



**Информация для цитирования:**

Грибер Ю. А. Электрофизиологические корреляты цветовой категоризации : обзор нейролингвистических исследований, разработанных с использованием парадигмы необычного стимула (оддболл-парадигмы) / Ю. А. Грибер // Научный диалог. — 2023. — Т. 12. — № 5. — С. 9—38. — DOI: 10.24224/2227-1295-2023-12-5-9-38.

Griber, Yu. A. (2023). Color Categorization and its Electroencephalography Correlates: A Review of Neuro-Linguistic Oddball Paradigm Research. *Nauchnyi dialog*, 12 (5): 9-38. DOI: 10.24224/2227-1295-2023-12-5-9-38. (In Russ.).



Журнал включен в Перечень ВАК

DOI: 10.24224/2227-1295-2023-12-5-9-38

**Электрофизиологические корреляты цветовой категоризации: обзор нейролингвистических исследований, разработанных с использованием парадигмы необычного стимула (оддболл-парадигмы)**

**Грибер Юлия Александровна**  
orcid.org/0000-0002-2603-5928  
Researcher ID AAG-4410-2019  
доктор культурологии, профессор  
кафедры социологии и философии  
y.griber@gmail.com

Смоленский  
государственный университет  
(Смоленск, Россия)

**Благодарности:**  
Исследование выполнено  
при финансовой поддержке  
Российского научного фонда,  
проект № 22-18-00407,  
<https://rscf.ru/project/22-18-00407/>

**Color Categorization and its Electroencephalography Correlates: A Review of Neuro-Linguistic Oddball Paradigm Research**

**Yulia A. Griber**  
orcid.org/0000-0002-2603-5928  
Researcher ID AAG-4410-2019  
Doctor of Cultural Studies, Professor,  
Department of Sociology and Philosophy  
y.griber@gmail.com

Smolensk State University  
(Smolensk, Russia)

**Acknowledgments:**  
The study was carried out with  
the financial support of the Russian  
Science Foundation,  
project number 22-18-00407,  
<https://rscf.ru/en/project/22-18-00407/>

## ОБЗОРНЫЕ СТАТЬИ

**Аннотация:**

Представлен обзор нейролингвистических исследований цветовой категоризации, разработанных с использованием парадигмы необычного стимула (оддболл-парадигмы). Отбор источников исследования осуществлялся через системы РИНЦ, Google Scholar, Scopus, Web of Science. Проанализированы полные тексты всех статей данной тематики за последние 15 лет (первая — в 2007 году). Проведенный анализ позволил сделать выводы о традиционной методологии исследования и выделить пять тематических групп исследований, разработанных с использованием парадигмы необычного стимула. Показано, что фокус нейролингвистических исследований направлен на (1) изучение природы нейрофизиологических механизмов цветовой категоризации и их временные параметры; (2) исследование механизмов цветовой категоризации у не умеющих говорить младенцев; (3) изучение эффекта латерализации; (4) анализ межязыковых и внутриязыковых различий цветовой категоризации; (5) определение нейрофизиологических коррелятов искусственных цветовых категорий. Особое внимание к экспериментальному дизайну, принципам выбора хроматических характеристик стимулов и полученным авторами результатам позволит специалистам в области теоретической, прикладной и сравнительной лингвистики использовать представленный в статье обзор в качестве основы для планирования и разработки новых экспериментальных исследований в этой области.

**Ключевые слова:**

цветовая категоризация; парадигма необычного стимула; оддболл; связанные с событиями потенциалы.

## REVIEW ARTICLES

**Abstract:**

This paper presents a review of neuro-linguistic studies on color categorization, developed using the oddball paradigm. The selection of research sources was conducted through Russian National Corpus, Google Scholar, Scopus, Web of Science. This study undertook a comprehensive analysis of all relevant articles published within the last 15 years (with the earliest dating back to 2007). Through this analysis, traditional methodologies were identified and five thematic groups of research were established, all of which employed the oddball paradigm. The focus of neuro-linguistic research has been shown to be directed towards (1) studying the neurophysiological mechanisms of color categorization and their temporal parameters; (2) investigating the mechanisms of color categorization in preverbal infants; (3) examining the effect of lateralization; (4) analyzing inter- and intra-linguistic differences in color categorization; and (5) determining the neurophysiological correlates of artificial color categories. Paying particular attention to experimental design, principles of stimulus chromatic characteristics selection, and the results obtained by the authors will enable specialists in the field of theoretical, applied, and comparative linguistics to use the review presented in this article as a basis for planning and developing new experimental research in this area.

**Key words:**

color categorization; oddball; event-related potentials; ERP.



УДК 81'234+159.937.511/.513+612.843.31

Научная специальность ВАК  
5.9.8. Теоретическая, прикладная и  
сравнительно-сопоставительная лингвистика

## **Электрофизиологические корреляты цветовой категоризации: обзор нейролингвистических исследований, разработанных с использованием парадигмы необычного стимула (оддболл-парадигмы)**

© Грибер Ю. А., 2023

### **1. Введение = Introduction**

Несмотря на непрерывность цветового спектра, человек воспринимает его дискретно и разделяет на качественно различные перцептивные категории, которым присваивает имена (цветонаименования) (см. подр.: [Pagamei, 2020]). В разных языках мира цветонаименования делят цветовой спектр на части по-разному (см. подробнее: [Грибер, 2021]). Например, в русском и английском языках существует неодинаковый набор основных «синих» категорий: в русском языке их две (*синий* и *голубой*), а в английском — лишь одна (*blue*) [Griber et al., 2021]. При этом, как и носители русского языка, англичане распределяют зеленые и синие оттенки в разные категории (*blue* ‘синий’ и *green* ‘зеленый’), в то время как носители многих других языков используют для их обозначения всего одно цветонаименование (отдельных категорий для зеленого и синего цветов не имеют язык коренных мексиканцев тараумара [Kay et al., 1984], большинство кельтских языков [Lazar-Meun, 2004] и почти все бесписьменные языки [Color naming ..., 2005]).

Многочисленные исследования указывают на существование так называемого «эффекта категорий», или феномена «категорического восприятия», который проявляется в том, что нам сложнее различать оттенки внутри одной лингвистической категории и легче — из разных (см., например: [Russian blues reveal effects ..., 2007]). Это происходит даже в том случае, когда математически рассчитанный показатель цветового различия между этими оттенками стремится к нулю (см., например: [Whorf hypothesis ..., 2006]). Лингвистические категории оказывают влияние и на другие когнитивные процессы; например, на то, как люди запоминают цвета или оценивают степень их сходства (см., например: [Roberson et al., 2000]).



Хотя эффект цветовой категоризации имеет выраженный и универсальный характер (подобным образом мы распознаем, воспринимаем и запоминаем лица, расположение объектов, речь (см. например: [Барабанщиков и др., 2016]), его нейрофизиологическая природа до сих пор остается предметом оживленных обсуждений. Сторонники гипотезы лингвистической относительности (см., например: [Kay et al., 1984; Saunders et al., 1997]) связывают факторы, регулирующие категоризацию цвета, с особенностями культуры, в которой они существуют. Восприятие мира, согласно этой точке зрения, формируется под влиянием семантических категорий языка, на котором говорит человек, и эти категории в различных языках воздействуют на человека по-разному. Однако другие исследователи убеждены, что эффект категорий может быть «врожденным» и объясняется определенным «искривлением» цветового пространства, из-за которого оттенки внутри категорий человеку физиологически различить сложнее (см., например: [Franklin et al., 2004]).

В последние десятилетия для получения принципиально новых эмпирических данных о процессах обработки связанной с цветом языковой информации изучение цветовой категоризации переместилось в область лингвистики, близкую к биологии, — в сферу когнитивных и нейроисследований. Одним из наиболее распространенных методологических инструментов современного нейролингвистического исследования цветовой категоризации стал метод связанных с событиями потенциалов (англ. *event-related potentials, ERP*). Этот метод предполагает измерение с помощью электроэнцефалографических электродов динамики электрической активности мозга (напряжения на коже головы) в определенный период времени (эпоху), в течение которого предъявляется стимул или происходит событие [Nelson et al., 2008; Luck, 2014].

Для определения электрофизиологических маркеров категориально-го реагирования на цвет метод связанных с событиями потенциалов чаще всего сочетается с использованием оддболл-парадигмы (*oddball paradigm*). Методика оддболл (англ. *oddball* — необычный), которую иногда называют «парадигмой необычного стимула», была впервые описана в работе [Squires et al., 1975]. Она специально разработана с учетом условий, необходимых для изучения связанных с событиями потенциалов. В подобных экспериментах участнику в случайном порядке предъявляются последовательности из обычных (стандартных) и необычных (девиантных) стимулов. Необычные стимулы отличаются от обычных одной или несколькими из характеристик. При этом ряд стимулов создается таким образом, чтобы вероятность появления необычного стимула была существенно ниже, чем обычного (чаще всего используется соотношение в диапазоне от 1:4



до 1:9). Кроме того, необычные стимулы никогда не следуют друг за другом, а обычные всегда повторяются несколько раз подряд. Из-за низкой вероятности появления необычный стимул становится для испытуемого неожиданным, значимым, привлекает к себе дополнительное внимание и, по сравнению со стандартными стимулами, иначе обрабатывается, модулируя нейронную активность (см., например: [The biological bases ..., 2019]).

Метод связанных с событиями потенциалов в сочетании с заданиями, разработанными на основе оддболл-парадигмы, удобен тем, что он неинвазивен (не предполагает использования игл или других инструментов, нарушающих целостность кожи) и может применяться в течение всей жизни, в широком диапазоне возрастов, начиная с младенчества. Как следствие, он широко используется в исследованиях внимания, рабочей памяти, слуховой и зрительной сенсорной обработки, распознавания лиц и обработки языка, в последнее время набирая все большую популярность в изучении цветовой категоризации.

Цель статьи заключается в том, чтобы представить анализ всех опубликованных к настоящему моменту нейролингвистических исследований цветовой категоризации, разработанных с использованием парадигмы необычного стимула (оддболл-парадигмы), с точки зрения методологии исследования, сопоставления тем и имеющегося эмпирического задела. Особое внимание к экспериментальному дизайну, принципам выбора хроматических характеристик стимулов и полученным авторами результатами позволит специалистам в сфере теоретической, прикладной и сравнительной лингвистики использовать представленный в статье обзор в качестве основы для планирования и разработки новых экспериментальных исследований в этой области.

## 2. Материал, методы, обзор = Material, Methods, Review

Отбор источников исследования осуществлялся через системы РИНЦ, Google Scholar, Scopus, Web of Science и проходил в 3 этапа.

На первом этапе формировалась база данных научных статей, которые потенциально могли иметь отношение к исследуемой проблематике. Первый отбор осуществлялся на основе анализа заголовков и аннотаций источников по трем группам ключевых слов:

— *цвет (color), тон (hue), цветовосприятие (color perception), цветовая когниция (color cognition);*

— *категорическое восприятие (categorical perception), цветовые категории (color categories), цветовая категоризация (color categorisation);*

— *парадигма необычного стимула (oddball), связанные с событиями потенциалы (event-related potentials, ERP), электрофизиология*



(*electrophysiology*), *нейронные корреляты (neural correlates)*, *зрительная негативность рассогласования (visual mismatch negativity, vMMN)*.

На основе первичного отбора в базу данных исследования было включено 234 научных статьи. На втором этапе поиск уточнялся с помощью комбинации ключевых слов. В список этого этапа вошли 48 исследований, которые содержали в заголовке и аннотации термины из не менее двух групп ключевых слов. На следующем этапе на основе анализа полных текстов аннотаций отбирались источники, которые имели непосредственное отношение к исследуемой проблематике. Эти тексты изучались и анализировались в полном объеме. Всего было проанализировано 11 полных текстов статей, опубликованных за последние 15 лет (первая — в 2007 году).

В процессе работы использовались методы теоретического и сравнительного анализа, систематизации и обобщения материала. Для удобства сравнительного анализа точные данные о составе выборки, социально-демографических характеристиках участников и хроматических показателях экспериментальных стимулов представлены не в основном тексте, а в таблицах 1 и 2.

### **3. Результаты и обсуждение = Results and Discussion**

#### **3.1. Методология исследования электрофизиологических коррелятов цветовой категоризации**

##### **3.1.1. Социально-демографические характеристики участников**

Анализ методологии опубликованных к настоящему времени нейролингвистических исследований, разработанных с использованием одболл-парадигмы, показывает, что во всех проведенных экспериментах участниками являются молодые люди в возрасте от 18 до 34 лет (таблица 1), чаще всего это студенты университетов, которые получали за участие денежное вознаграждение или академические кредиты. Во многих случаях выборка не сбалансирована по полу и количество женщин значительно превышает число участвующих в эксперименте мужчин (см., например: [Color categories only affect ..., 2014; Short-term trained lexical categories ..., 2015; Forder et al., 2017]). В большинстве исследований участники являются носителями английского языка [Fonteneau et al., 2007; Neurophysiological evidence ..., 2009; Color categories affect ..., 2010; Neural correlates ..., 2012; Color categories only affect ..., 2014; Forder et al., 2017], реже — китайского [Electrophysiological evidence ..., 2011; Short-term trained lexical categories ..., 2015] или греческого языков [Unconscious effects ..., 2009; Perceptual shift ..., 2010].

Таблица 1

Участники и процедура исследований

Исследование	Кол-во участников	Возраст	Язык	Одболл-парадигма	Кол-во оттенков	Цветовая система	Количество стимулов	Время показа + интервал (мс)	Компоненты
Fonteneau et al., 2007	25 (f=13)	18–20 MA=20	английский	пассивная	4	Munsell	2400 (6 блоков по 400)	200 + 600–950	P1, P2, P3 N1, N2
Neurophysiological evidence ..., 2009	14 (f=7)	18–34 MA=24.2	английский	активная	8	Munsell	736 (4 блока по 184)	400 + 1300–1600	P1, P2, P3 N1, N2
Electrophysiological markers ..., 2009	20 (f=9)	MA=236 дней, SD=17	не умеют говорить	пассивная	3	Munsell	120	500 + 1300	Nc, NSW
Unconscious effects ..., 2009	20 20	20–23	английский греческий	пассивная	4	Munsell	2160 (4 блока по 540)	200 + 800	P1, vMMN
Perceptual shift ..., 2010	10 10	20–23	английский греческий	пассивная	4	Munsell	2160 (4 блока по 540)	200 + 800	P1
Color categories affect ..., 2010	18 (f=9)	MA=26.7, SD=5.3	английский	пассивная	3	Munsell	1320 (12 блоков по 110)	200 + 800–1200	vMMN
Electrophysiological evidence ..., 2011	30 (f=16)	MA=26.7	китайский	пассивная	4	Munsell	2160 (4 блока по 540)	200 + 900	vMMN



<b>Neural correlates ..., 2012</b>	14 (f=7) + 14 (f=7) контр. группа	MA=24.1, SD=3.2 MA=25.4, SD=4.5	английский	активная	8	Munsell	1104 (4 блока по 276)	400 + 1300–1600	P3
<b>Color categories only affect ..., 2014</b>	20 (f=18)	MA=21.0, SD=3.0	английский	активная	4	JNDs	800 (8 бло- ков по 100)	400 + 1200–1600	N2, P3
<b>Short-term trained lexical categories ..., 2015</b>	26 (f=15) + 26 (f=15) контр. группа	MA=20.47, SD=1.38 MA=19.89, SD=3.92	китайский	пассивная	4	SIELUV	2160 (4 блока по 540)	200 + 900	vMMN
<b>Forder et al., 2017</b>	33 (f=24)	18–30 MA=21.3, SD=2.96	английский	пассивная	3	JNDs	1980 (18 блоков по 110)	200 + 800–1200	P1

### 3.1.2. Хроматические характеристики экспериментальных стимулов

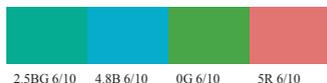
Хроматические характеристики оттенков, выбранных для разработки экспериментальных стимулов, оказались достаточно однородными (таблица 2). Это, как правило, оттенки только из синей категории [Short-term trained lexical categories ..., 2015], из зеленой и синей категорий [Neurophysiological evidence ..., 2009; Color categories affect ..., 2010; Electrophysiological markers..., 2009, Neural correlates ..., 2012; Electrophysiological evidence ..., 2011; Color categories only affect ..., 2014] или из зеленой и двух синих категорий [Unconscious effects ..., 2009; Forder et al., 2017]. Лишь в одном исследовании в качестве необычного (девиантного) стимула использовался красный оттенок [Fonteneau et al., 2007]. Количество оттенков, которые исследователи выбрали для создания экспериментальных стимулов, в разных работах колеблется в диапазоне от 3 до 8. В большинстве случаев экспериментальные стимулы разработаны на основе стандартных образцов цветовой системы Манселла или систем CIELUV/CIELAB.

Таблица 2

Хроматические характеристики экспериментальных стимулов (здесь и далее — в бумажной версии журнала таблицы представлены в черно-белой печати, поэтому для распознавания цветовых характеристик следует ориентироваться на указанные цифровые коды и обращаться к электронной версии журнала, находящейся в открытом доступе и содержащей цветные изображения)

#### Исследование

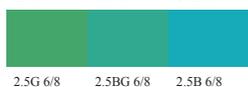
Fonteneau et al., 2007



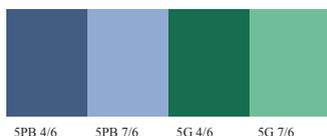
Neurophysiological evidence ..., 2009



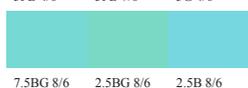
Electrophysiological markers..., 2009

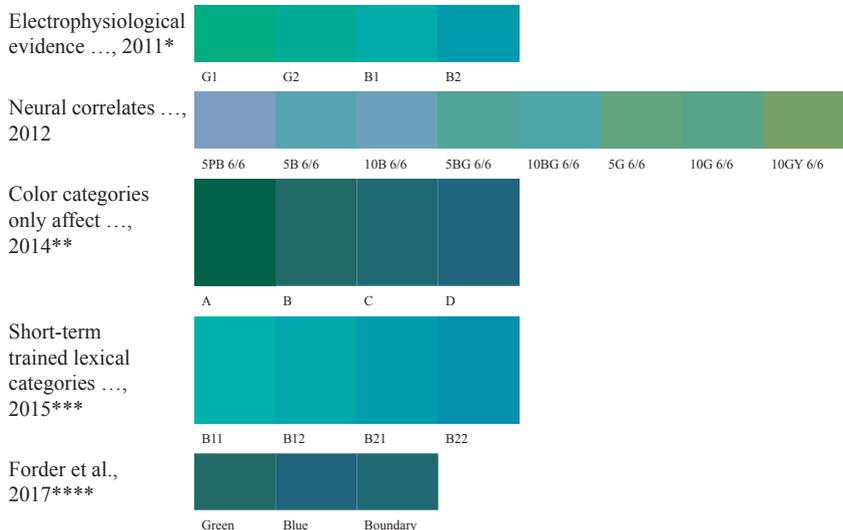


Unconscious effects ..., 2009; Perceptual shift ..., 2010



Color categories affect ..., 2010





**Примечание.** Хроматические характеристики оттенков, разработанных на основе цветowych систем CIE1931 и CIE-L\*uv.

**G1:** CIE  $xyY$   $x=0.256$   $y=0.374$   $Y=73.5$ ; **G2:**  $x=0.242$   $y=0.342$   $Y=72.5$ ; **B1:**  $x=0.228$   $y=0.308$   $Y=76.8$ ; **B2:**  $x=0.215$   $y=0.275$   $Y=62.9$ .

\*\* **A:** CIE1931  $x=0.272$   $y=0.433$   $Y=9.21$ ; **B:** CIE1931  $x=0.237$   $y=0.380$   $Y=9.21$ ; **C:** CIE1931  $x=0.222$   $y=0.333$   $Y=9.21$ ; **D:** CIE1931  $x=0.220$   $y=0.292$   $Y=9.21$ .

\*\*\* Значения CIE-L\*uv: **B11** = 64.62, -50.50, -6.60; **B12** = 61.49, -47.03, -14.49; **B21** = 58.36, -43.55, -22.51; **B22** = 54.92, -39.71, -31.38.

\*\*\*\* **Green:** CIE1931  $x=0.237$   $y=0.380$   $Y=9.21$ ; **Blue:** CIE1931  $x=0.220$   $y=0.292$   $Y=9.21$ ; **Boundary:** CIE1931  $x=0.222$   $y=0.333$   $Y=9.21$ .

### 3.1.3. Экспериментальный дизайн

При проведении исследования методом связанных с событиями потенциалов запись электрической активности мозга, как правило, проводится с помощью 64, 128 и даже 256 электродов, которые размещаются по стандартной системе 10—20. Такой большой набор позволяет идентифицировать компоненты, которые могли бы «ускользнуть» в случае, когда электродов меньше и расстояние между ними больше.

При разработке дизайна эксперимента предпочтение чаще отдается пассивной одболл-парадигме (рис. 1). Активные задания, при выполнении которых экспериментаторы просят участников внимательно следить за изменениями цвета, используются только в трех работах [Neurophysiological evidence ... , 2009; Neural correlates ... , 2012; Color categories only affect ... , 2014]. Во всех остальных случаях участники не знают, что ис-

следуется их цветовосприятие, поскольку их просят отмечать изменение ахроматического знака в фокусе внимания [Color categories affect ..., 2010; Electrophysiological evidence ..., 2011; Short-term trained lexical categories ..., 2015; Forder et al., 2017], следить за изменением формы [Unconscious effects ..., 2009; Perceptual shift ..., 2010] или появлением изображения [Fonteneau et al., 2007].

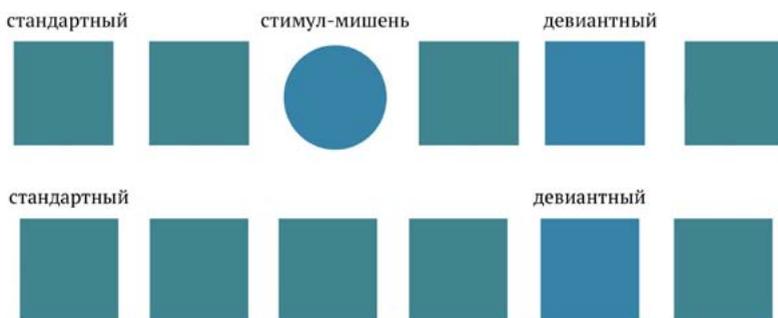


Рис. 1. Структура стимулов  
в пассивной (вверху) и активной (внизу) одболл-задачах

Метод связанных с событиями потенциалов предполагает регистрацию реакций на многократное предъявление одного и того же стимула. Как правило, одболл-задания делятся на блоки. Стимулы предъявляются в течение 200—500 мс с интервалом от 600 до 1600 мс (таблица 1).

Иногда перед началом эксперимента или после его завершения участников просят выполнить лингвистический тест и назвать цветовые образцы на своем родном языке (отнести каждый из них к определенной цветовой категории) [Electrophysiological evidence ..., 2011]; определить по шкале с полюсами «очень похожи» и «совершенно разные» степень сходства оттенков в паре [Perceptual shift ..., 2010] или выполнить другие поведенческие задания [Neurophysiological evidence ..., 2009].

### 3.2. Значимые для анализа цветовой категоризации компоненты связанных с событиями потенциалов

Перед анализом полученные при выполнении одболл-заданий данные усредняются, чтобы устранить фоновый шум, с интересующим стимулом не связанный. В результате усреднения шум теоретически становится равным 0, а сигнал выделяется из фона, образуя серию положительных и отрицательных отклонений, или так называемых компонентов, каждый из которых отражает определенный нейронный или когнитивный процесс.

Анализ связанных с событиями потенциалов строится на сравнительном изучении представленных в виде графика форм волн. В качестве показателей обычно используют среднюю амплитуду напряжения компонента (мкВ) и пиковую латентность (мс), которая представляет собой конкретный момент времени, когда компонент достигает максимальной амплитуды (рис. 2). Изменения амплитуды и латентности связанных с событиями потенциалов в ответ на необычные цветовые стимулы оцениваются как эффект категорий.

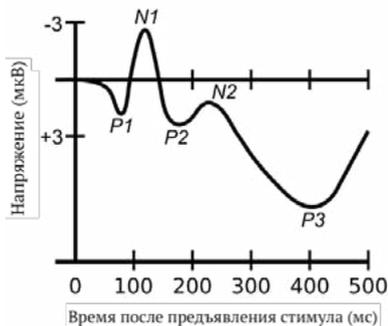


Рис. 2. Основные компоненты в форме волны

Компоненты волны следуют в определенном порядке и имеют устойчивые аббревиатуры: P1, N1, P2, N2, P3. Латинская буква обозначает направление отклонения напряжения: положительное (P — от англ. *positive*) или отрицательное (N — от англ. *negative*); цифра — порядок следования компонента в структуре волны: P1 обозначает первый положительный компонент, P2 — второй и т. д. При этом на графике отрицательное напряжение иногда строится не вниз, а вверх (рис. 2).

Каждый из компонентов рассматривается как маркер определенных сенсорных или постперцептивных процессов (см., например: [Luck, 2014]). Компоненты P1 (80—120 мс после предъявления стимула) и N1 (130—190 мс после предъявления стимула) соответствуют ранним перцептивным и сенсорным процессам в мозге. Они локализуются в экстрастриарной зрительной коре и чувствительны прежде всего к физическим характеристикам сенсорных стимулов; их можно также изменять с помощью манипуляций с вниманием (см. подробнее: [Neurophysiological evidence ..., 2009; Neural correlates ..., 2012]). В анализе нейрофизиологических маркеров цветовой категоризации ранним компонентам связанных с событием потенциалов P1 и N1 уделяется особое внимание, поскольку большинство исследователей убеждены, что эти компоненты невосприимчивы к лингвистическим

(семантическим и синтаксическим) процессам (см. подробнее [Neurophysiological evidence ..., 2009]), а значит — могут дать важную информацию для изучения перцептуального вклада в цветовую категоризацию.

Компоненты P2, N2 и P3, которые формируются в период 210—270, 280—340, 350—600 мс после предъявления стимула соответственно и широко распределяются по коже головы, рассматриваются как маркеры пост-перцептивных когнитивных процессов (отражают фиксацию изменений, оценку стимула, работу кратковременной памяти и др.).

Важным компонентом для анализа нейронных коррелятов цветовой категоризации является также зрительная негативность рассогласования (англ. *visual mismatch negativity*, *vMMN*). Этот компонент считается электрофизиологическим маркером раннего неосознаваемого ответа на новый стимул и регистрируется в диапазоне между 100 и 250 мс после предъявления стимула (ср.: [Preattentive binding ..., 2005; Color categories affect ..., 2010]).

В исследованиях связанных с событиями потенциалов с помощью одболл-заданий у младенцев особое внимание уделяется компонентам Nc (англ. *central negativity* — центральная негативность), NSW (англ. *negative slow wave* — отрицательная медленная волна), PSW (англ. *positive slow wave* — положительная медленная волна), LSW (англ. *late slow wave* — поздняя медленная волна). Компонент Nc достигает пика примерно через 400 мс и обычно интерпретируется как маркер распределения внимания. Компоненты PSW и NSW отражают более диффузную активацию нейронных областей, при этом отрицательные медленные волны рассматриваются как маркеры обнаружения новых событий на фоне знакомых, а положительные — степень кодирования и обновления стимула в рабочей памяти. Компонент LSW связан с памятью узнавания (см. подробнее: [Nelson et al., 2001]).

### **3.3. Фокус нейролингвистических исследований цветовой категоризации**

Проведенный анализ позволяет выделить пять тематических групп нейролингвистических исследований, разработанных с использованием парадигмы необычного стимула.

#### **3.3.1. Природа нейрофизиологических механизмов цветовой категоризации и их временные параметры**

В фокусе ранних исследований нейрофизиологических коррелятов цветовой категоризации находятся временные параметры категориального восприятия цвета. Экспериментальные стимулы таких исследований име-

ют простую структуру и представляют собой размещенный в центре экрана квадрат, окрашенный в определенный цвет (рис. 3—5).

В первом эксперименте, разработанном для изучения цветовой категоризации на основе парадигмы пассивного оддболл-задания [Fonteneau et al., 2007], исследователи сравнивали потенциалы, связанные с одним и тем же цветовым стимулом (зеленым) в трех различных контекстах (рис. 3): в условиях большого различия между категориями (зеленый и красный), маленького различия между категориями (зеленый и синий) и маленького различия внутри одной и той же категории (два оттенка зеленого). В каждом из контекстов зеленый цвет выступал в качестве стандартного (в одном блоке) и девиантного (в другом блоке).

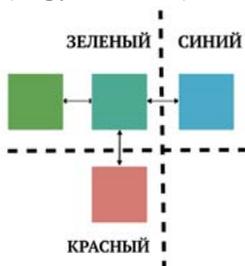


Рис. 3. Цветовые стимулы эксперимента [Fonteneau et al., 2007]

Эксперимент показал изменения ранних компонентов связанных с событиями потенциалов не только в условиях большого расстояния между категориями («красный» контекст), но и в условиях их близости («синий» контекст). Зафиксированная временная динамика оказалась схожей с другими, очевидно более сложными задачами визуальной категоризации (например, распознаванием эмоций и лиц). Время реакция на стимулы внутри одной и той же категории увеличивалось, что отражало большую сложность выполняемого задания: стимулы из разных категорий выглядели более различными, чем стимулы внутри категории.

Авторы следующего исследования [Neurophysiological evidence ..., 2009], продолжая изучение временных параметров цветовой категоризации, поставили перед собой цель оценить роль в категориальном восприятии цвета перцептивных и постперцептивных процессов. Стараясь преодолеть ограничения предыдущего исследования [Fonteneau et al., 2007], авторы намеренно использовали намного меньшие цветовые различия в парах ( $\Delta E \approx 25$  по сравнению с  $\Delta E \approx 56$ ), в два раза (до 400 мс) увеличили продолжительность презентации стимулов и паузу между ними (до 1300—1600 мс), чтобы классический оддболл-эффект мог проявиться не только

в «ранних» компонентах (P1 и P2), но и в «поздних» (в частности, в компоненте P3). Кроме этого, авторы предложили участникам выполнить не пассивные, а активные оддболл-задания: задача участников заключалась в том, чтобы наблюдать за изменениями цвета и вести подсчет девиантных стимулов в каждой из последовательностей (рис. 4).

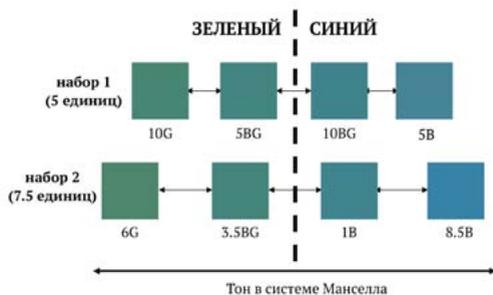


Рис. 4. Цветовые стимулы эксперимента [Neurophysiological evidence ..., 2009]

В отличие от предыдущего эксперимента [Fonteneau et al., 2007] авторы обнаружили, что эффект категорий проявляется не только в ранних (P1, N1), но и в последующих постперцептивных компонентах (P2, P3).

Причиной того, что полученные в двух первых исследованиях результаты не совпадали с точки зрения вовлеченных в эффекты категоризации компонентов, по мнению Хи Ксана и соавторов [Color categories only affect ..., 2014], могло стать использование для создания стимулов стандартных образцов цветовой системы Манселла. Здесь, как и в других цветовых системах, цветовые различия, выраженные в одинаковых единицах по тону или Евклидову расстоянию, не обязательно одинаково различимы (см. подробнее: [Hunt et al., 2011]). Чтобы преодолеть это ограничение, Хи Ксан и соавторы [Color categories only affect ..., 2014] предложили провести оддболл-эксперимент еще раз, разработав цветовые стимулы самостоятельно на основе измерения порогов различения цвета.

При создании цветовых стимулов исследователи выразили порог цветоразличения в особой единице измерения — «едва заметных различиях» (англ. *just noticeable difference, JND*). 4 сине-зеленых оттенка были выбраны таким образом, чтобы расстояние между соседними воспринималось одинаково и составляло 3 JND. На основе этих оттенков были разработаны 2 набора цветовых стимулов, каждый из которых включал один стандартный и два девиантных цвета (рис. 5). Задача участников эксперимента заключалась в том, чтобы внимательно следить за изменениями цвета и подсчитывать количество девиантных стимулов.

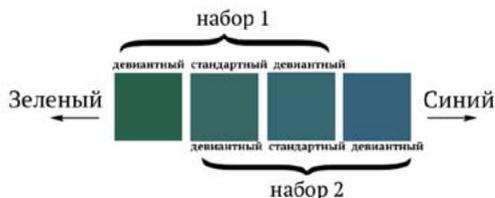


Рис. 5. Цветовые стимулы эксперимента [Color categories only affect ..., 2014]

В отличие от проведенных ранее исследований, в этом эксперименте эффект категорий никак не проявился в течение первых 200 мс после предъявления цветового стимула и затронул только компоненты, связанные с постперцептивными процессами (компоненты N2, P2, P3). Позже похожий результат был получен в эксперименте с искусственными цветовыми категориями [Neural correlates ..., 2012], однако там эффект категорий проявился еще позже (начиная с 350 мс), что, по мнению авторов, может быть связано с разной степенью установления категориального различия.

### 3.3.2. Цветовая категоризация у не умеющих говорить младенцев

Еще одним направлением исследования электрофизиологических коррелятов цветовой категоризации стало изучение временных параметров категориального восприятия цвета и роли в нем перцептивных и постперцептивных процессов у не умеющих говорить младенцев [Electrophysiological markers..., 2009]. Экспериментальное исследование с участием семимесячных детей показало, что, как и у взрослых, цвет необычного стимула, который находится за границей категории (рис. 6), вызывает у них большую амплитуду связанных с событием потенциалов компонента Nc и более выраженную негативную медленную волну (NSW), что отражает аттенциональную нагрузку и эффект новизны.

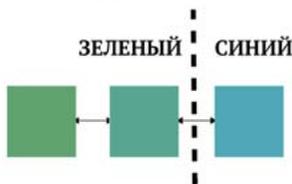


Рис. 6. Цветовые стимулы эксперимента [Electrophysiological markers..., 2009]

Полученные результаты позволили авторам сделать вывод, что категорическое восприятие цвета может осуществляться без языка, до освоения цветоименований, а также представить дополнительную информацию

о временном течении и механизмах, лежащих в основе этого эффекта. Исследование выявило сходство в нейронных маркерах цветовой категоризации с другими типами категориального реагирования в младенчестве, а также схожие временные параметры цветовой и фонемной категоризации.

### 3.3.3. Исследование эффекта латерализации

Важным направлением электрофизиологического исследования цветовой категоризации стало изучение природы характерного для нее эффекта латерализации, суть которого заключается в том, что язык оказывает на категориальное восприятие цвета более сильное воздействие в том случае, когда этот цвет расположен в определенной части визуального поля. В таких исследованиях стимулы имеют сложную структуру и включают один подвижный или несколько статичных цветных квадратов, которые предъявляются парами и располагаются сверху и снизу от точки фиксации [Forder et al., 2017] или справа и слева от нее [Electrophysiological evidence ..., 2011; Short-term trained lexical categories ..., 2015] (рис. 7, 8, 10).

Дизайн исследования А. Клиффорд и ее коллег [Color categories affect ..., 2010] был разработан таким образом, чтобы проверить, как влияет на категоризацию цвета разница между верхом и низом визуального поля. Экспериментальные стимулы включали три оттенка: стандартный синий, девиантный синий и девиантный зеленый (таблица 2). В центре каждого стимула был изображен прямоугольник синего цвета, на фоне которого в самом центре размещался маркер в форме креста или круга. Сверху или снизу от прямоугольника находился квадрат стандартного синего, девиантного синего или зеленого цвета (рис. 7). Задача участников заключалась в том, чтобы следить за изменениями маркера в центре экрана.



Рис. 7. Структура стимулов в эксперименте [Color categories affect ..., 2010]

Исследование показало, что категориальное восприятие цвета возникает на ранних стадиях хроматической обработки. По сравнению с предыдущими экспериментами, исследование [Color categories affect ..., 2010] доказало, что этот эффект не связан с нисходящей модуляцией постпер-

цептивных процессов (в частности — внимания). Однако отмеченный эффект проявлялся только в том случае, когда девиантный стимул находился в нижнем визуальном поле. Полученные результаты стали первым экспериментальным свидетельством в пользу автоматического и преаттентивного категориального кодирования цвета.

Л. Мо и соавторы [Electrophysiological evidence ..., 2011] продолжили изучение природы характерного для цветовой категоризации эффекта латерализации, но сосредоточились на различиях между левой и правой частями визуального поля. Для создания набора стимулов они выбрали четыре разных по тону оттенка с одинаковой яркостью и насыщенностью: нейтральный зеленый, сине-зеленый, зелено-синий и нейтральный синий (показатель цветового различия  $\Delta E$  для пар стимулов варьировался в диапазоне от 13 до 17.18) (таблица 2). Цвета предъявлялись парами и располагались слева и справа от точки фиксации в форме знака «плюс» в центре (рис. 8).



Рис. 8. Структура стимулов в эксперименте [Electrophysiological evidence ..., 2011]

В качестве маркера нейронных механизмов эффекта латерализации рассматривалась зрительная негативность рассогласования (vMMN). Исследование показало значимую зависимость этого компонента от типа цветового стимула и части визуального поля, в которой он располагался. Различие между девиантным стимулом из той же категории и стимулом из другой категории было гораздо более выраженным в том случае, если девиантный стимул располагался справа. Полученные результаты позволили авторам подтвердить вывод исследования А. Клиффорд и ее коллег [Color categories affect ..., 2010] об автоматической и преаттентивной природе эффекта латерализации и высказать предположение о том, что описанные механизмы контролируются левым полушарием головного мозга, в котором находится большинство языковых функций.

### 3.3.4. Межязыковые и внутриязыковые различия в использовании цветовых категорий

Одним из флагманских исследований цветовой категоризации методом вызванных потенциалов стала работа Г. Тьерри и коллег [Unconscious effects ..., 2009; Perceptual shift ..., 2010]. В этом эксперименте авторы

сравнили реакции носителей греческого и английского языков, записанные в ходе ЭЭГ-эксперимента, разработанного с использованием пассивной оддболл-парадигмы. Стандартные и девиантные стимулы представляли собой разные по светлоте (темные и светлые) круги синего и зеленого цвета (таблица 2). Задача участников заключалась в том, чтобы заметить среди предъявляемых стимулов квадрат (стимул-мишень) и сообщить об этом экспериментатору (рис. 9).

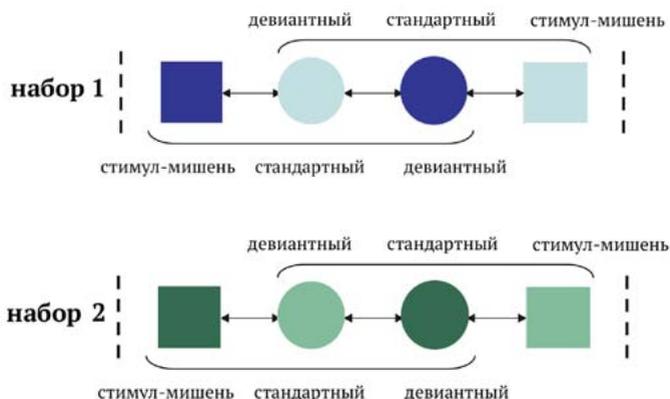


Рис. 9. Стимулы эксперимента [Unconscious effects ..., 2009]

Гипотеза исследования состояла в том, что из-за категориальных различий между греческим и английским языком (существования двух основных «синих» категорий в греческом и только одной — в английском) у носителей греческого языка оддболл-эффект в синей части цветового спектра будет более выраженным. В ходе эксперимента выдвинутое предположение подтвердилось. В то время как у англоязычных участников реакции на девиантные и стандартные стимулы были довольно схожими, носители греческого языка демонстрировали более выраженные различия между светлыми и темными оттенками синего по сравнению с зелеными оттенками. Анализ строился главным образом на изучении зрительной негативности рассогласования (vMMN), которая была максимальной над теменно-затылочной областью головы и исследовалась на электродах IZ, O1, O2, OZ, PO7, PO8, PO9 и PO10. Обнаруженные эффекты были достаточно слабыми ( $\sim 0.5$  мкВ), размер эффекта составил  $\eta^2 = 0,112$  с доверительным интервалом 0,004–0,273.

П. Атанасополос и соавторы [Perceptual shift ..., 2010] повторно проанализировали электрофизиологические данные, представленные в работе

[Unconscious effects ..., 2009], чтобы определить, сходятся ли когнитивная обработка, лингвистические описания и преаттентивное восприятие цвета у людей, которые говорят только на одном языке, и билингов. Отправным пунктом для смещения фокуса исследовательского интереса стала мысль о том, что в современном мире большинство людей используют в повседневном общении сразу несколько языков. Более того, многие билинговы говорят на языках с контрастными лексическими и грамматическими структурами. При этом экспериментально установлено, что освоение новых категорий приводит к изменениям в категориальном восприятии и распознавании объектов, по крайней мере в краткосрочной перспективе (см., например: [Notman et al., 2005]). А это значит, изучение категориального восприятия билингов может дать ответ на вопрос, является ли когнитивная репрезентация фиксированной и статичной или она динамично и гибко меняется под влиянием различных языков и культур.

Испытуемые — носители греческого языка были разделены на две группы в зависимости от того, насколько хорошо они владели английским языком и как часто использовали его в своем повседневном общении. Проведенный отдельно для каждой группы анализ данных показал, что, по сравнению с носителями греческого языка, которые знают, но реже используют английский язык, электроэнцефалографические реакции билингов оказались более похожими на реакции носителей английского языка. Данные, полученные с помощью связанных с событиями потенциалов мозга, убедительно свидетельствуют о том, что нейронная перестройка основных компонентов восприятия (таких, как те, на которые указывают модуляции зрительной негативности рассогласования vMMN) может происходить у билингов в зависимости от продолжительности пребывания в стране, где говорят на втором языке. В частности, в среднем после 3,5 лет постоянного проживания в англоязычной стране (Великобритании) носители греческого языка перестают относить светлый и темный синие оттенки к разным категориям, и это отражается на когнитивной обработке, лингвистическом описании и неосознаваемом восприятии цвета. Полученные результаты позволяют предположить, что цветовые категории у взрослых довольно легко изменяются под влиянием текущего опыта и, таким образом, скорее всего, являются лингвистическими конструктами, а не жестко закрепленными перцептивными структурами.

Основываясь на результатах исследования Г. Тьерри и его коллег [Unconscious effects ..., 2009; Perceptual shift ..., 2010], которые показали, что связанные с категориальным цветовосприятием компоненты вызванных потенциалов заметно меняются в зависимости от специфической для языка цветовой терминологии, Л. Фордер и соавторы [Forder et al., 2017]

предположили, что эффект категоризации может быть обусловлен не только межъязыковыми различиями (несовпадающим набором цветовых категорий в различных языках мира), но различиями в использовании цветовых категорий носителями одного и того же языка.

Авторы использовали для разработки экспериментальных стимулов едва различимые отличия (JND), значения которых были получены в исследовании [Color categories only affect ..., 2014]. Стимулы были разработаны на основе трех оттенков — зеленого, синего и оттенка на границе между ними. Разница между соседними цветами составляла 3 JND (таблица 2). Цвета предъявлялись парами. В центре каждого стимула находилась точка фиксации, сверху и снизу от которой располагались цветные квадраты (рис. 10).



Рис. 10. Структура стимулов в эксперименте [Forder et al., 2017]

Авторы эксперимента обнаружили эффект категорий через 100 мс после предъявления стимула, а во фронтальных областях — примерно через 250 мс, что позволило им заключить, что цветоименование влияет как на ранние сенсорные, так и на более поздние стадии обработки хроматической информации. Основываясь на результатах проведенного ими эксперимента, авторы не исключают, что эффект категорий может быть причиной, а не результатом групповых различий в назывании цветов. Другими словами, к различиям в цветоименовании могут приводить физиологические различия в зрительной системе у разных людей.

### 3.3.5. Нейрофизиологические корреляты искусственных цветовых категорий

Важный вклад в обсуждение механизмов цветовой категоризации внесло исследование нейрофизиологических коррелятов искусственных

категорий А. Клиффорд и ее коллег, опубликованное в 2012 году [Neural correlates ..., 2012]. Отправным пунктом для разработки экспериментального дизайна стали выводы нескольких предшествующих исследований о том, что к изменениям в выполнении связанных с категоризацией заданий может привести изучение новых категорий (см., например: [Notman et al., 2005]). Эти исследования показали, что обучение участников группировке образцов в новые (искусственные) категории сопровождается заметным эффектом категоризации: скорость и точность выполнения задания увеличиваются, когда стимулы относятся к разным категориям (приобретенная различимость), и снижаются, когда они относятся к одной и той же новой категории (приобретенная эквивалентность).

Основываясь на этих данных, А. Клиффорд и ее соавторы выдвинули предположение о том, что изучение новых цветовых категорий приведет к изменению потенциалов, связанных с девиантными стимулами, а детальный анализ отдельных компонентов этих реакций поможет получить новые данные о природе цветовой категоризации и ее временных параметрах.

Исследование включало два этапа. Сначала, на этапе обучения, участники в течение нескольких дней тренировались различать оттенки из двух новых, искусственно созданных цветовых категорий, граница между которыми проходила в центре зеленой области цветового пространства. На втором этапе применялся метод связанных с событиями потенциалов, и участники выполняли одболл-задания. Экспериментальные стимулы были разработаны на основе восьми сине-зеленых оттенков цветовой системы Манселла, которые имели одинаковую насыщенность и светлоту и различались только по тону (рис. 11).

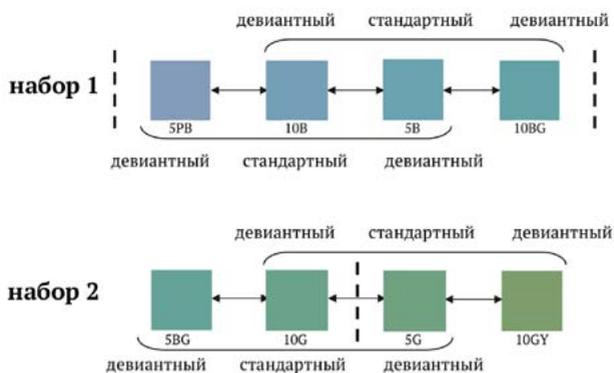


Рис. 11. Цветовые стимулы эксперимента [Neural correlates ..., 2012]

Исследование подтвердило, что освоение новых категорий оказывает заметное влияние на параметры связанных с событиями потенциалов. В частности, происходит изменение амплитуды постперцептивного компонента РЗ. При этом эффект новой категории никак не проявляется в ранних компонентах (P1, N1, P2 и N2), что, по мнению авторов, вполне может быть связано с тем, что обучение было недолгим.

Продолжая изучение нейронных коррелятов искусственных категорий, авторы следующего исследования [Short-term trained lexical categories ..., 2015] решили проверить, будет ли наблюдаться в случае краткосрочного обучения лексическим категориям (подобного тому, что использовали в своем исследовании А. Клиффорд и ее коллеги [Neural correlates ..., 2012]) выявленное в эксперименте Мо Лэй и соавторов [Electrophysiological evidence ..., 2011] латерализованное преаттентивное восприятие цвета.

Для разработки экспериментальных стимулов авторы выбрали шесть синих оттенков, которые в ходе предварительного обучения участники тренировались распределять в две новых искусственных категории. После этого им предлагалось выполнить задания оддболл-эксперимента, дизайн которого был похож на дизайн эксперимента, разработанного под руководством Мо Лэй [Electrophysiological evidence ..., 2011]. В качестве стандартных и девиантных оттенков здесь выступали четыре цвета, образованные на основе оттенков искусственных категорий (рис. 12). Все эти оттенки в китайском языке (родном языке участников эксперимента) обозначались одинаковым цветоименованием, поэтому разница в нейрофизиологических реакциях на предъявляемые стимулы могла появиться лишь в том случае, если эффект категорий характерен не только для естественных, но и для искусственных лингвистических категорий. Среднее расстояние  $\Delta E$  между стандартным и внешним девиантным стимулами составляло 9.72 и практически совпадало с расстоянием между стандартным и центральным девиантным стимулами ( $\Delta E=9.28$ ).

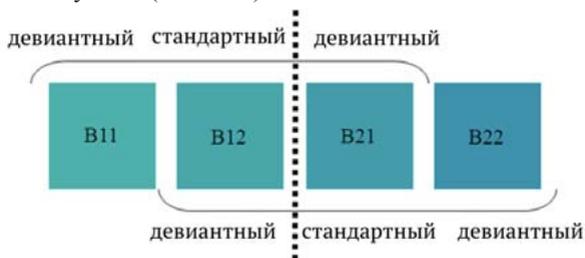


Рис. 12. Цветовые стимулы эксперимента  
[Short-term trained lexical categories ..., 2015]



Во время выполнения оддболл-заданий у участников, которые прошли предварительное обучение, наблюдался значительный эффект зрительной негативности рассогласования (vMMN), вызванный центральными девиантными стимулами в правом визуальном поле. В контрольной группе подобный эффект на любой тип девиантных стимулов отсутствовал. Таким образом, результаты эксперимента подтвердили гипотезу лингвистической относительности и дали новые доказательства механизма влияния языка на восприятие цвета. Исследование показало, что (1) кратковременное обучение лексическим категориям приводит к преаттентивной категоризации цвета (ранее [Neural correlates ..., 2012] было также обнаружено влияние новых категорий на постперцептивные компоненты); (2) ассоциирование цвета с лексической категорией повышает чувствительность участников к стимулам из разных категорий; (3) ассоциации между цветоименованиями и определенными оттенками, полученные в ходе обучения, схожи с теми, которые приобретаются в реальной жизни.

#### 4. Заключение = Conclusions

Анализ научных источников по обсуждаемой проблематике с точки зрения сопоставления тем, эмпирического задела, методов и методологии позволяет сделать ряд важных выводов о состоянии нейролингвистических исследований цветовой категоризации с использованием оддболл-парадигмы.

*Во-первых*, применение метода связанных с событиями потенциалов в сочетании с оддболл-заданиями в изучении цветовой категоризации в современной нейролингвистике используется для решения целого ряда исследовательских задач. Он позволяет определить природу нейрофизиологических механизмов цветовой категоризации и их временные параметры [Fonteneau et al., 2007; Neurophysiological evidence ..., 2009; Color categories affect ..., 2010; Electrophysiological evidence ..., 2011]; проверить связь эффекта категоризации с межъязыковыми различиями [Unconscious effects ..., 2009; Perceptual shift ..., 2010] и с различиями в использовании цветowych категорий носителями одного и того же языка [Forder et al., 2017]; зафиксировать динамику нейронных маркеров категориального восприятия на протяжении жизни [Neural correlates ..., 2012; Short-term trained lexical categories ..., 2015] и установить, существует ли цветова́я категоризация без языка [Electrophysiological markers..., 2009].

*Во-вторых*, полученные в анализируемых исследованиях результаты пока не дают возможности окончательных выводов о роли в категорическом восприятии перцептивных и постперцептивных процессов, поскольку они не совпадают с точки зрения вовлеченных в эффекты категоризации



компонентов. Ряд работ показывает, что цветовая категоризация затрагивает ранние компоненты, в частности — P1 [Fonteneau et al., 2007; Neurophysiological evidence ..., 2009] и vMMN [Unconscious effects ..., 2009; Perceptual shift ..., 2010; Color categories affect ..., 2010; Electrophysiological evidence ..., 2011; Short-term trained lexical categories ..., 2015]. При этом другие авторы отмечают категориальный эффект только на поздних, пост-перцептивных уровнях [Neural correlates ..., 2012; Color categories only affect ..., 2014; Forder et al., 2017] или на обоих (ранних и поздних) уровнях сразу [Neurophysiological evidence ..., 2009]. Кроме того, различия между обычными и необычными стимулами разные исследователи фиксируют в различных показателях — в амплитуде связанных с событиями потенциалов, их латентности или в совокупном изменении обоих этих параметров.

*В-третьих*, имеющиеся данные убеждают в том, что выявленные параметры электрофизиологических коррелятов цветовой категоризации оказываются схожими с другими типами категоризации, и дают новые доказательства механизма влияния языка на восприятие цвета. Исследования показывают, что эффект категоризации связан с межъязыковыми различиями (несовпадающим набором цветовых категорий в различных языках мира) [Unconscious effects ..., 2009; Perceptual shift ..., 2010], с различиями в использовании цветовых категорий носителями одного и того же языка [Forder et al., 2017] и сопровождается освоением искусственных категорий [Neural correlates ..., 2012; Short-term trained lexical categories ..., 2015].

*В-четвертых*, за пределами исследовательского интереса до сих пор остается большая часть цветового спектра. Большинство выводов авторы экспериментов традиционно делают для синей и зеленой цветовых категорий. Дополнительным ограничением исследований цветовой категоризации, разработанных на основе одболл-парадигмы, является также использование для создания стимулов цветовых образцов определенной системы. Чаще всего стимулы разрабатываются с использованием нотации цветовой системы Манселла или систем CIELUV/CIELAB, в которых цветовые различия, выраженные в одинаковых единицах по тону или Евклидову расстоянию, не обязательно одинаково различимы.

*В-пятых*, в фокусе внимания исследователей пока находится довольно ограниченная возрастная группа; преимущественно — носители английского языка, чаще — женского пола. А значит, для получения новых знаний о нейрофизиологических механизмах цветовой категоризации и подготовки выводов о ее возрастной и социокультурной специфике необходимы новые нейролингвистические исследования на репрезентативных выборках участников с разными социально-культурными и социально-демографическими характеристиками (носители разных языков разного пола и возраста).



Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

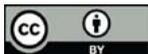
The author declares no conflicts of interests.

### Литература

1. *Барабанщиков В. А.* Перцептивная категоризация выражений лица / В. А. Барабанщиков, А. В. Жегалло, О. А. Королькова. — Москва : Когито-Центр, 2016. — 360 с. — ISBN 978-5-89353-474-0.
2. *Грибер Ю. А.* Картография цвета : диагностика развития цветоименований русского языка с использованием естественно-научных, историографических, социологических и психологических методов / Ю. А. Грибер. — Москва : Согласие, 2021. — 152 с. — ISBN 978-5-907038-86-8.
3. *Color categories affect pre-attentive color perception / A. Clifford, A. Holmes, I. R. L. Davies, A. Franklin // Biological Psychology. — 2010. — № 85. — Pp. 275–282. — DOI: 10.1016/j.biopsycho.2010.07.014.*
4. *Color categories only affect post-perceptual processes when same- and different-category colors are equally discriminable / He Xun, C. Witzel, L. Forder, A. Clifford, A. Franklin // Journal of the Optical Society of America. A, Optics, Image Science, and Vision. — 2014. — № 31. — Pp. A322–A331. — DOI: 10.1364/JOSAA.31.00A322.*
5. *Color naming, lens aging, and grue : what the optics of the aging eye can teach us about color language / J. L. Hardy, C. M. Frederick, P. Kay, J. S. Werner // Psychological science. — 2005. — № 16 (4). — Pp. 321–327. — DOI: 10.1111/j.0956-7976.2005.01534.x.*
6. *Electrophysiological evidence for the left-lateralized effect of language on preattentive categorical perception of color / Mo Lei, Xu Guiping, Kay Paul, Tan Li-Hai // Proceedings of the National Academy of Sciences. — 2011. — № 108. — Pp. 14026–14030. — DOI: 10.1073/pnas.1111860108.*
7. *Electrophysiological markers of categorical perception of color in 7-month old infants / A. Clifford, A. Franklin, I. R. L. Davies, A. Holmes // Brain and Cognition. — 2009. — № 71. — Pp. 165–172. — DOI: 10.1016/j.bandc.2009.05.002.*
8. *Fonteneau E.* Neural correlates of colour categories / E. Fonteneau, J. Davidoff // *Neuroreport. — 2007. — № 18. — Pp. 1323–1327. — DOI: 10.1097/WNR.0b013e3282c48c33.*
9. *Forder L.* Colour categories are reflected in sensory stages of colour perception when stimulus issues are resolved / L. Forder, He Xun, A. Franklin // *PLoS ONE. — 2017. — № 12. — Pp. e0178097. — DOI: 10.1371/journal.pone.0178097.*
10. *Franklin A.* New evidence for infant colour categories / A. Franklin, I. R. L. Davies // *British Journal of Developmental Psychology. — 2004. — № 22. — Pp. 349–377. — DOI: 10.1348/0261510041552738.*
11. *Griber Y. A.* Intergenerational differences in Russian color naming in the globalized era : linguistic analysis / Y. A. Griber, D. Mylonas, G. V. Paramei // *Humanities and Social Sciences Communications. — 2021. — № 8. — P. 262. — DOI: 10.1057/s41599-021-00943-2.*
12. *Hunt R. W. G.* *Measuring Colour* / R. W. G. Hunt, M. R. Pointer. — 4th ed. — West Sussex : Wiley, 2011. — 496 p. — ISBN 978-1119975373.
13. *Kay P.* What is the Sapir–Whorf hypothesis? / P. Kay, W. Kempton // *American Anthropologist. — 1984. — № 86. — Pp. 65–79. — DOI: 10.1525/aa.1984.86.1.02a00050.*
14. *Lazar-Meyn H. A.* Color naming : “grue” in the Celtic languages of British Isles / H. A. Lazar-Meyn // *Psychological science. — 2004. — № 15 (4). — Pp. 288–294. — DOI: 10.1111/j.0956-7976.2004.00669.x.*



15. *Luck S. J.* An Introduction to the Event-Related Potential Technique / S. J. Luck. — 2nd ed. — Cambridge, MA : MIT Press, 2014. — 416 p. — ISBN 978-0262525855.
16. *Nelson C. A.* The use of event-related-potentials in the study of cognitive development / C. A. Nelson, L. S. Monk // *Developmental cognitive neuroscience* Cambridge / ed. by C. A. Nelson, M. Luciana. — Cambridge, MA : MIT Press, 2001. — Pp. 125—136.
17. *Nelson C. A.* Use of event-related potentials in the study of typical and atypical development / C. A. Nelson, J. P. McCleery // *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*. — 2008. — № 47 (11). — Pp. 1252—1261. — DOI: 10.1097/CHI.0b013e318185a6d8.
18. *Neural* correlates of acquired color category effects / A. Clifford, A. Franklin, A. Holmes, V. G. Drivonikou, E. Özgen, I. R. L. Davies // *Brain and Cognition*. — 2012. — № 80. — Pp. 126—143. — DOI: 10.1016/J.BANDC.2012.04.011.
19. *Neurophysiological* evidence for categorical perception of color / A. Holmes, A. Franklin, A. Clifford, I. Davies // *Brain and Cognition*. — 2009. — № 69. — Pp. 426—434. — DOI: 10.1016/J.BANDC.2008.09.003.
20. *Notman L.* The nature of learned categorical perception effects : A psychophysical approach / L. Notman, P. T. Sowden, E. Özgen // *Cognition*. — 2005. — № 95. — B1—B14. — DOI: 10.1016/j.cognition.2004.07.002.
21. *Paramei G. V.* Color categorization : Patterns and mechanisms of evolution / G. V. Paramei // *Encyclopedia of Color Science and Technology* / ed. by R. Shamey. — 2nd ed. — Berlin/Heidelberg : Springer, 2020. — Pp. 1—6.
22. *Perceptual* shift in bilingualism : Brain potentials reveal plasticity in pre-attentive colour perception / P. Athanasopoulos, B. Dering, A. Wiggett, J.-R. Kuipers, G. Thierry // *Cognition*. — 2010. — № 116. — Pp. 437—443. — DOI: 10.1016/J.COGNITION.2010.05.016.
23. *Preattentive* binding of auditory and visual stimulus features / I. Winkler, I. Czigler, E. Sussman, J. Horváth, L. Balázs // *Journal of cognitive neuroscience*. — 2005. — № 17 (2). — Pp. 320—339. — DOI: 10.1162/0898929053124866.
24. *Roberson D.* The categorical perception of colors and facial expressions : the effect of verbal interference / D. Roberson, J. Davidoff // *Memory & Cognition*. — 2000. — № 28. — Pp. 977—986. — DOI: 10.3758/BF03209345.
25. *Russian blues* reveal effects of language on color discrimination / J. A. Winawer, N. Witthoft, M. C. Frank, L. Wu, A. R. Wade, L. Boroditsky // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. — 2007. — № 104. — Pp. 7780—7785. — DOI: 10.1073/pnas.0701644104.
26. *Saunders B. A. C.* Are there nontrivial constraints on colour categorization? / B. A. C. Saunders, J. van Brakel // *Behavioral and Brain Sciences*. — 1997. — № 20 (2). — Pp. 167—228. — DOI: 10.1017/S0140525X97531426.
27. *Short-term* trained lexical categories produce preattentive categorical perception of color : Evidence from ERPs / Zhong Weifang, Li You, Li Peixin, Xu Guiping, Mo Lei // *Psychophysiology*. — 2015. — № 52. — Pp. 98—106. — DOI: 10.1111/psyp.12294.
28. *Squires N. K.* Two varieties of long-latency positive waves evoked by unpredictable auditory stimuli in man / N. K. Squires, K. C. Squires, S. A. Hillyard // *Electroencephalography and clinical neurophysiology*. — 1975. — № 38 (4). — Pp. 387—401.
29. *The biological* bases of colour categorization : From goldfish to the human brain / K. Siuda-Krzywicka, M. Boros, P. Bartolomeo, C. Witzel // *Cortex*. — 2019. — № 118. — Pp. 82—106. — DOI: 10.1016/j.cortex.2019.04.010.



30. *Unconscious* effects of language-specific terminology on preattentive color perception / G. Thierry, P. Athanasopoulos, A. Wiggett, B. Dering, J.-R. Kuipers // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. — 2009. — № 106. — Pp. 4567—4570. — DOI: 10.1073/pnas.0811155106.

31. *Whorf* hypothesis is supported in the right visual field but not in the left / A. L. Gilbert, T. Regier, P. Kay, R. B. Ivry // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. — 2006. — № 103. — Pp. 489—494. — DOI: 10.1073/pnas.0509868103.

Статья поступила в редакцию 28.04.2023,  
одобрена после рецензирования 05.06.2023,  
подготовлена к публикации 15.06.2023.

## References

- Athanasopoulos, P., Dering, B., Wiggett, A., Kuipers, J.-R., Thierry, G. (2010). Perceptual shift in bilingualism: Brain potentials reveal plasticity in pre-attentive colour perception. *Cognition*, 116: 437—443. DOI: 10.1016/J.COGNITION.2010.05.016.
- Barabanshchikov, V. A., Zhegallo, A. V., Korolkova, O. A. (2016). *Perceptual categorization of facial expressions*. Moscow: Kogito-Center. 360 p. ISBN 978-5-89353-474-0. (In Russ.).
- Clifford, A., Holmes, A., Davies, I. R. L., Franklin, A. (2010). Color categories affect pre-attentive color perception. *Biological Psychology*, 85: 275—282. DOI: 10.1016/j.biopsycho.2010.07.014.
- Clifford, A., Holmes, A., Davies, I. R. L., Franklin, A. (2009). Electrophysiological markers of categorical perception of color in 7-month old infants. *Brain and Cognition*, 71: 165—172. DOI: 10.1016/j.bandc.2009.05.002.
- Clifford, A., Franklin, A., Holmes, A., Drivonikou, V. G., Özgen, E., Davies, I. R. L. (2012). Neural correlates of acquired color category effects. *Brain and Cognition*, 80: 126—143. DOI: 10.1016/J.BANDC.2012.04.011.
- Fonteneau, E., Davidoff, J. (2007). Neural correlates of colour categories. *Neuroreport*, 18: 1323—1327. DOI: 10.1097/WNR.0b013e3282c48c33.
- Forder, L., He, X., Franklin, A. (2017). Colour categories are reflected in sensory stages of colour perception when stimulus issues are resolved. *PLoS ONE*, 12: e0178097. DOI: 10.1371/journal.pone.0178097.
- Franklin, A., Davies, I. R. L. (2004). New evidence for infant colour categories. *British Journal of Developmental Psychology*, 22: 349—377. DOI: 10.1348/0261510041552738.
- Gilbert, A. L., Regier, T., Kay, P., Ivry, R. B. (2006). Whorf hypothesis is supported in the right visual field but not in the left. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103: 489—494. DOI: 10.1073/pnas.0509868103.
- Griber, Y. A., Mylonas, D., Paramei, G. V. (2021). Intergenerational differences in Russian color naming in the globalized era: linguistic analysis. *Humanities and Social Sciences Communications*, 8: P. 262. DOI: 10.1057/s41599-021-00943-2.
- Griber, Yu. A. (2021). *Color mapping: investigation of Russian color terms development using methods of natural sciences, historiography, social science and psychology*. Moscow: Soglasie. 152 p. ISBN 978-5-907038-86-8. (In Russ.).
- Hardy, J. L., Frederick, C. M., Kay, P., Werner, J. S. (2005). Color naming, lens aging, and grue: what the optics of the aging eye can teach us about color language. *Psychological science*, 16 (4): 321—327. DOI: 10.1111/j.0956-7976.2005.01534.x.



- He Xun, Witzel, C., Forder, L., Clifford, A., Franklin, A. (2014). Color categories only affect post-perceptual processes when same- and different-category colors are equally discriminable. *Journal of the Optical Society of America. A, Optics, Image Science, and Vision*, 31: A322—A331. DOI: 10.1364/JOSAA.31.00A322.
- Holmes, A., Franklin, A., Clifford, A., Davies, I. (2009). Neurophysiological evidence for categorical perception of color. *Brain and Cognition*, 69: 426—434. DOI: 10.1016/j.BANDC.2008.09.003.
- Hunt, R. W. G., Pointer, M. R. (2011). *Measuring Colour. 4th ed.* West Sussex: Wiley. 496 p. ISBN 978-1119975373.
- Kay, P., Kempton, W. (1984). What is the Sapir–Whorf hypothesis? *American Anthropologist*, 86: 65—79. DOI: 10.1525/aa.1984.86.1.02a00050.
- Lazar-Meyn, H. A. Color naming: “grue” in the Celtic languages of British Isles. *Psychological science*, 15 (4): 288—294. DOI: 10.1111/j.0956-7976.2004.00669.x.
- Luck, S. J. (2014). *An Introduction to the Event-Related Potential Technique. 2nd ed.* Cambridge, MA: MIT Press. 416 p. ISBN 978-0262525855.
- Mo Lei, Xu Guiping, Kay Paul, Tan Li-Hai. (2011). Electrophysiological evidence for the left-lateralized effect of language on preattentive categorical perception of color. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108: 14026—14030. DOI: 10.1073/pnas.1111860108.
- Nelson, C. A., Monk, L. S. (2001). *The use of event-related-potentials in the study of cognitive development. Developmental cognitive neuroscience Cambridge.* Cambridge, MA: MIT Press. 125—136.
- Nelson, C. A., McCleery, J. P. (2008). Use of event-related potentials in the study of typical and atypical development. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 47 (11): 1252—1261. DOI: 10.1097/CHI.0b013e318185a6d8.
- Notman, L., Sowden, P. T., Özgen, E. (2005). The nature of learned categorical perception effects: A psychophysical approach. *Cognition*, 95: B1—B14. DOI: 10.1016/j.cognition.2004.07.002.
- Paramei, G. V. (2020). Color categorization: Patterns and mechanisms of evolution. In: *Encyclopedia of Color Science and Technology. 2nd ed.* Berlin/Heidelberg: Springer. 1—6.
- Roberson, D., Davidoff, J. (2000). The categorical perception of colors and facial expressions: the effect of verbal interference. *Memory & Cognition*, 28: 977—986. DOI: 10.3758/BF03209345.
- Saunders, B. A. C., Brakel, J. van. (1997). Are there nontrivial constraints on colour categorization? *Behavioral and Brain Sciences*, 20 (2): 167—228. DOI: 10.1017/S0140525X97531426.
- Siuda-Krzywicka, K., Boros, M., Bartolomeo, P., Witzel, C. (2019). The biological bases of colour categorization: From goldfish to the human brain. *Cortex*, 118: 82—106. DOI: 10.1016/j.cortex.2019.04.010.
- Squires, N. K., Squires, K. C., Hillyard, S. A. (1975). Two varieties of long-latency positive waves evoked by unpredictable auditory stimuli in man. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 38 (4): 387—401.
- Thierry, G., Athanasopoulos, P., Wiggert, A., Dering, B., Kuipers, J.-R. (2009). Unconscious effects of language-specific terminology on preattentive color perception. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106: 4567—4570. DOI: 10.1073/pnas.0811155106.



- Winawer, J. A., Witthoft, N., Frank, M. C., Wu, L., Wade, A. R., Boroditsky, L. (2007). Russian blues reveal effects of language on color discrimination. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104: 7780—7785. DOI: 10.1073/pnas.0701644104.
- Winkler, I., Czigler, I., Sussman, E., Horváth, J., Balázs, L. (2005). Preattentive binding of auditory and visual stimulus features. *Journal of cognitive neuroscience*, 17 (2): 320—339. DOI: 10.1162/0898929053124866.
- Zhong, W., Li, Y., Li, P., Xu, G., Mo, L. (2015). Short-term trained lexical categories produce preattentive categorical perception of color: Evidence from ERPs. *Psychophysiology*, 52: 98—106. DOI: 10.1111/psyp.12294.

*The article was submitted 28.04.2023;  
approved after reviewing 05.06.2023;  
accepted for publication 15.06.2023.*