an early negativity // *Biological psychology*. 46(2). 1997.
- Osterhout, Holcomb 1992 – *L. Osterhout, P.J. Holcomb*. Event-related brain potentials elicited by syntactic anomaly // *Journal of memory and language*. 31(6). 1992.
- Osterhout, Holcomb 1995 – *L. Osterhout, P.J. Holcomb*. Event-related potentials and language comprehension // *M.D. Rugg, M.G.H. Coles* (eds.). *Electrophysiology of mind: Event-related brain potentials and cognition*. V. 25. Oxford, 1995.
- Ross 1967 – *J. Ross*. Constraints on variables in syntax. Doctoral Dissertation. Cambridge (Mass.), 1967.
- Schendan, Ganis, Kutas 1998 – *H.E. Schendan, G. Ganis, M. Kutas*. Neurophysiological evidence for visual perceptual categorization of words and faces within 150 ms // *Psychophysiology*. 37. 1998.
- Schlesewsky, Fanselow, Kliegl, Krems 1998 – *M. Schlesewsky, G. Fanselow, G. Kliegl, R. Krems*. Preferences for grammatical functions in the processing of locally ambiguous Wh-questions in German // *B. Hemforth, L. Konieczny* (eds.). *Cognitive parsing in German*. Dordrecht, 1998.
- Swaab, Brown, Hagoort 1997 – *T. Swaab, C. Brown, P. Hagoort*. Spoken sentence comprehension in aphasia: Event-related potentials evidence for a lexical integration deficit // *Journal of cognitive neuroscience*. 9(1). 1997.
- Ueno, Kluender 2003 – *M. Ueno, R. Kluender*. Event-related brain indices of Japanese scrambling // *Brain and language*. 86(2). 2003.
- Van Berkum, Hagoort, Brown 1999 – *J.J. Van Berkum, P. Hagoort, C.M. Brown*. Semantic integration in sentences and discourse: Evidence from the N400 // *Journal of cognitive neuroscience*. 11(6). 1999.
- Van Petten, Kutas 1991 – *C. Van Petten, M. Kutas*. Influences of semantic and syntactic context in open- and closed-class words // *Memory and cognition*. 19(1). 1991.
- Van Petten, Rheinfelder 1995 – *C. Van Petten, H. Rheinfelder*. Conceptual relationships between spoken words and environmental sounds: Event-related potential measures // *Neuropsychologia*. 33(4). 1995.