

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт  
физиологии им. И.П. Павлова Российской академии наук

На правах рукописи

Моисеенко Галина Александровна

НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ КЛАССИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ

03.03.01 – физиология

Диссертация

на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Научный руководитель:

**Юрий Евгеньевич Шелепин**

доктор медицинских наук,

профессор

Санкт-Петербург – 2019

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. Исследования механизмов классификации и распознавания изображений.....	16
1.1. Подходы к исследованию распознавания изображений зрительной системой.....	16
1.2. Нейрофизиологические механизмы классификации изображений объектов живой и неживой природы.....	25
1.2.1. Психофизические исследования.....	26
1.2.2. Исследования с помощью МРТ (магнитно-резонансной томографии) и фМРТ (функциональной магнитно-резонансной томографии).....	27
1.2.3. Исследования методами вызванных потенциалов и магнитной энцефалографии.....	33
ГЛАВА 2. Материал и методы исследования.....	46
2.1. Характеристика исследуемой группы.....	46
2.2. Оценка параметров зрения.....	47
2.2.1. Офтальмологические методы.....	47
2.3. Зрительные тесты (4 теста) и регистрация вызванных потенциалов.....	49
2.3.1. Методика для исследования влияния инструкции наблюдателю на процесс классификации (исследования 1 и 2).....	49
2.3.2. Методика для исследования характеристик вызванных потенциалов на контурные изображения объектов живой и неживой природы на пределе разрешения зрительной системы (исследование 3).....	51

2.3.3. Методика исследования характеристик вызванных потенциалов на шахматный паттерн на пределе разрешения зрительной системы (исследование 4).....	51
2.3.4. Обработка данных.....	54
ГЛАВА 3. Результаты исследования.....	57
3.1. Исследование влияния инструкции наблюдателю на процесс классификации изображений объектов в фовеа. 1-я и 2-я серия исследований.....	57
3.1.1. Результаты исследований с задачей различения объектов по семантическим признакам (живой-неживой). 1-я серия исследований.....	57
3.1.2. Результаты исследований с задачей различения объектов по физическим признакам («четкий-размытый»). 2-я серия исследований.....	61
3.1.3. Зависимость латентных периодов основных компонентов вызванных потенциалов от характеристик стимула и от инструкции.....	69
3.1.4. Влияние обучения на характеристики вызванных потенциалов в задачах классификации.....	80
3.1.5. Характеристики вызванных потенциалов в задачах классификации изображений по пространственно-частотным признакам (на новой выборке испытуемых).....	83
3.2. Исследование характеристик вызванных потенциалов в задачах классификации на пределе разрешения зрительной системы (в фовеоле).....	88
3.2.1. Механизмы классификации изображений, инвариантных к преобразованию масштаба. 3-я серия исследований.....	88
3.2.2. Влияние размера изображений стимулов на пассивное распознавание («неосознанную» классификацию). 4-я серия исследований.....	93

ГЛАВА 4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ.....	96
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	106
ВЫВОДЫ.....	110
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	111
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	112
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	127

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность исследования.** Классификация изображений объектов является важным этапом познания и построения зрительной картины мира человеком. В мире накоплен огромный опыт бытовой, повседневной классификации и научной, создаваемой несколькими поколениями, однако нейрофизиологические механизмы классификации до сих пор остаются недостаточно изученными, несмотря на большое количество исследований, проведенных в этой области. В данной работе была рассмотрена важнейшая задача - как работают механизмы классификации живых и неживых (искусственных) объектов. Актуальность работы вызвана спецификой обучения искусственных нейронных сетей, задачами ориентации искусственных автономных систем. Поэтому представленная работа, направленная на изучение нейрофизиологических основ осознаваемых и неосознаваемых процессов классификации изображений в головном мозге человека, является актуальной. Результаты проведенного исследования являются важными при формировании задач создания систем искусственного интеллекта, а также методов диагностики в области медицины, и в военном деле.

Деятельность оператора в задачах классификации и распознавания зависит не только от физических и семантических свойств изображений объектов, но и от данной оператору инструкции. Исследование вероятности и времени обнаружения объектов, эффективности поиска в зависимости от условий наблюдения и характеристик самого объекта является областью постоянного изучения, так как во многом определяется уровнем развития техники для исследования, условиями работы оператора, а также совершенствованием систем демонстрации изображений [Барабанщиков, 1990, 2012, 2016; Бабенко, 2004; Красильников, 1999, 1997, 2001; Lutsiv, 2013]. Успешный поиск, обнаружение и распознавание объектов возможны при адекватной инструкции оператору, человеку или интеллектуальному автомату, в которой задается цель деятельности

для осуществления зрительного поиска. Это особенно необходимо в условиях неопределенности, помехи или среди изображений объектов, которые можно классифицировать неоднозначно, на основании их физических и семантических характеристик [Асташенко, 2009; Герасименко и др., 2013; Глезер, Цуккерман, 1961; Глезер, 1993; Красильников, 1986, 2011; Мирошников, 1987; Михайлова и др., 2007, 2009; Шевелев, 2007. 2010; Шелепин, 2017; Duda, 1997; Malashin, 2013; Rousselet, Macé, et al. 2004; Caharel et al., 2013; Gao et al., 2013]. Для объективизации и оценки временных характеристик процесса классификации и распознавания активно используют метод вызванных потенциалов с различными инструкциями наблюдателю в фундаментальных исследованиях механизмов обработки информации, в физиологии [Костандов, 2004; Иваницкий и др., 1976, 1984; Кропотов, 2004; Пономарев и др., 2018; Иванова и др., 2015; Carlson et al, 2013; Caspari, et al, 2014; Ganis, et al. 2012; Tanaka, 2018; Zania, et al. 2015], экспериментальной психологии, в эргономике, в клинике при нейроофтальмологических и психических и неврологических расстройствах [Гнездицкий, 1997; Евдокимов, 2014; Кропотов, 2004; Пронина и др., 2014; Муравьева, 2017; Castroa; 2014; Peyrin, 2010].

Конечной целью анализа человеком зрительной информации чаще всего является категоризация наблюдаемых объектов, на основании выделения из изображения семантической информации. Этот многоуровневый процесс должен включать как предварительный анализ глобальной, общей формы объекта, так и характерные детали, и их взаимное расположение. В системах технического зрения эти два типа описания детектируются различными способами. Распознавание формы объектов обеспечивают разные методы согласованной фильтрации, в основе которых происходит сравнение с выученными обобщенными шаблонами изображений объектов [Красильников, 1958, 1986, 2011, 2014]. Существуют методы глобального анализа сцены и методы, в основе которых лежит выделение отдельных признаков, например, такие, как метод Виолы-Джонса [Viola, Jones, 2001]. В качестве характерных деталей часто используются компактные области изображения, имеющие особое распределение

ориентаций градиентов яркости, например, угловые точки контуров. Анализ на основе таких характерных деталей ("ключевых точек") и их взаимного расположения используется в популярном алгоритме, как SIFT (The scale-invariant feature transform (SIFT) - это алгоритм в компьютерном зрении для обнаружения и описания локальных признаков в изображениях) [Lowe, 1999]. В зрительной системе человека работают механизмы локального и глобального анализа изображений. Зачастую механизмы локального и глобального анализа сцен и распознавания объектов отождествляют с работой двух систем нейронов - магно- и парво-систем. Первая из которых чувствительна к сигналам, имеющим высокие временные и низкие пространственные частоты, вторая - к высоким пространственным и низким временным частотам. Магно-система осуществляет описание общей формы объектов, направления движения, обеспечивает описание грубых пространственных признаков, в то время как парво-система дает описание мелких деталей и цвета при анализе объекта [Campbell, Robson, 1968; Глезер и др., 1975; Куликовский, Робсон, 1999]. Известно, что при отнесении объекта к какой-либо категории наблюдатели могут использовать либо присущие данному объекту признаки, либо определять форму объекта в целом, гештальт. Т.е., нем. Gestalt – форма, образ, структура пространственно-наглядная форма воспринимаемых предметов [Бондарко и др, 1999; Глезер, 1993; Шевелев, 2000; Шелепин, 1973, 1985, 2017].

Термин «классификация» в тексте применяем для наименования процесса разделения наблюдаемых объектов, в результате их распознавания на группы с разными свойствами.

**Дизайн** данного исследования состоял в разработке набора стимулов, (изображений объектов с разными семантическими или физическими свойствами), которые можно делить на классы, в разработке электрофизиологических методов регистрации зрительных вызванных потенциалов разных областей мозга на эти стимулы и в обработке полученных результатов.

Регистрацию зрительных вызванных потенциалов головного мозга

человека проводили в ответ на стимулы с разными физическими и семантическими свойствами при разных инструкциях наблюдателю.

Был подготовлен стимульный материал из существующего набора контурных изображений объектов, знакомых каждому испытуемому. В данном исследовании были выбраны два класса изображений объектов: объекты живой и неживой природы. Чтобы уменьшить влияние отдельных признаков, характерных для этих групп изображений объектов, была проведена обработка изображений с помощью вейвлетной фильтрации избирательно в области высоких и низких пространственных частот. Было получено 4 класса изображений: изображения объектов живой природы, отфильтрованные по низкой пространственной частоте; изображения объектов живой природы, отфильтрованные по высокой пространственной частоте; изображения объектов неживой природы, отфильтрованные по низкой пространственной частоте, и изображения объектов неживой природы, отфильтрованные по высокой пространственной частоте. Фильтрация позволила представить каждый стимул в группе как “живых”, так и “неживых” объектов в виде либо низкочастотного изображения - с размытыми контурами, либо высокочастотного - с четкими контурами. Многие детали, отфильтрованные по низким пространственным частотам, пропали. В других условиях предположительно они могли бы служить признаками, помогающими осуществлять категоризацию. Благодаря сохраненному низкочастотному спектру, определяющему гештальт, тестовые изображения выглядели вполне узнаваемыми. Возможность использовать одни и те же изображения объектов живой и неживой природы, но в разном пространственно-частотном диапазоне, позволяет в какой-то степени игнорировать роль отдельных физических свойств изображений и выделить их семантическое значение.

**Цель диссертационной работы** - провести анализ процессов классификации формы изображений, инвариантных к изменению размера и смене инструкции, на основании измерений сопутствующих электрофизиологических маркеров.



### **Основные задачи исследования:**

- разработать дизайн исследования и оценки состояния механизмов классификации по когнитивным вызванным потенциалам.
- изучить влияние смены пространственно-частотных и семантических признаков изображений стимулов на характеристики вызванных потенциалов в задачах классификации изображений.
- исследовать зависимость характеристик вызванных потенциалов в зависимости от вида деятельности, определяемой инструкцией наблюдателю и локализации регистрирующих электродов.
- изучить влияние размеров изображений стимулов на характеристики вызванных потенциалов в задачах классификации изображений, проецируемых в область фовеолы и фовеа.
- исследовать зависимость характеристик вызванных потенциалов от морфологических характеристик (фовеа и фовеолы глаза человека) в задачах классификации на пределе разрешения зрительной системы.

### **Научная новизна результатов**

Впервые объективными психофизическими и электрофизиологическими методами были изучены процессы классификации живых и неживых объектов в условиях смены инструкции, привлекающей и отвлекающей внимание испытуемого к поставленной задаче. Тем самым удалось сравнить вызванные потенциалы на осознаваемые и неосознаваемые процессы классификации изображений в рамках поставленной перед испытуемым цели.

Изучено влияние инструкций наблюдателю, пространственно-частотных и семантических признаков изображений стимулов на характеристики вызванных потенциалов в задачах классификации изображений, проецируемых в область фовеа. Было изучено изменение локализации и временных характеристик активности нейронных сетей путем управления вниманием испытуемого с помощью подачи инструкций наблюдателю.

Впервые была показана зависимость функциональных характеристик восприятия (по данным зрительных когнитивных вызванных потенциалов в задачах классификации изображений, предъявляемых на пределе разрешения) от морфологических характеристик (размеров фовеолы и фовеолиты глаза испытуемого). (Фовеолита – это термин, обозначающий центральную часть фовеолы, область с максимальной остротой зрения [Agarwal, 2011; Millodot, 2009]).

### **Научно-практическая ценность работы**

Предложены новые технологии измерения основных параметров механизмов фильтрации и принятия решений, таких как острота зрения и контрастная чувствительность, важнейших в офтальмологии, нейроофтальмологии, неврологии, психиатрии и в экспертизе трудоспособности. Предложенная технология позволяет повысить объективность измерения остроты зрения. Технология измерений включает предъявление испытуемому зрительных стимулов-оптотипов, различных по пространственно-частотным и семантическим характеристикам, и проведение измерений вызванных потенциалов от затылочных, височных и лобных областей коры. Стимулы фильтруют в различных участках видимого диапазона пространственных частот, что позволяет измерять пространственно-частотную контрастную чувствительность в режиме распознавания. Анализ характера вызванных потенциалов на предъявляемые живые/неживые или четкие/размытые изображения объектов позволяет исследователю оценить возможности испытуемого в классификации тестовых изображений. А также установить закономерности в решении задач осознаваемой и неосознаваемой классификации наблюдателем при распознавании изображений. По самой высокой пространственной частоте спектра изображения тестового опто типа, вызывающего неосознаваемый испытуемым отклик мозга, определяют разрешающую способность и, соответственно, остроту зрения испытуемого.

### **Заявки на патенты. Решения о выдачи патентов**

Патенты, оформленные в институте.

(Наименование объекта и авторы. Вид охранного документа, №, дата. Заявитель.)

1. Патент на полезную модель «Тест- объект для проведения теста Торренса детей и подростков с нарушенным зрением». Носова К.В., Моисеенко Г.А., Семенов. RU 144037 U1 10.08.2014. Заявитель: Носова К.В. Патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физиологии им. И.П. Павлова Российской академии наук (ИФ РАН) (RU).

2. Заявка на патент 2018 г. «Способ объективного измерения остроты зрения (варианты)» Моисеенко Г.А., Пронин С. В., Шелепин Ю. Е., Чихман В.Н. Институт физиологии им. И.П. Павлова РАН, Санкт-Петербург. Уведомление о регистрации заявки на изобретение - № 2018124062 от 02.07.2018.

**Предмет исследования** – влияние инструкции и стимулов с различными физическими и семантическими признаками, предъявляемых наблюдателю, на характеристики вызванных потенциалов при решении задач классификации изображений методом вызванных потенциалов с применением пространственно-временного анализа их характеристик.

**Объект исследования** – участники исследования – здоровые испытуемые, студенты и аспиранты без неврологических патологий, правши.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Показаны электрофизиологические маркеры, отражающие перестройку нейронных сетей головного мозга человека за счет переключения внимания испытуемого с помощью изменения инструкции наблюдателю.
2. Нейрофизиологическими методами изучен процесс как осознаваемой, и так «неосознаваемой» (вне избирательного внимания) классификации изображений тестовых объектов.
3. Показано, что электрофизиологические маркеры нейронных сетей в лобных областях мозга используют инвариантное описание изображений предыдущих уровней для обеспечения классификации объектов.
4. Выявлено, что диаметр фовеолы влияет на латентные периоды ранних волн зрительных вызванных потенциалов (компонент P100) в определенных

областях мозга. Чем больше диаметр фовеолы, тем позднее латентные периоды вызванных потенциалов в затылочных областях мозга.

### **Личный вклад автора**

Автором осуществлен анализ литературных данных по теме исследования, проведен отбор испытуемых, проведены проверка остроты зрения, измерение рефракции. Самостоятельно автором выполнена основная серия исследований: регистрация и анализ психофизических и электроэнцефалографических данных (измерение когнитивных вызванных потенциалов). Все представленные в диссертации результаты проанализированы автором самостоятельно.

### **Апробация диссертационной работы**

Апробация диссертации состоялась 09.07.2018 на заседании Ученого совета в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Института физиологии им. И.П.Павлова Российской академии наук.

Основные положения диссертации были представлены на следующих конференциях:

- 1). Симпозиум с международным участием «От детектора признака к единому зрительному образу», посвященный 80-летию со дня рождения академика И.А. Шевелева. (1-3 октября 2012 года, Москва, Россия).
- 2). X Международная конференция «Прикладная оптика-2012». (15 - 19 Октября 2012, Санкт-Петербург, Россия).
- 3). Всероссийская молодёжная конференция "Нейробиология интегративных функций мозга". (12-14 ноября 2013, Санкт-Петербург, Россия).
- 4). Международный историко-научный симпозиум «История оптики и современность» (28-30 октября 2013, Санкт-Петербург, Россия).
- 5). Methodological school “Data Processing in EEG/MEG”. (16 - 30 April 2013, Moscow, Russia).
- 6). XVII Школа - конференция молодых ученых по физиологии высшей нервной деятельности и нейрофизиологии. (21-23 октября 2013, Москва, Россия).

- 7). 6-й Международная конференция по когнитивной науке (23.06.14-27.06.14, г. Калининград, Россия).
- 8). XI Международная конференция «Прикладная оптика-2014» (21.10.14 – 24.10.14, г. Санкт-Петербург, Россия).
- 9). VI Всероссийский семинар — «круглый стол» Макула-2014 (16.05. – 18.05.14 г., г. Ростов-на-Дону, Россия).
- 10). «Третий международный историко-научного симпозиум по оптике». История оптики и природа явлений света. (27 - 30 октября 2015 года, с. 121, г. Санкт-Петербург, Россия).
- 11). The IEEE International Symposium «Video and Audio Signal Processing in the Context of Neurotechnologies». (June 30 – July 2, 2016, St. Petersburg, Россия).
- 12). VII Всероссийский семинар МАКУЛА - 2016. (20-22 мая, 2016, Ростов-на-Дону, Россия).
- 13). 12-й Международный междисциплинарный конгресс «Нейронаука для медицины и психологии». (1-11 июня, 2016 г., Судак, Крым, Россия).
- 14). XXIII Съезд Физиологического общества им. И. П. Павлова». (18-22 Сентября 2017 г., г. Воронеж, Россия).
- 15). Международная конференция «Обработка сигналов изображения и звука в контексте нейротехнологий». (26-30 июня 2017 г., г. Санкт-Петербург, Россия).
- 16). 3-я Международная Межвузовская Научно-практическая Конференция «Технологическая перспектива в рамках евразийского пространства: Новые рынки и точки экономического роста». (26-28 октября 2017 г., г. Санкт-Петербург, Россия).
- 17). Санкт-Петербургский научный форум, посвященный 100-летию Физиологического общества им. И.П.Павлова. (17-19 апреля 2017 года, г. Санкт-Петербург, Россия).

### **Публикации**

Основные результаты исследования отражены в публикациях:

**Статьи, опубликованные в Перечне изданий, рекомендованных ВАК МО и науки РФ:**

1. Вахрамеева О.А., Сухинин М.В., Моисеенко Г.А., Муравьева С.В., Пронин С.В., Волков В.В., Шелепин Ю.Е. Изучение порогов восприятия в зависимости от геометрии фовеа.// Сенсорные системы. - 2013. - Т. 27. - № 2. - С. 122-129.
2. Моисеенко Г. А., Шелепин Ю.Е., Хараузов А. К., Пронин С. В., Чихман В. Н., Вахрамеева О. А. Классификация и распознавание изображений живой и неживой природы.// Оптический журнал. - 2015. - Т.82. - №10. - С. 53-64.
3. Вартанян И. А., Носова К. В., Моисеенко Г. А., Семенов Л. А., Ланге Н. К. Особенности речевого описания тактильных воспринимаемых фрагментарных изображений подростками с нормальным и нарушенным зрением // Сенсорные системы. - 2016. - Т.30. - №2. - С. 136–143.
4. Моисеенко Г. А., Вершинина Е. А., Пронин С. В., Чихман В. Н., Михайлова Е. С., Шелепин Ю. Е. Латентные периоды компонентов вызванных потенциалов в задачах классификации изображений, подвергнутых вейвлетной фильтрации // Физиология человека. - 2016. - Т.42. - №6. - С. 37-48.
5. Ламминпия А.М., Моисеенко Г.А., Вахрамеева О.А., Сухинин М.В., Шелепин Ю.Е. Изучение связи характеристик движений глаз с геометрией фовеа // Физиология человека. - 2016. - Т.42. - №4. - С. 32-37.
6. Муравьева С.В., Пронина М.В., Моисеенко Г.А., Пневская А.Н., Поляков Ю.И., Кропотов Ю.Д., Пронин С.В., Шелепин Е.Ю., Шелепин Ю.Е. Исследование зрительных когнитивных нарушений при шизофрении на ранних стадиях заболевания и их коррекция при помощи интерактивных виртуальных сред. // Физиология человека. - 2017. - Т.43. - № 6. - С. 24-36.
7. Моисеенко Г. А., Вахрамеева О. А., Ламминпия А. М., Пронин С. В., Мальцев Д. С., Сухинин М. В., Вершинина Е. А., Ковальская А. А., Коскин С. А., Шелепин Ю. Е. Исследование зависимости между размерами фовеолы и характеристиками зрительного восприятия человека.// Физиология человека. - 2018. - Т.44. - №5. - С. 22–29.

8. Пономарев С. В., Малашин Р. О., Моисеенко Г. А. Автоматическая классификация зрительных стимулов по электроэнцефалограмме наблюдателя.// Оптический журнал. - 2018. - Т.85.- №8. - С. 67-76.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертация изложена на 126 страницах и состоит из введения, 4 основных глав, выводов, заключения, списка использованной литературы и приложения. Работа иллюстрирована 25 рисунками и 5 таблицами. Список цитированной литературы включает 156 источников.

## **ГЛАВА 1. Исследования механизмов классификации и распознавания изображений**

### **1.1. Подходы к исследованию распознавания изображений зрительной системой**

Со времен античности, и в философских, и в психологических трудах видна тенденция подчеркивать роль категоризации в процессе познания, вплоть до утверждения: «Без категоризации процесс познания в принципе невозможен». Категоризация позволяет осуществлять базовые познавательные акты, приравнивать разные члены одного класса друг к другу – т.е. отождествлять нетождественное, и относить одинаковые элементы к разным классам – т.е., различать неразличимое [Карпинская, 2015].

Термин "классификация" близок по смыслу терминам «группировка», «распознавание образов», «диагностика», «дискриминация», «сортировка», «типология», «таксономия». Теория и методы распознавания образов - это область информатики, теории связи, физиологии сенсорных систем, развивающих основы и методы классификации и идентификации объектов или сцен, которые характеризуются конечным набором общих свойств и отдельных признаков [Глезер, 1993; Бондарко и др., 1999].

Важность, как отдельных признаков, так и общих свойств изображения обсуждается давно. В настоящее время существует два подхода к исследованию восприятия изображений, немислимого без процесса классификации, зрительной системой - это определение глобальных статистических свойств изображений; и выделение локальных информативных признаков высшего порядка. Оба подхода описывают два различных механизма, которые задействуются для распознавания изображений объектов. Проблема выбора состоит в том, при решении каких задач, какой из этих подходов превалирует.



Из сторонников целостного восприятия кроме пионерских работ основоположников гештальтпсихологии в конце 20 века было развито крупное направление, позволяющее на пространственно-частотном языке описать целостное изображение [Ginsburg, 1982; Глезер, 1975, 1993; Шелепин и др., 1973, 1985; Бондарко и др., 1999; Куликовский, Робсон, 1999; Бабенко, 2004; Явна и др., 2014; Моисеенко и др., 2015] и по локальным признакам [Шевелев, 1971; Biederman, 1991]. Рассмотрим подробнее результаты исследований, проводимых в рамках этих двух направлений.

Локальные признаки делят на две группы: обычные локальные признаки, общие для всех категорий изображений (точки, фрагменты контура и локальные текстуры) и специфические (информативные) локальные признаки, характерные для конкретных изображений. Обычные признаки выделяют рецептивные поля зрительной системы на ранних стадиях обработки изображения. К специфическим признакам можно отнести, например, характерные фрагменты контура, имеющие ключевое значение [Attneave, 1954]. По таким специфическим фрагментам можно распознать предъявленный объект, но только в том случае, если заранее известен алфавит, к которому данный объект принадлежит. Специфические признаки, как и обычные, выделяются в зрительной системе детекторами точек, линий, углов, крестов, но эти признаки имеют сигнальное значение. Специфические (информативные) признаки в нейрофизиологии называют признаками высшего порядка [Шевелев, 2007].

Изображение наблюдаемого объекта представлено в мозгу системой параллельных информационных каналов – рецептивных полей.

Для выделения объекта и описания целостного образа-гештальта отклики этих полей должны быть связаны. В первичной зрительной коре эта взаимосвязь наиболее выражена между нейронами, выделяющими элементы контура с одной ориентацией [Hubel, Wiesel, 1968; Field, 2004]. Изменение ориентации непрерывного контура и разрывы контура усложняют задачу. Отклики этих полей должны быть связаны. В первичной зрительной коре эта взаимосвязь наиболее

выражена между нейронами, выделяющими элементы контура с одной ориентацией [Там же].

Впервые экспериментально выделение признаков в зрительной системе было установлено Г. Барлоу в 1953 г. [Barlow, 1953]. Барлоу на основании изучения зрения лягушки предполагал, что детекторы признаков определенных классов изображений заложены генетически. В дальнейшем модель выделения признаков была широко развита [Шевелев и др., 2000; Hubel, Wiesel, 1968]. В коре млекопитающих были выделены детекторы линий, решеток, углов и т. д. У человека, как и у других млекопитающих, система выделения простых признаков закладывается генетически, но ее реализация происходит в первые недели постнатального развития при условии возможности наблюдения натуральных сцен. Роль информативных признаков для распознавания была изучена в восприятии взрослых и у детей [Murray, Szymczyk, 1978].

В соответствии с геонной теорией Бидермана объекты распознаются как конфигурации примитивов, называемых геонами («геометрические ионы»), [Biederman, 1991] находящихся в специфическом соотношении друг с другом. В свою очередь, геоны распознаются с помощью ряда инвариантных свойств контура (прямолинейность, изгиб, параллельность, тип вершин, пересечений и т. д.). В этих работах изучали распознавание контурных изображений с систематически удаляемыми компонентными участками. Было показано, что не все сегменты контурного изображения фигуры одинаково информативны для распознавания, которое зависело от включения или пропуска возможных информативных признаков [Biederman, 1991]. Такими признаками, например, могли быть вершины, пересечения, экстремальные точки изгиба контура [Bentley, Deregowski, 1987]. Установлено, что нейрофизиологическим механизмом, описывающим эти признаки, являются свойства рецептивных полей нейронов зрительной коры, избирательных к линиям определенной ориентации, торцам линий, углам и пересечениям [Шевелев и др., 2000; Hubel, Wiesel, 1968].

И. И. Цуккерман, развивая информационный подход к описанию изображений, дал аналитическую модель работы рецептивных полей нейронов

зрительной коры, обеспечивающих расчет глобальных статистических характеристик сцены [Цуккерман, 1978]. Д. Филд довел эту первичную модель до работающих алгоритмов статистического описания работы рецептивных полей первичной зрительной системы как «устройств», обеспечивающих выделение простых первичных признаков, как глобальных, так и локальных [Field, 2004].

В начале 1970-х годов А. Гинзбург высказал предположение, что зрительная система человека объединяет разрозненные фрагменты в единое целое, гештальта с помощью низкочастотной фильтрации [Ginsburg, 1986]. При низкочастотной фильтрации исходного изображения, представляющего собой набор фрагментов – однотонных квадратиков, сгруппированных в пространстве в виде буквы со сложным спектральным составом, низкочастотная составляющая спектра является тем связующим звеном, которое зрительная система использует для объединения этих фрагментов в целостное изображение буквы. А. Гинзбург предполагал, что любое объединение фрагментов в единое целое можно объяснить только низкочастотной фильтрацией. С помощью гипотезы А. Гинзбурга можно объяснить появление иллюзии Мюллера – Лайера. Искажения определяются низкочастотной составляющей самого исходного изображения, которая вследствие низкочастотной фильтрации в зрительной системе становится видимой наблюдателю. Иными словами, это не искажение восприятия, а восприятие истинного изображения, определяемое самой структурой отрезков со стрелками [Ginsburg, 1982]. С помощью модели А. Гинзбурга стало возможно объяснение многих явлений восприятия и восстановление изображений. Алгоритмы, напоминающие модель А. Гинзбурга, успешно используют при поиске изображений в базах данных. Так как во многих случаях сложно составить адекватное словесное описание изображения, для поиска в таких базах используется образец в виде грубого наброска или какого-либо другого изображения, похожего на искомое. Набросок обладает лишь приблизительным сходством с целевым изображением: в нем отсутствуют многие детали, а пропорции могут быть искажены. Поэтому поиск путем прямого сравнения образца с изображениями, хранящимися в базе, невозможен. Вместо этого

образец подвергается вейвлет-преобразованию, в результате которого вычисляется набор числовых коэффициентов, описывающих изображение на различных масштабных уровнях и пространственно-частотных диапазонах (так называемое пирамидное представление). Группа коэффициентов, соответствующих низкочастотному диапазону, имеет отношение к крупномасштабным деталям изображения. Именно эти коэффициенты, содержащие наиболее существенную информацию об изображениях, и используются для формирования запроса к базе данных. Естественно, аналогичные наборы коэффициентов предварительно вычисляются и для всех изображений, хранящихся в базе. Этот метод оказался эффективным даже в случае схематичных набросков, содержащих только небольшую часть информации о тестовом изображении [Jacobs, 1995].

Но использование низкочастотной пространственной фильтрации не может объяснить все режимы работы зрительной системы.

В 1980-е годы изучалось влияние пространственно-частотной фильтрации фрагментированных букв на возможность объединения их в образ [Павлов, 1989]. Особенность этого подхода заключалась в том, что применили различную фильтрацию фрагментированных букв: широкополосную, полосовую, высокочастотную и низкочастотную. Оценивали способность наблюдателя объединять разрозненные элементы дискретного изображения в целостный образ (гештальт). Нейрофизиологическим коррелятом пространственного элемента разбиения (дискретизации) в зрительной системе являются рецептивные поля. Исходя из этого, предъявляли изображения с различными уровнями дискретизации, пространственно-частотным составом и угловыми размерами. В результате исследования установили, что способность распознавать эти тесты зависит от степени их дискретизации, спектрального состава пиксел, образующих данные тесты, и размеров тестов. При больших размерах изображений опознаются лучше те, которые образованы из пиксел, не имеющих в своем спектральном составе низких пространственных частот. На основании этих результатов было высказано предположение о том, что объединение элементов в

единый образ можно рассматривать как результат построения низкочастотной огибающей на основании предварительной высокочастотной фильтрации. Возможность объединения зависит только от степени дискретизации объекта.

Видимо, все равно, как осуществляется механизм объединения, осуществляющий построение гештальта, какой пространственно-частотный состав изображения представлен для обработки, важна лишь степень дискретизации – расстояние между элементами объекта и их количество, которые необходимо объединить в одно целое (в образ).

Таким образом, гипотеза А. Гинзбурга о первичной роли низкочастотных компонент в исходном изображении, влияющих на способность объединять фрагменты изображения в образ, вероятно, справедлива при малых размерах фрагментов и изображений в естественных условиях наблюдения. При больших фрагментах зрительная система может использовать и другие признаки, в частности, существенным являются ориентационные составляющие фрагментов, что в дальнейшем было подтверждено неоднократно как в лаборатории Д. Филда, так и в исследованиях Шелепина Ю.Е. и соавторов [Field, 2004; Шелепин, 2009].

Пространственно-частотный подход, выдвинутый на основании данных Кемпбелла, Робсона и Блейкмора [Campbell, Robson, 1968], позволяет утверждать, что пороги восприятия зависят от степени фрагментации, спектрального состава фрагмента и угловых размеров тестов. При больших размерах тестов опознаются лучше те, которые образованы из фрагментов с выраженной ориентационной составляющей. Показана роль предварительной высокочастотной фильтрации, которая обеспечивает четкую ориентационную направленность фрагментов и тем самым облегчает их связывание. Низкочастотная фильтрация также облегчает слияние, но преимущественно при малых угловых размерах тестовых изображений. Пространственно-частотная фильтрация определяет работу лишь первичных каскадов обработки информации. Она не может объяснить сам процесс узнавания и фрагментированного изображения. Для этого необходимо привлечение модели согласованной фильтрации. При повторных предъявлениях

все более возрастает роль информативных признаков, по которым можно опознать весь объект.

В соответствии с моделью согласованной фильтрации зрительная система человека при первом предъявлении стимула оценивает глобальную статистическую информацию в изображении, которая может быть описана амплитудным спектром «невидимой» маски. Это оптимизирует механизм выделения сигнала из шума в качестве первичной фильтрации для последующего выполнения согласованной фильтрации. В дальнейшем зрительная система в процессе обучения использует на разных этапах обработки сигнала как простые, так и специфические признаки. Под согласованной фильтрацией подразумевается сравнение предъявляемого изображения с тем эталоном, который хранится в памяти. При этом предполагается, что в памяти хранится точная копия этого изображения. В рамках моделей согласованной фильтрации существуют три известные базовых алгоритма обработки зрительной информации – алгоритм работы оптимального приемника Зингера-Котельникова, корреляционный алгоритм и оптимальный фильтровой приемник. Как конкретно в зрительной системе данные алгоритмы реализуются в настоящее время пока не изучено. [Бондарко, 1999; Красильников, Шелепин, 1997; Красильников, 1999]. В первых двух моделях можно выделить функционально законченные звенья, как звено сравнения опознаваемого и эталонного изображений, звено зрительной памяти и звено принятия решений. Характерной особенностью этой модели является пространственная фильтрация зашумленных изображений. В результате этой фильтрации ослабляется шум, и тем больше, чем больше размеры фильтруемых изображений, которые и определяют площади, в пределах которых происходит усреднение шума.

В работах О. Брэдика и Дж. Аткинсон показана важная роль престриарной коры в глобальном, целостном описании [Braddick et al., 2006]. Показано развитие механизмов престриарной коры в онтогенезе. Результат О. Брэдика и Дж. Аткинсон соответствует исследованиям Шелепина Ю.Е. по локализации обобщенного глобального инвариантного описания изображений в

мозгу кошки [Шелепин, 1984] и работам по локализации глобального описания в мозгу человека по данным функциональной магнитно-резонансной томографии [Фокин и др., 2007].

В исследованиях Шелепина Ю.Е. по анализу различий пространственно-частотных и топографических характеристик рецептивных полей нейронов двух проекционных зон зрительной системы кошки: стриарной коры и латеральной супрасильвиевой области было показано, что обработка пространственно-низкочастотной информации в супрасильвиевой области происходит с некоторым опережением по сравнению с параллельной обработкой высокочастотной информации в стриарной коре. Ретинотопически упорядоченное взаимодействие проекционных зон позволяет осуществлять корреляцию двух описаний воспринимаемой сцены: в супрасильвиевой области - низкочастотной, расплывчатой (с грубым описанием формы объектов), а в стриарной коре – высокочастотной, с подчеркнутыми мелкими деталями. Т.е. информация о локальных изменениях контраста в воспринимаемом изображении, обрабатываемая в стриарной коре, ретинотопически согласованна с информацией о больших поверхностях, выделяемых параллельной системой рецептивных полей нейронов латеральной супрасильвиевой области [Шелепин, 1984].

Т.е., при активной оценке глобальных признаков изображений необходима активация нейронов престриарной, теменной и фронтальной и префронтальной коры мозга.

Результаты исследований механизмов восприятия Шелепина Ю.Е. с соавторами с предъявлением неполных изображений в Голлин-тесте с упорядоченными параметрами показали, что высокочастотные компоненты (или мелкие детали) важны для правильного распознавания изображений, но ошибки опознания определяются схожестью низкочастотного содержимого спектров различных неполных изображений. В соответствии с моделью согласованной фильтрации, фрагментированное (неполное) изображение объекта воспринимается как целостная структура, сравниваемая с шаблоном, который хранится в памяти и выбирается с помощью механизма избирательного внимания.

При первом знакомстве с алфавитом стимулов работают механизмы восприятия целостного образа, гештальта. В этих условиях зрительная система на первом этапе рассчитывает статистические характеристики изображений. Полосовая фильтрация в этих условиях оптимизирует отношение сигнал/шум. Затем происходит согласованная фильтрация. На заключительном этапе наступает принятие решения и двигательный ответ. Выделение информативных специфических локальных признаков высшего порядка, может включаться в основном при восприятии хорошо выученного алфавита [Шелепин, 2009].

Многими исследователями последних лет подчеркивается первичная обработка целостных образов объектов. Физиологические исследования указывают, что такие процессы, например, как разделение и объединение происходят уже в первичной зрительной коре. В настоящее время встречается все больше доказательств того, что существует высоко интегративная система восприятия, в которой одинаково представлены простые (локальные) признаки и целостные («гештальты») признаки в ранней организации (структуре) зрительного объекта [Patterson, 1999].

Таким образом, рассмотренные два подхода к изучению механизмов восприятия изображений: выделение признаков высшего порядка в изображении (локальный анализ) и определение общих статистических свойств изображения для выделения гештальта (глобальный анализ) следует считать взаимодополняющими. Задача и сложность изображения определяют принятие наблюдателем решения об изображении либо по отдельным специфическим для данного изображения признакам высшего порядка, либо по целостной статистической структуре. Показано, что зрительная система выделяет глобальные статистические свойства целостного изображения. Информативные локальные признаки высшего порядка мозг использует как дополнительный источник информации.

Но остается не выясненным вопрос, как влияют глобальные и локальные признаки изображений объектов на процесс классификации и распознавания на нейрофизиологическом уровне у взрослого человека.



## **1.2. Нейрофизиологические механизмы классификации изображений объектов живой и неживой природы**

Категоризация - фундаментальная когнитивная функция, которая имеет важное значение для нашего выживания. Механизмы принятия решения об образе - это механизм классификации и категоризации. «Всякий перцептивный опыт есть конечный продукт процесса категоризации». Как показывают исследования зрительного восприятия, в модели мира, создаваемой мозгом, помимо механизма классификации участвует второй механизм. Благодаря первому мы опознаем объект и относим его к определенному классу; благодаря второму механизму мы видим его, т.е. можем описать во всех мелких деталях и свойствах [Глезер и др., 1993].

В монографии Глезера В.Д. описаны некоторые нейрофизиологические механизмы, создающие предпосылки для работы этих блоков высших уровней, и показано, что категории, вырабатываемые на сенсорном уровне, являются глубинными универсалиями, лежащими в основе категорий мышления и речи [Там же].

В последние годы были достигнуты значительные успехи в нашем понимании того, как мозг представляет визуальные объекты и организует их по категориям. Такие исследования проводятся в современной зарубежной и российской науке. В частности, в последние годы в мировой науке возрос интерес к изучению механизмов зрительного и аудиального восприятия категорий различных объектов, изучаются механизмы имплицитной памяти, восприятия зрительных сцен, а также зрительного и аудиального восприятия категорий различных объектов: наклонных линий, зрительных иллюзий, лиц, строений, зрительных и вербальных стимулов живой/неживой природы и т.п. Для этого используются психофизиологические методы: методы вызванных потенциалов,

энцефалографии, магнитной энцефалографии и магнитно-резонансной томографии, инкраниальной энцефалографии, транскраниальной стимуляции, айтрекинга и методы психофизики [Chao, Weisberg, Martin, 2002; Кропотов, 2010; Best, 2013; Lucy et al., 2013; Caharel et al., 2013; Шелепин, 2010, 2014; Duncan, 2015; Zania et al., 2015; Proklova et al., 2016; Lu et al., 2016].

### **1.2.1. Психофизические исследования**

В психофизических исследованиях, проведенных на детях (возраст около 12 месяцев), было установлено, что они лучше распознают живые (животные) от неживых объектов (транспортные средства), если объекты находятся в движении [Poulin-Dubois, 2015].

В психофизических исследованиях, проведенных на детях и взрослых [Best et al., 2013], было показано, что у младенцев обучение ранним категориям достигалось без произвольного избирательного внимания к релевантной категориальной информации. Поэтому модели изменения внимания в процессе развития происходят от распределенного внимания у младенцев до более целенаправленного избирательного внимания у взрослых. Суть исследования состояла в том, что изображения сначала предъявляли парами категорий одновременно, стимулы принадлежали объектам живой природы (например, птицы, рыбы, бабочки), которые можно было классифицировать по цвету и / или по форме. Исследование состояло из двух этапов: участники изучали одну категорию на 1-м этапе, а другую категорию - на 2-м этапе. Задача участников была сначала обращать внимание на объекты одной категории, а затем - другой, где один объект принадлежал изученной категории, а другой нет. Когда были представлены два объекта, участников попросили выбрать объект, принадлежащий изученной категории, нажав соответствующую левую / правую клавишу на клавиатуре. Затраты на избирательное внимание, измерялись

несколькими зависимыми переменными (т. е. точностью категоризации, временем реакции и пристальным взглядом). Результаты установили, что взрослые применяют избирательное внимание к изучению новых категорий. Младенцы, в отличие от взрослых, научались категориям без участия в избирательности. Возможное объяснение результатов состоит в том, что у взрослых подключается префронтальная кора в задачах категоризации, а у младенцев - только базальные ганглии и нижневисочная кора [Best et al., 2013]. Это психофизическое исследование важно, поскольку оно посвящено изучению влияния внимания на обучение. Данная работа вносит дополнительный вклад в понимание роли избирательного внимания при решении когнитивных задач.

Недостатком таких исследований является то, что у младенцев обучение новым категориям было неявным, в отличие от взрослых, поскольку взрослым объяснялась задача, а младенцам объяснить задачу невозможно так, как взрослым. Но в тоже время, несмотря на данный недостаток, такие исследования позволяют изучать развитие процесса категоризации в онтогенезе. Это создает необходимые предпосылки для проведения дальнейших исследований с помощью психофизиологических методов.

### **1.2.2. Исследования с помощью МРТ (магнитно-резонансной томографии) и фМРТ (функциональной магнитно-резонансной томографии)**

С помощью методов фМРТ проводится довольно много исследований, посвященных локализации процесса категоризации объектов живой и неживой природы, поскольку методы фМРТ имеют высокое пространственное разрешение, и позволяют относительно точно локализовать исследуемые психологические процессы в мозге.

В последнее время имеет место тенденция изучения опознавания категорий лиц в диагностических целях в различных областях мозга [Lucy et al., 2013; Petro, 2013], функциональное картирование мозга в задачах пассивного наблюдения и активного выбора [Шелепин, 2010, 2014]. Проводятся исследования ответов, представленных в премоторной коре в go/no-go тестах. В go/no-go задачах анализ показал недифференцированную активацию в ответ на различные классы стимулов [Fedota, 2014].

При изучении процессов категоризации исследованиями фМРТ было показано, что при повторном предъявлении изображений животных происходит снижение активности мозга в латеральных височных областях, а при повторном предъявлении инструментов происходит снижение активности мозга в премоторной, средней височной и теменных областях [Chao, Weisberg, Martin, 2002].

Методами цифрового синтеза изображений созданы системы тестов для измерения функционального состояния различных уровней зрительной системы, включая высшие когнитивные процессы. Для оценки реакций мозга на синтезированные тесты использовали психофизические методы измерения фМРТ. Особое внимание уделено клиническим аспектам исследования зрительной коры, ее взаимодействия с другими отделами мозга: с теменной, префронтальной, фузиформной (веретенообразной) и поясной корой. В рамках комплексного исследования с другими методами осуществлено определение остроты зрения, контрастной чувствительности, поля зрения, распознавание тестовых изображений разной сложности, в частности, категорий лиц, а также проведено исследование механизмов избирательного внимания, принятия решений и подготовки двигательного ответа [Шелепин и др., 2014, 2010, 2009].

Остановимся на некоторых современных исследованиях, с помощью фМРТ и МРТ и их основных результатах более подробно.

В фМРТ исследованиях Y. Erez и J. Duncan [Erez, Duncan, 2015] изучалось различие визуальных категорий, основанных на поведенческой значимости в широко распространенных областях передней части коры и влияние подсказки в

виде названия живых и неживых объектов целевых и нецелевых изображений на процесс классификации. В результате исследования было показано, что на целевые изображения активность в мозге повышалась. Категориальное различие модулировалось поведенческой значимостью, измеряемой распределенными структурами ответа сети «множественного спроса», т.е. нейронных сетей мозга, которые участвовали в обработке различной информации. Различия между категориями с различным поведенческим статусом (например, целевой и нецелевой) значительно различались. Эти результаты подтверждают участие сети «множественного спроса» в адаптивном управлении когнитивной функции и целенаправленном поведении. Важная информация была представлена по всей сети, тогда как задача с нерелевантной информацией менее представлена или вообще отсутствовала.

При сравнении усредненной BOLD активности [Guo, 2015], а также модели активации в областях фузиформной извилины и парагиппокампальной области в задаче распознавания изображений домов и лиц разного контраста было показано, что обе категории стимулов независимо от их контраста были представлены в областях фузиформной извилины и в парагиппокампальной области.

В исследовании Z. Сао старались определить, как взаимодействуют факторы категории и социального контекста (эмоциональной значимости для субъекта) для модуляции деятельности миндалевидной и кортикальной областей [Сао, 2014]. Участников попросили выполнять задачу обнаружения 4х блоков изображений. Группы изображений были организованы по контексту, по эмоциональной окраске и по категориям. Предъявляли изображения животных и неодушевленные объекты с отрицательным и нейтральным контекстом. Контексты изображений отличались тем, что включались изображения отдельных людей и их частей тела человека. Контролировались факторы уровня бодрствования испытуемых, знакомости и сложности изображений по категориям. Исследования показали, что миндалина важна при обработке не только живых организмов, но и социальной информации. Активность миндалины

модулируется категориальной и контекстуальной информацией. В условиях нечеловеческого контекста миндалина выражена была активностью больше на изображения животных, чем на изображения негативных и нейтральных неживых объектов. Напротив, в условиях человеческого контекста миндалина проявляла более сильную активность для отрицательных объектов, чем животных. В дополнение к кортикальным областям, связанным с действием объекта, функциональным и эффективным анализом связности показали, что передняя префронтальная кора больше взаимодействовала с миндалиной для отрицательных объектов (по сравнению с животными) в условиях человеческого контекста, с помощью нисходящей модуляции передней префронтальной коры головного мозга. Эти результаты выявили влияние категорий и человеческих контекстов на моделирование мозговой деятельности при эмоциональной обработке. Изображения животных вызвали более сильную активацию в миндалине, чем неодушевленные объекты, независимо от того, были ли изображения отрицательными или нейтральными. Когда информация о человеке была включена в контекст, отрицательные объекты вызвали более сильную активацию в правой миндалине, чем у отрицательных животных, и активация миндалины была модулирована активацией левой префронтальной коры для отрицательных объектов. В результатах была подчеркнута роль категорий стимулов и контекстуальной информации в модуляции активации миндалины и коры в эмоциональной обработке.

В фМРТ исследовании Z. Lu с соавторами [Lu et al., 2016] изучали категоризацию объектов живой (люди и животные) и неживой природы (сцены и объекты) при различном уровне предполагаемой их скорости движения. Испытуемые должны были указать, была ли представлена динамическая или статическая картина стимула, нажав соответствующую кнопку ответа для каждого испытания. Установили, что средняя височная кора в дорзальном пути участвует в представлении подразумеваемого движения неподвижных изображений, предполагая взаимодействие между движением и обработкой, связанной с объектом. Взаимодействие между подразумеваемой скоростью движения и

категорией стимулов были значительными, поэтому, возможно, существуют различные механизмы кодирования, подразумеваемого движения для различения одушевленных и неодушевленных объектов. Неподвижные изображения неодушевленных предметов / сцен с более высокой подразумеваемой скоростью вызвали активацию паттернов, чем статические изображения. Эти результаты представляют новые доказательства для поддержки интегрированного кодирования категорий движения и объектов, предлагая переосмысление взаимосвязи между двумя зрительными путями (дорсальным и вентральным). Помимо этого выявили области, избирательные для одушевленных и неодушевленных стимулов. Эти области можно было бы далее разделить на области, избирательные к отдельным категориям. Обращает на себя внимание, что области, чувствительные к лицам, были смежными с областями, избирательными к частям тела, и области чувствительные к объектам, были смежными с областями, избирательными к сценам в нижневисочной коре [Там же].

Аналогичные результаты получились и в исследованиях, проведенных на обезьянах. В соответствии с предыдущими фМРТ-исследованиями, проведенными на обезьянах, были обнаружены две двусторонние, избирательные к лицам области: одна спереди в области височной извилины, а другая в ТЕО области (областью между V4 и TE, т.е. область между височной и затылочной областью), а также обнаружили селективные области тела, расположенные рядом. Представления сложных стимулов в нижневисочной коре представляют собой несколько иерархических уровней (рядов), охватывающих как семантические, так и физические признаки. Помимо этого, было показано, что в контексте обработки лица, задняя избирательная к лицам область вблизи области ТЕО, возможно, осуществляет различение между лицами и объектами, тогда как передняя избирательная область к лицам - в височной области (TE) может играть роль в распознавании отдельных лиц. Функциональные специализации для передней и задней областей височной коры в обработке лиц может исследоваться с помощью

нейрофизиологических сравнений и / или более детальных исследованиях при поражениях мозга [Bell, 2009].

Методом МРТ исследовали, почему несколько пространственно отличных, функционально различных ВЗВК предпочтительно реагируют на разные категории конкретных объектов для индивидуального определения интересующих категорий областей мозга у большой группы испытуемых. Исследователи пытались определить детерминанты этой организации, связанной с категорией, привилегированное подключение этих областей ВЗВК к другим областям, которые хранят и / или обрабатывают признаки, относящиеся к категории. Затем сравнивали МРТ с функциональными связями в состоянии покоя, чтобы исследовать спонтанную функциональную связность между этими регионами. В качестве стимулов использовали изображения животных, улыбающихся лиц людей, объектов, сцен. В результате исследования показали, что во время покоя отдельные категории с преобладанием категорий вентральной затылочно-височной коре (ВЗВК) демонстрируют дифференцированно более сильную функциональную связность с другими регионами, имеющими конгруэнтное «категориальное-предпочтение». Результаты подтверждают, что привилегированное взаимодействие с другими регионами коры, которые хранят и / или обрабатывают связанные с категорией признаки, ограничивает организацию ВЗВК, связанную с категориями [Stevens et al., 2015].

Таким образом, во всех перечисленных исследованиях изучалась в основном локализация различных категорий объектов, главный акцент делался на изучении функций височной коры. Роль лобных областей мозга и их вклад нейрофизиологические основы классификации и влияние инструкции изучены недостаточно.



### **1.2.3. Исследования методами вызванных потенциалов и магнитной энцефалографии**

В настоящее время проводится множество исследований с помощью методов вызванных потенциалов и магнитной энцефалографии по локализации активности в мозге при категоризации. Но поскольку методы вызванных потенциалов и МЭГ имеют высокое временное разрешение, с помощью этих методов исследуют больше временные составляющие процессов категоризации.

В исследованиях Е.С. Михайловой и Марченко методом вызванных потенциалов было показано влияние категориальной близости значимого и маскирующего изображений и обнаружено, что эффект преднастройки больше для категорий одушевленных объектов, чем для категорий неодушевленных объектов [Марченко, 2010; Герасименко и др., 2013; Михайлова и др., 2009]. В результате многочисленных исследований Ю.Д. Кропотовым и В.А. Пономаревым был разработан стандартный GO / NOGO тест, широко используемый в настоящее время для диагностики различных заболеваний мозга в России и за рубежом. Для этого теста построена нормативная база данных как для школьников в возрасте от 7 до 17 лет, так и для взрослых испытуемых [Кропотов, 2010]. Помимо исследований механизмов процесса категоризации у здоровых лиц проводятся исследования и на больных шизофренией, эпилепсией, СДВГ, ишемическим инсультом и т.д. [Кропотов, 2010; Peyrin, 2010; Castroa, 2014].

Остановимся более подробно на некоторых таких современных исследованиях.

В электрофизиологических исследованиях Верхлютого В.М. восприятия слов и псевдо-слов, обозначающих объекты живой и неживой природы показано, что отклик в мозге на слова, обозначающие категорию живого, возникает раньше (до 250 мс), чем на неживые объекты. Отклики на обе категории слов были локализованы в зонах Брока и Вернике [Verkhlyutov, 2014].

В ЭЭГ исследованиях А.Т. Астащенко по исследованию распознавания целых и фрагментированных объектов было показано, что внимание и опознание простых и сложных стимулов фрагментированных изображений сопровождается появлением позднего позитивного комплекса (LPC) и компонента N300 при выполнении задания – поиск сложного фрагментированного стимула. Появление позднего позитивного комплекса может быть связано с механизмами поздней идентификации и процессами категоризации фрагментированных стимулов, а компонент N300 играет центральную роль в идентификации сложных фрагментированных зрительных стимулов и является нейрофизиологическим маркером селекции объекта [Астащенко, 2009].

В работах Дубынина И.А. по моделированию распознавания объектов показано, что процессы узнавания и опознания различаются: 1). Узнавание объектов требует меньше времени, чем опознание объектов, независимо от типа последних. 2). Узнавание и опознание лиц требует меньше времени, чем узнавание и опознание изображений зданий. С узнаванием лиц избирательно связаны следующие компоненты вызванных потенциалов: P160, N250 (центральные и теменно-затылочные отведения: комплекс P250 (фронтальные и центральные отведения), N400 (теменно-центральные и фронтальные отведения) [Дубынин, 2007].

Исайчевым Е. С. с соавторами (2011) было проведено исследование по выявлению реализации или воспроизведения ложного ответа. На психофизиологическом уровне различие в организации двух функциональных систем должно проявиться в различиях индивидуальных паттернов амплитудно-временных параметров компонентов вызванных потенциалов на правдивый и ложный ответы и в особенностях их пространственного распределения на поверхности мозга испытуемого. Еще одним ожидаемым экспериментальным фактом обнаружения различий в проявлении активности систем ложного и правдивого ответов должно быть увеличение латентности ложного ответа по сравнению с правдивым. Такое увеличение должно отражаться во временном сдвиге наиболее информативного в этом отношении компонента вызванных

потенциалов на подачу целевого стимула. Установлено, что наиболее информативным временным периодом анализа групповых различий по основному компоненту вызванных потенциалов P450 является интервал длительностью от 400 до 700 мс после подачи стимула. В процессе исследования удалось разработать новый алгоритм анализа и оценки групповых различий по отдельным компонентам компонентов вызванных потенциалов [Исайчев и др., 2011].

G. Rousselet и M. Macé оценили специфику человеческих лиц компонента вызванных потенциалов N170 в контексте естественных сцен. Субъекты классифицировали фотографии, содержащие лица людей и морды животных и различные объекты. Пространственно-временные топографические анализы проводились по отдельным данным вызванных потенциалов. Вызванных потенциалов, вызванные лицами животных, были похожи на вызванных потенциалов человека, но с задержкой латентности. Во временном окне N170 вызванных потенциалов на лица людей и морды животных имели другую топографию по сравнению с объектами. Такие данные свидетельствуют о том, что генераторы N170 могут обрабатывать различные раздражители с помощью грубой лицевой организации, и это необходимо учитывать при сравнении сигнала на лица с другими объектами, поскольку они, вероятно, генерируются, по крайней мере, частично, разными мозговыми структурами [Rousselet, Macé et al. 2004].

Отрицательный вызванных потенциалов в затылочно-височных областях достигает максимума в 150 - 170 мс после начала стимула (N170) обычно больше на лица, чем на другие категории объектов [Ganis et al., 2012]. Большинство теорий интерпретируют этот факт в следствие избирательной обработки лиц в затылочно-височной и височной коре. Однако спорное предположение, недавно объяснившее роль N170 в межстимульной изменчивости среди изображений, обычно использовалось для экспериментальных условий с лицами и объектами, и предполагало, что более ранний P100 индексировал категориальные процессы, обычно приписываемых N170. Это исследование с помощью вызванных потенциалов было нацелено на то, чтобы проверить окончательно это предположение, используя условия, при которых одно и то же лицо и объект

показывались неоднократно, устраняя как физическую, так и перцептивную межстимульную изменчивость. Сравнивалась амплитуда спектров Фурье на лица и объекты, чтобы приравнять основные низкоуровневые зрительные свойства, которые могут повлиять на ранние вызванные потенциал, такие как P100. Результаты показали, что 1) избирательность к лицам компонента N170 в значительной степени сохраняется во многих категориях объектов после устранения межстимульной изменчивости, и 2) категории стимулов не модулируют компонент P100. P100 управляет избирательностью компонента N170 к восприятию лиц.

Исследование по выявлению взаимосвязи между компонентами N170, P100 и восприятием лиц было проведено также Н. Tanaka [Tanaka, 2018]. Задача испытуемым состояла в том, чтобы определить тип всех стимулов как можно быстрее и точнее. Они отвечали нажатием одной из четырех кнопок, чтобы указать, были ли все раздражители вертикальными или перевернутыми лицами; и были ли они двумерными или трехмерными объектами. Четыре типа всех стимулов были представлены в случайном порядке и с равной вероятностью. Целью было выяснить, действительно ли чувствительные к лицам компоненты P100 и N170 связаны с восприятием двумерных и трехмерных объектов. Результаты выявили избирательность у компонентов P100 и N170 к лицам (в естественном положении и перевернутые) и к объектам. Латентность P100 для трехмерных объектов была значительно дольше, чем для двумерных объектов, латентность N170 для трехмерных объектов была значительно дольше, чем для двумерных объектов, и латентность N170 для перевернутых лиц была значительно дольше, чем для неперевернутых лиц. Эти данные свидетельствуют о том, что чувствительные к лицам компоненты P100 и N170 связаны с восприятием двумерных и трехмерных объектов. Более того, результаты показывают, что на подобный эффект инверсии лица чувствительного к лицам компонента N170 влияло мысленный поворот лица, при восприятии трехмерных объектов на компонент N170 влияло мысленный поворот двумерных объектов. Это говорит о новой возможности того, что чувствительные к лицу компоненты P100 и N170

могут использоваться как показатель восприятия двумерных и трехмерных объектов. Нейронные генераторы N170 лежат в фузиформной области мозга, т.е. фузиформная область мозга связана с восприятием 2D и 3D объектов.

Целью исследования А. Zania с соавторами было изучить временные рамки доступа к концептуальным знаниям, исследуя, обладают ли «супракатегориальные» (высококатегориальные) и категориальные знания аналогичными электрофизиологическими активациями или отличаются в этом отношении) представили пары животных, искусственных объектов и смешанных картин либо в левом, либо в правом поле зрения. Исследователи попросили участников принять решение для каждой пары, если бы эти два изображения принадлежали к одной и той же семантической категории. Гипотеза- для этого решения ресурсы внимания должны были быть непосредственно привязаны к «супракатегориальным» представлениям пар (т. е. к парам с одинаковой вероятностью по сравнению с парами различных категорий), а не к конкретному представлению идентичности конкретной семантики (т. е. животные и антропогенные объекты) внутри тех же пар. Предполагали более высокую результативность для пар одинаковой категорий, чем для пар разных категорий, и аналогичным образом для животных, по сравнению с искусственными объектами, из-за их относительно более высокого эндоморфизма. Кроме того предсказывались аналогичные варианты электрофизиологических ответов для обоих типов более изоморфных пар (т. е. пар одинаковой категории и животных), индексируя более низкий спрос на обработку по сравнению с меньшими изоморфными парами (т. е. парными типами различных категорий и техногенными). Вызванные потенциалы, и время реакции были отдельно усреднены для одинаковых категорий и категорий животных. Скорость ответа была быстрее для более эндоморфных пар, то есть животных по сравнению с неживыми объектами и одинаковых и разных пар категорий. Для вызванных потенциалов была найдена модуляция ранних и последующих ответов P100 к тем же самым и другим парам высоких категорий, а не к парам животных и неживых объектов. Это открытие подтверждает мнение о том, что ранняя афферентная

обработка в стриарной коре может быть усилена как результат внимания, выделенного на обработку фигур и основных признаков во время одного и того же - более супракатегориального суждения. Этот процесс обработки может возникнуть из-за требований внимания, необходимого для альтернативной фокусировки визуального внимания внутри и между основными структурными особенностями стимулов. Более выражена обработка категорий животных и пар одинаковых категорий в компонентах N170 и N200, а также в позднем компоненте, что наиболее вероятно, связано с различными стадиями анализа большей эндоморфности этих форм групп (похожестью групп по форме). И наоборот, был обнаружен фронтально-центральный и фронтально-латеральный компонент N200, а также центрально-теменной N400 для неживых объектов и пар разных категорий, возможно, модулирующих обработку нижней эндоморфности и изоморфности по основным признакам и семантическим уровням. Т.е. на разные пары категорий амплитуда вызванных потенциалов была выше, чем на одинаковые. Искусственные объекты показали более отсроченное распределение времени реакции, чем животные. Компоненты N200 и N400 в целом имели большую амплитуду для искусственных объектов, чем для животных, тогда как, наоборот, поздние компоненты были больше для животных, чем для неживых объектов. Скорость ответа и точность были выше для более похожих пар, то есть одинаковой категории по сравнению с различными категориями пар и животных по сравнению объектами, созданных человеком. Вызванные потенциалы показали общие и четкие эффекты для двух контрастов: более ранний ответ на восприятие или значимость для животных, чем для объектов, созданных человеком, отраженных в компоненте N170 и для одинаковых категорий, чем для пар разных категорий, представленных в N200; последовательность более поздних отрицательных компонентов с увеличенной амплитудой для менее гомоморфных пар, отражающая обнаружение различий; и последовательность более поздних положительных компонентов с увеличенной амплитудой для более гомоморфных пар, индексирующих улучшенную обработку сходств [Zania et al. 2015].

В исследовании S. Caharel с соавторами были изучены свойства чувствительного к лицу компонента N170 вызванных потенциалов в задаче ориентации распознавания с использованием естественных лиц, предметов и картин Арчимбольдо, представленных вертикально или перевернутыми [Caharel et al., 2013]. Поскольку картины Арчимбольдо состоят из объектов без лица, но имеют глобальную конфигурацию лица, они обеспечивают большой контроль расщепления высокоуровневых лицевых или объектно-подобных визуальных процессов на уровне N170, и могло помочь изучить влияние каждого полушария на глобальную/целостную обработку лиц. Для вертикального положения амплитуды N170 в правой затылочно- височной области не различались между естественными лицами и картинами Арчимбольдо, но были более крупными для обеих этих категорий, чем для объектов, поддерживая представление, которое было ранним как временное окно N170, правое полушарие участвует в целостной перцепционной обработке лицевых конфигураций независимо от их особенностей. Напротив, в левом полушарии амплитуды N170 различались между Арчимбольдскими портретами и естественными лицами, т.е. возможно, что это полушарие обрабатывает локальные черты лица. Для перевернутой ориентации в обоих полушариях, амплитуды N170 не отличались между картинами Арчимбольдо и объектами, но были уменьшены для обеих категорий по сравнению с естественными лицами, что указывает на то, что нарушение целостностной обработки с инверсией приводит к объектной обработке картин Арчимбольдо из-за отсутствия локальных признаков лиц. В целом, эти результаты свидетельствуют о том, что глобальная / холистическая перцептивная обработка лиц и лицевых форматов включает правое полушарие уже во временном окне N170 и что локальная обработка функций лица скорее реализуется в левом полушарии. Т.е. в перевернутом виде лица лучше всего узнаются, чем другие объекты и картины Арчимбольдо в компоненте N170, и на лица была выше амплитуда этого компонента во всех условиях исследования. Настоящее исследование показывает модуляции чувствительного к лицам компонента N170 в ответ на картины Арчимбольдо, связанных с различными процессами, в

зависимости от ориентации и полушария: целостная обработка вертикальных картин Арчимбольдо, что приводит к эффекту лицевого типа N170, особенно в правом полушарии, и локальных частей (аналитической) обработки для инвертированных, учитываемых объектно-подобный эффект N170 в обоих полушариях. Поскольку картины Арчимбольдо воспринимаются как лица в вертикальной ориентации из-за глобальной конфигурации лица, но включающих различные объекты, которые составляют эти стимулы в инвертированной ориентации, это исследование вносит важный вклад в понимание визуализации на высоком уровне. Возможно, что компонент N170 вызванных потенциалов является первым электрофизиологическим индексом активации глобального / целостного представления лица в мозге человека, а также в первом компонентом, демонстрирующим доминирование правого полушария в целостностном восприятии.

В работе G. Тарап с соавторами [Тарап et al., 2012] пытались понять природу компонентов вызванных потенциалов, которые составляют основу волны N170 (маркер лица) и как эти компоненты могут использоваться для дифференциации доменной специфики мозга в распознавании одушевленных объектов (лиц) от неодушевленных предметов (домов). Результаты показали, что эффект распознавания лиц лучше по сравнению с объектами в правой затылочной и затылочно-височной области, чем в левом полушарии, а время дифференцировки больше в случае неодушевленных предметов по сравнению с лицами (одушевленными). Форма волны N170 вызванных потенциалов состоит из вклада различных мозговых волн в уникальный паттерн. Поэтому этот компонент служит важным генетическим маркером при исследовании прозопагнозии. Исследования по обработке объектов и лиц с использованием вызванных потенциалов с временным анализом открывают новый путь исследований в области нейроэлектрофизиологии. Это может привести к лучшему пониманию когнитивной обработки, что приведет к улучшению клинической диагностики и предоставит пути для понимания ранних визуальных различий в распознавании объектов в мозге человека.



В исследовании M. Dehaqani [Dehaqani et al., 2016] в качестве стимулов показывали обезьянам (макакам) изображения живых и неживых объектов (лица человека и обезьян, и их тела, объекты созданные человеком, фрукты и овощи). Животные пассивно наблюдали за объектами, и во время этого им регистрировали вызванные потенциалы с помощью вживленных в мозг электродов. Анализировали категоризацию на разных уровнях обработки. Чтобы лучше понять нервную основу быстрого доступа к информации о категориях среднего уровня, были рассмотрены нейронные реакции нижневисочной коры обезьян во время просмотра большого количества изображений объектов. Обнаружили, что нейроны нижневисочной коры представляют средний уровень (например, человеческие лица) раньше, чем вышестоящие (например, животные) и нижестоящих (например, лиц). Установили более раннее представление категорий среднего уровня в нижневисочной коре и одиночные ответы по сравнению с высшими и низшими уровнями категорий. Коротко-латентное представление информации о категориях среднего уровня показывает, что зрительная кора сначала делит пространство форм категорий на основании его самых резких границ, определяемое высоким или низким внутри или межгрупповым сходством. Предположили, что латентные карты границ категорий среднего уровня могут быть предпосылкой для представления других категорий в более глобальных и более мелких масштабах. Эти результаты показывают ускоренную нейронную обработку информации среднего уровня. Это преимущество среднего уровня ответов нижневисочной коры нервной системы объясняет механизмы превосходства среднего уровня в восприятии и поведении.

В электрофизиологических исследованиях Z. Gao в качестве стимулов были разные преобразования фотографий разных лиц, фотографий разных часов и фотографий разных цветов (замена местами различных локальных признаков, например, перестановки элементов внутренних компонентов с контуром лица и без него). Задача - мониторинг целевых стимулов, в которых были представлены стимулы из разных экспериментальных категорий один за другим, и испытуемым нужно было нажать кнопку, когда появился редко представленный цветок на

экране. В итоге, все стимулы различных категорий, представляющие интерес в этом исследовании, были одинаково важны для испытуемого (на самом деле, т.е. все нерелевантные отвлекающие факторы). Результаты выявили, что ответы N170 вызванных потенциалов и гамма-активность на лица отражают ранние и более поздние этапы многоуровневого механизма восприятия лица. Однако эти выводы нужно рассматривать с осторожностью, поскольку регистрируемая ЭЭГ - активность может быть зашумлена немозговой активностью, например такой, как микросаккады. Более того, ЭЭГ исследования гамма-активности не могут легко выявить ее внутричерепные источники, поэтому исследователи использовали МЭГ, а не ЭЭГ, и оценивали источники колебаний M170 и гамма-активность и чувствительность этих нейронных проявлений к глобальной, физической и конфигурационной информации в лицах. M170 был больше в ответ на лица и лицевые компоненты, чем в ответ на часы. Перестановка конфигурации внутренних компонентов лица, даже если они представлены без контура лица, уменьшала амплитуду и увеличивала латентность M170. Амплитуда МЭГ Гамма-колебаний (30-70 Гц) была выше, чем исходная в течение периода между 230-570 мс от начала стимула и особенно чувствительна к конфигурации стимулов, независимо от их категории. Однако, в нижней части этого частотного диапазона (30-40 Гц) только физиогномические стимулы повышали МЭГ выше базовой линии. Были зафиксированы как M170, так и гамма-колебания в задне-вентральной сети, включая фузиформную, нижне-затылочную и лингвальную извилину, все в правом полушарии. Генерация гамма-колебаний включала дополнительные источники в зрительной системе в обоих полушариях. Исследователи предполагают, что вызванный M170 проявляет механизм восприятия лица, основанный на глобальных характеристиках лица, тогда как индуцированные (вызванные) гамма-колебания связаны с интеграцией в зрительном восприятии [Gao et al., 2013].

Целью исследования V. Ferrari было изучение взаимосвязи между целенаправленным и мотивированным вниманием с использованием метода вызванных потенциалов в задачах категоризации [Ferrari, 2008]. Эмоционально

привлекательные фотографии представлялись либо в качестве целевых стимулов, либо как нецелевые. Результаты показали, что как актуальность задачи, так и эмоциональная значимость, модулировали поздние положительные потенциалы в центрально-теменных областях мозга. Эффекты направленного и мотивированного внимания в этих компонентах были дополняющими, причем наибольшая центрально-теменная позитивность компонентов вызванных потенциалов была обнаружена для эмоциональных изображений, которые были объектами целенаправленного внимания, и наименее - нейтральными изображениями, которые были нецелевыми. В целом, данные предоставляют новую информацию о взаимосвязи между мотивированным и целенаправленным вниманием и предполагают, что поздние позитивные компоненты отражает работу нейронных сетей внимания, которые используются как процессами при восходящей и нисходящей обработке зрительной информации в мозге.

T. Carlson с соавторами изучали, как структура категорий в предъявленных объектах возникает в первые 1000 мс визуальной обработки [Carlson et al., 2013]. Испытуемым показывали стимулы с планированной иерархической структурой категоризации от низших (тело животного, лицо животного, лицо человека, тело человека, объекты созданные человеком, естественные объекты) до высоких (живой - неживой объект). Их активность мозга регистрировалась с помощью МЭГ, а потом анализировалась амплитуда и латентность компонентов волн вызванных потенциалов в нижневисочной коре человека. Использовали подход декодирования скользящего временного окна для декодирования объекта и категории объектов, которые участники просматривали в определенный временной промежуток. Обнаружили, что объект и принадлежность к категории могут быть декодированы из нейромагнитных записей вскоре после начала стимула (<100 мс) с максимальной способностью к декодированию после этого. Латентности для максимальной декодируемости варьировались систематически в соответствии с уровнем абстракции категории с более абстрактными категориями, появляющимися позже, что указывает на то, что мозг иерархически создает представления о категориях. Кроме того, исследовали стационарность паттернов

активности в головном мозге, которые кодируют информацию о категориях объектов, и показали, что эти шаблоны меняются со временем, предполагая, что мозг может использовать гибкие кодовые переменные, коды для представления категорий визуальных объектов. В целом, эти данные показывают, как визуальные объекты представлены в мозге. Мозг изначально представляет визуальные объекты в каскадной последовательности представлений с ограниченными сроками жизни, согласующимися с быстрой разверткой вперед. В этом каскаде активности появляются представления объектов. Авторы предполагают, что последовательность представлений объектов на разных уровнях выгодна, так как непосредственная категоризация объекта на одном уровне, возможно, на так называемом базовом уровне, может информировать о более абстрактных представлениях и ограничивать набор подчиненных категорий и индивидуальность стимула.

Таким образом, исходя из вышеописанных результатов исследований с помощью методов МЭГ и вызванных потенциалов, можно сделать вывод о том, что в настоящее время исследований в области категоризации проводится большое количество, получено множество новых данных относительно обработки в мозге различных категорий объектов, выявлены области в мозге, связанные с классификацией объектов, и получены новые данные относительно временных показателей обработки категорий объектов, основной акцент делается на исследования компонентов с латентностью 150-170 и 300 мс. Однако, влияние задачи испытуемым при классификации исследовано недостаточно, в частности, при пространственно-частотной фильтрации изображений.

Были проведены комплексные МЭГ и фМРТ исследования при сравнении распознавания объектов в сцене и отдельных объектов. В этой работе было показано, что объекты в сцене распознаются позже, и на них больший по амплитуде отклик в мозге (320 мс), в отличие от отдельных объектов. Установлено также взаимодействие между обработкой информации об отдельных объектах и сценах [Brandman, Peelen, 2017].

В фМРТ и ЭЭГ исследованиях на обезьянах и на человеке при сравнении процессов классификации объектов (лица, тела человека и обезьян, объекты, сделанные руками человека) в затылочно-височной области мозга выявили, что и у обезьян, и у человека эта область коррелирует с категоризацией живых и неживых объектов [Caspari et al., 2014].

Таким образом, процесс классификации в настоящее время в основном является предметом изучения фундаментальных (изучение процессов восприятия, классификации, распознавания), так и прикладных исследований (с целью создания нейрокомпьютерных интерфейсов, различных систем автоматического управления или разработки медицинских диагностических методов различных заболеваний). Проблема нейрофизиологических механизмов классификации живой и неживой природы все еще остается недостаточно изученной, до сих пор нет ясного описания того, как происходит процесс отнесения к классам и категориям. Комплексного исследования механизмов классификации с использованием различных инструкций наблюдателю и различных характеристик предъявляемых изображений стимулов с целью исследования осознанных и неосознанных процессов классификации ранее не проводилось. Поэтому настоящее исследование является актуальным и позволяет внести определенный вклад в дальнейшее изучение нейрофизиологических основ классификации изображений в нейронных сетях головного мозга человека, а также для решения ряда прикладных задач.

## ГЛАВА 2. Материал и методы исследования

Было проведено 4 серии исследований с использованием офтальмологических и психофизиологических методов.

**Первое** и **второе** исследование были посвящены исследованию влияния инструкции на процесс классификации изображений объектов, проецируемых в область фовеа, **третье** - классификации изображений объектов, проецируемых в область в фовеолы (на пределе разрешения зрительной системы), **четвертое** - изучению влияния морфологических признаков (размеров фовеолы) на процесс распознавания изображений объектов на пределе разрешения зрительной системы. Изменение проекции стимульных изображений в область фовеа и фовеолы осуществлялось за счет использования разных размеров изображений стимулов и изменения расстояний от глаз наблюдателя до экрана монитора, на котором эти изображения предъявлялись.

### 2.1. Характеристика исследуемой группы

#### **Испытуемые 1-го и 2-го исследования**

Испытуемые: 42 добровольца в возрасте от 20 до 38 лет, праворукие, без неврологических патологий, с остротой зрения не менее 1 или откорректированным до нормы зрением очковыми линзами. Половина испытуемых (17 женщин, 4 мужчины) получила инструкцию различать объекты живой и неживой природы. Другая половина испытуемых (16 женщин, 5 мужчин) получила инструкцию различать изображения на основе их пространственно-частотных характеристик. Для 2-го исследования в дальнейшем была отобрана

новая выборка испытуемых - 21 доброволец: 13 женщин и 8 мужчин в возрасте от 18 до 36 лет.

### **Испытуемые 3-го исследования**

Испытуемые: 14 добровольцев в возрасте от 20 до 38 лет, праворукие, без неврологических изменений с остротой зрения не менее 1.

### **Испытуемые 4-го исследования**

В исследовании принимали участие 14 испытуемых (28 глаз) с нормальной остротой зрения в возрасте от 22 до 35 лет (1 испытуемый с миопией, 8 испытуемых с эметропией и 5 испытуемых с гиперметропией). ПЗО по выборке испытуемых менялось от 21.39 до 24.87 мм, среднее значение составило 23.4 мм. В группу исследования вошли испытуемые с эметропией, миопией (максимальная степень аметропии 1,0 дптр.), гиперметропией (максимальная степень аметропии 1,25 дптр.).

В целом, во всех сериях исследований принял участие 91 доброволец.

## **2.2. Оценка параметров зрения**

### **2.2.1. Офтальмологические методы**

Исследование проводилось на оптическом когерентном томографе (RTVue - 100 (OPTOVUE, США)). Изображения сетчатки были получены методом оптической когерентной томографии (ОКТ) в режиме 3D сканирования в области центральной зоны макулы (3D Macular, зона сканирования 6\*6 мм, 128 В-сканов, 512 А-сканов в каждом). В исследовании измерялся диаметр фовеолы. Диаметр фовеолы рассчитывали как расстояние между краями внутреннего плексиформного слоя по пяти срезам.

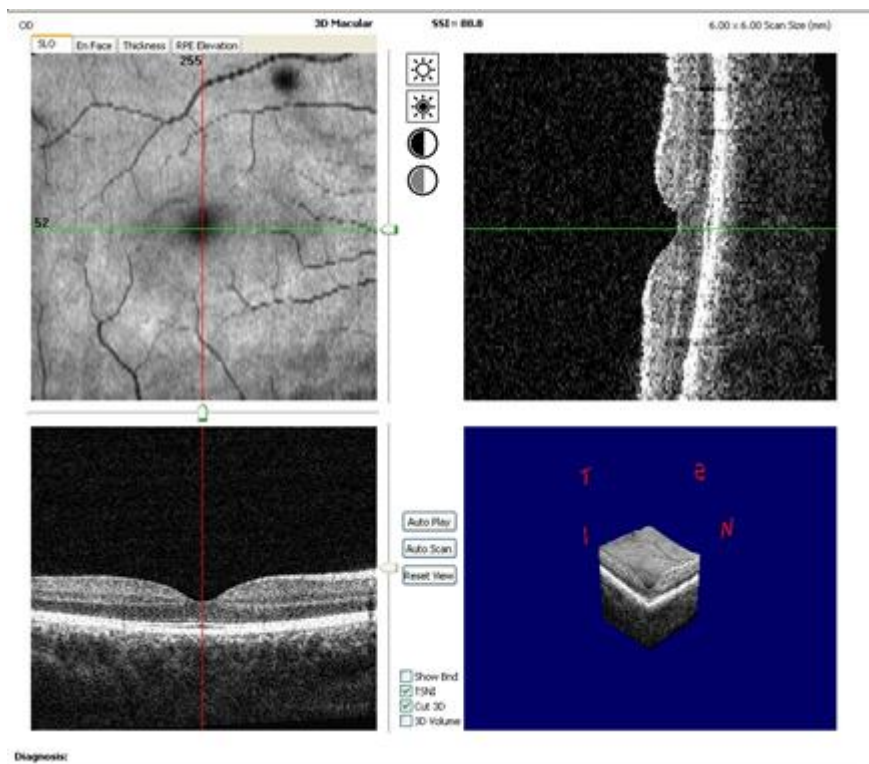


Рисунок 1. Слайд из оптического когерентного томографа в режиме 3D сканирования в области центральной зоны макулы.

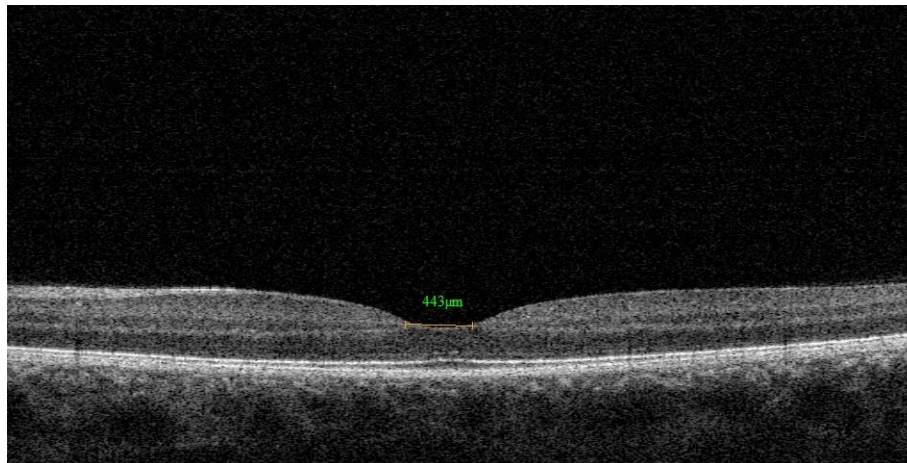


Рисунок 2. Слайд из оптического когерентного томографа в режиме 3D сканирования в области центральной зоны макулы. Пример, проводимых измерений.

Остроту зрения у испытуемых проверяли с помощью таблиц Сивцева. Оценивалась рефракция аметропических, эметропических и миопических глаз. Исследование проводилось на рефрактометре. ПЗО измерялся с помощью ультразвуковой эхобиометрии.



### **2.3. Зрительные тесты (4 теста) и регистрация вызванных потенциалов**

Во всех электрофизиологических сериях исследований для регистрации вызванных потенциалов использовали энцефалограф фирмы “Мицар-ЭЭГ-201” с частотой дискретизации 500 Гц и программу WinEEG. Электроды располагали по системе 10–20 с добавочным затылочным отведением Oz с референтными ушными электродами. Глазодвигательные артефакты удаляли с помощью метода независимых компонентов. Полоса пропускания: фильтр высоких частот - 70 Гц, фильтр низких частот – 0,53 Гц, полосовой фильтр 45 - 55 Гц. Двигательные, глотательные и другие артефакты удаляли вручную. Перед анализом данных удаляли высокочастотные помехи с помощью фильтра высоких частот 50 Гц. Вызванные потенциалы в первых трех исследованиях усредняли на разные типы стимулов на протяжении каждого исследования по отдельности.

#### **2.3.1. Методика для исследования влияния инструкции наблюдателю на процесс классификации (исследования 1 и 2)**

Для регистрации когнитивных вызванных потенциалов использовался психофизиологический зрительный двухстимульный тест. Зрительные стимулы предъявлялись на мониторе компьютера в случайном порядке. Тест включал 360 проб. В качестве зрительных стимулов использовались изображения объектов живой природы, отфильтрованные на высоких и на низких частотах: набор из 90 черно-белых контурных изображений (45 изображений живых объектов, 45 - неживых). Из этого набора путем цифровой фильтрации было получено 180 текстовых изображений, половина из которых содержала низкочастотную часть изображения, половина - высокочастотную. Фильтрация производилась путем свертки изображений с DoG-функцией (сокр. от Difference Of Gaussians) -

вейвлетом, представляющей собой разность двух двумерных функций Гаусса с различной полушириной. Для выделения высоких пространственных частот использовался фильтр с максимальным значением пропускания на частоте 10 цикл/град, низких частот - 1 цикл/град. Таким образом, были получены четыре группы тестовых изображений: низкочастотные изображения живых объектов (ЖНЧ), их же высокочастотные изображения (ЖВЧ), и такие же группы для неживых объектов - (НЖНЧ) и (НЖВЧ) (рисунок 3). Тем самым из одного алфавита стимулов, образовали четыре, которые позволили ставить две задачи испытуемым: первую - классификацию изображений по семантическим признакам, и вторую – классификацию изображений по физическим признакам. Изображения предъявлялись на электронно-лучевом мониторе Mitsubishi Diamond Pro 740 SB с кадровой частотой 100 Гц и разрешением экрана 1024×768.

Для точной передачи яркостного профиля изображений производилась коррекция нелинейных искажений, вносимых монитором (гамма-коррекция). Средняя яркость и контраст всех стимулов были одинаковы. Расстояние между монитором и глазами испытуемого составляло 1,5 м. Размер всех изображений составлял 3 угл. град. Изображения предъявлялись в случайном порядке, продолжительность демонстрации - 100 мс, интервал между предъявлениями - 1 с, помимо этого, было предусмотрено время (около 300-500 мс) для нажатия испытуемым на кнопку при решении задачи.



Рисунок 3. (а) Изображения объектов живой природы, отфильтрованные на высоких и на низких частотах.

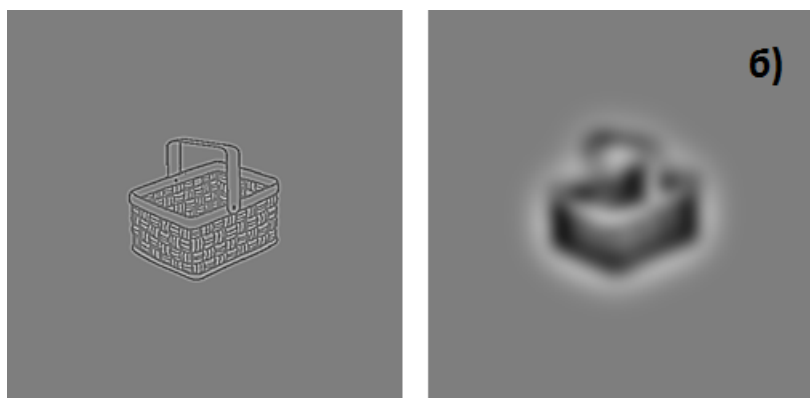


Рисунок 3. (б) Изображения объектов неживой природы, отфильтрованные на высоких и на низких частотах.

Перед началом предъявления двух тестов давалась четкая инструкция испытуемым. Всего было проведено две серии исследований (тестов) с одинаковыми стимулами, но с разными инструкциями наблюдателям. **1 инструкция:** отличать изображения объектов живой природы от объектов неживой природы; **2 инструкция:** отличать размытые изображения (низкочастотная фильтрация) от неразмытых (высокочастотная фильтрация) в одном и том же наборе тестовых изображений. В обоих исследованиях испытуемым нужно было нажать на соответствующую кнопку “мыши”.

### **2.3.2. Методика для исследования характеристик вызванных потенциалов на контурные изображения объектов живой и неживой природы на пределе разрешения зрительной системы (исследование 3)**

Синтезировали 60 контурных изображений. Из них одна половина принадлежала к классу изображений объектов живой природы, а другая - к классу объектов неживой природы, т.е. они имели разное семантическое значение для наблюдателя (рисунок 4). Угловые размеры изображений на экране равнялись 0,4 угл. град. Изображения предъявляли на экране монитора на 100 мс с интервалом в 1 секунду. Было сделано 90 предъявлений каждого из изображений бинокулярно. **Инструкция испытуемым:** нажимать на одну кнопку мыши, если

он видел объект живой природы, и на другую кнопку, если объект неживой природы.



Рисунок 4. Контурные изображения объектов живой и неживой природы.

### **2.3.3. Методика исследования характеристик вызванных потенциалов на шахматный паттерн на пределе разрешения зрительной системы (исследование 4)**

В данной серии исследований использовали методы оптической когерентной томографии (ОКТ), рефрактометрии, ультразвуковой биометрии и проводили регистрацию зрительных вызванных потенциалов. Запись зрительных вызванных потенциалов осуществляли на пределе разрешения зрительной системы (с расстояния 5 м от глаз испытуемого до экрана монитора). В качестве стимулов использовали реверсивный шахматный паттерн, поскольку он является стандартным стимулом для объективного исследования зрения, как и синусоидальные черно-белые решетки (Муравьева и др., 2004; Хараузов и др.,

2005; De Zheng, 2007). В качестве стимула применяли шахматный паттерн 10x10 клеток, предъявляемый в центре экрана монитора монокулярно.

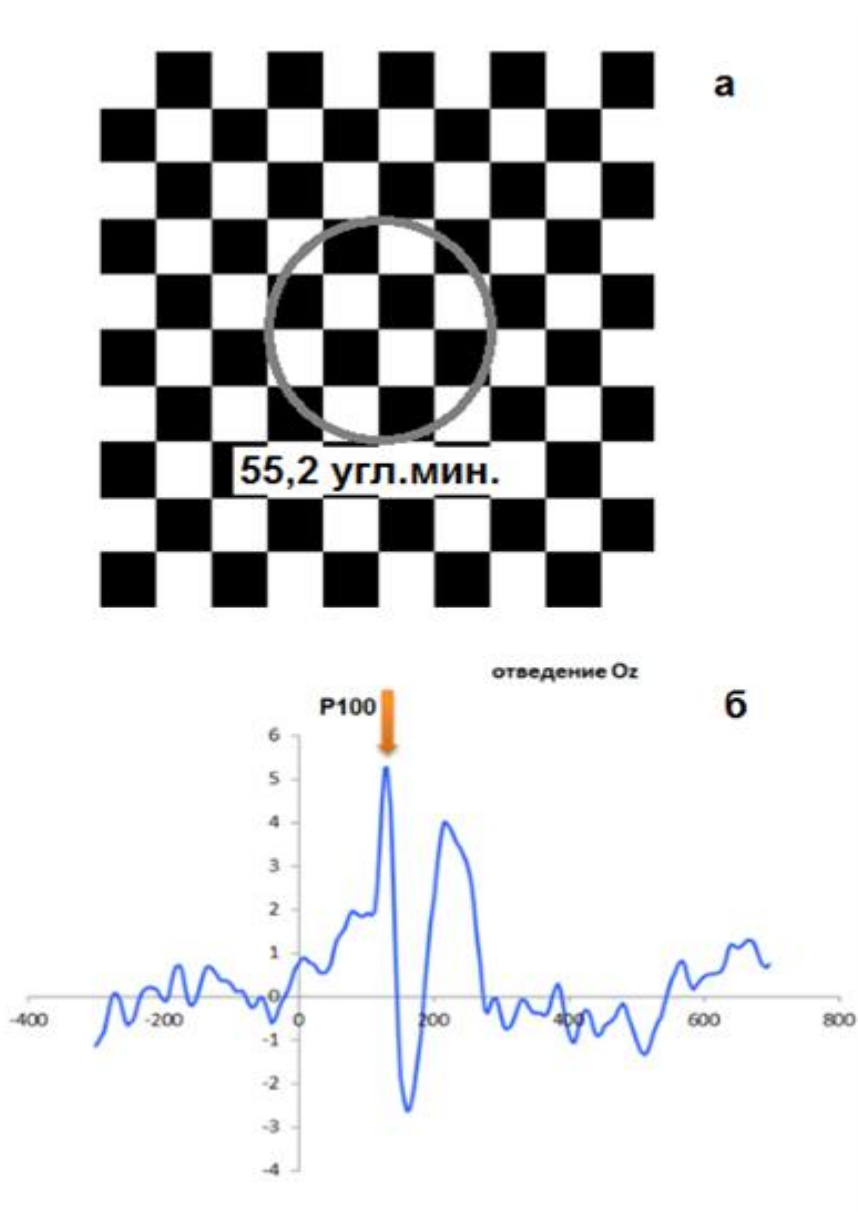


Рисунок 5. а) Изображение шахматного паттерна и проекция фовеолы на нем. б) Затылочное отведение Oz. Стрелкой указан анализируемый компонент вызванных потенциалов - P100.

Угловой размер 1 клетки составил 13,8 угл. мин., т.е. 4 клетки практически соответствовали диаметру фовеолы (рисунок 5а). Время предъявления

изображений составило 493 мс, а интервал - 505 мс. Испытуемым давали инструкцию просто смотреть на тестовое изображение.

В дальнейшем анализировали связь амплитуды и латентных периодов зрительных вызванных потенциалов компонента P100 в затылочном отведении Oz с диаметрами фовеол испытуемых (рисунок 5б). Анализировали только компонент P100, так как он оказался наиболее выраженным.

### 2.3.4. Обработка данных

Для анализа вызванных потенциалов использовали пространственно-временной анализ сенсорных и когнитивных составляющих зрительных вызванных потенциалов, поскольку этот метод позволяет решить проблему перекрытия быстро меняющейся нейронной активности во время проведения исследования [Handy, 2004; Keil, 2014; Luck, 2005] и является наиболее подходящим для достижения целей данного исследования. На рисунке 6 схематично показано измерение амплитуды и латентных периодов компонентов вызванных потенциалов.

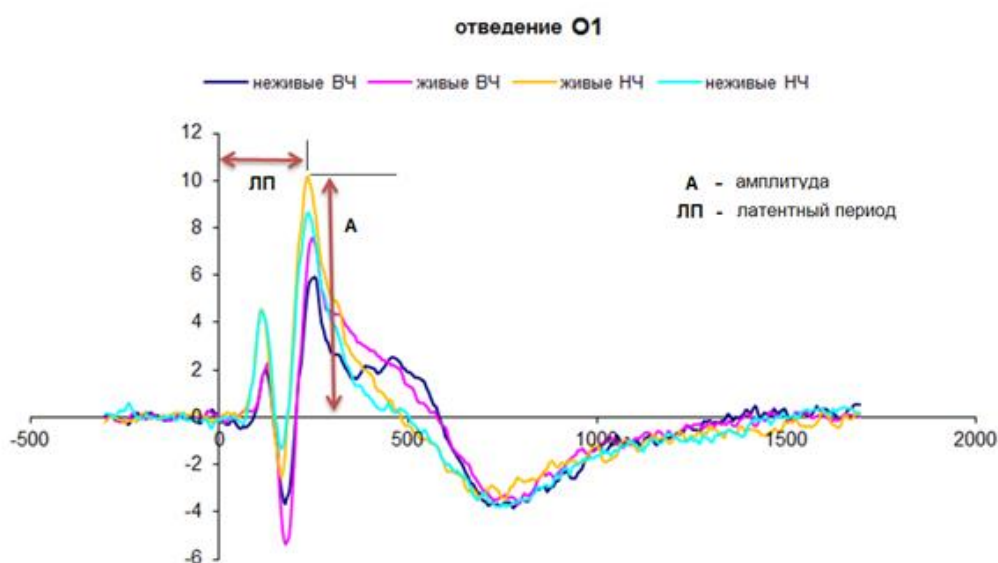


Рисунок 6. Схема измерения амплитуды и латентных периодов компонентов вызванных потенциалов. Затылочное отведение О1.

По оси ординат – амплитуда (мкВ), по оси абсцисс – время (мс). Красными стрелками показано, как измерялась амплитуда и латентные периоды вызванных потенциалов.

Синяя линия – вызванные потенциалы на изображения неживой природы, отфильтрованные на высоких пространственных частотах.

Розовая линия – вызванные потенциалы на изображения живой природы, отфильтрованные на высоких пространственных частотах.

Желтая линия – вызванные потенциалы на изображения живой природы, отфильтрованные на низких пространственных частотах.

Голубая линия – вызванные потенциалы на изображения неживой природы, отфильтрованные на низких пространственных частотах.

**В 1-й и 2-й сериях исследований** для анализа амплитуды выбирали временные окна на графиках вызванных потенциалов, обобщенных по всем испытуемым в разных отведениях. Основные компоненты вызванных потенциалов анализировали в следующих временных интервалах, начиная от момента предъявления стимула: компоненты N70 и P70 (20–80 мс), P100 и N100 (80–150 мс), P170 и N170 (150–220 мс), P250 и N250 (220–300 мс), P300 (300–480 мс), P500 (480–650). В пределах указанных для анализа временных окон фактическое временное окно могло немного изменяться, поэтому для каждой области мозга выбирался более точный временной интервал. Для оценки статистической значимости различий амплитуды вызванных потенциалов в выбранных временных интервалах использовали парный двухвыборочный t-тест для средних (t-критерий для зависимых выборок) и T – критерий Вилкоксона (Wilcoxon matched pairs test). Результаты считали значимыми при  $p < 0,05$ .

Анализ влияния вида изображения и типа инструкции на величину латентного периода проводился с использованием смешанного дисперсионного

анализа –  $2 \times 4$  Mixed-model ANOVA с последующими множественными Post Hoc сравнениями и тестированием простых эффектов с использованием теста Бонферрони (Bonferroni). Зависимой переменной являлся латентный период, а факторами – Инструкция (живые – неживые /размытые - четкие) и Изображение (ЖВЧ/НЖВЧ/ЖНЧ/НЖНЧ). Связи между латентными периодами разных изображений для каждой инструкции рассчитывались с использованием коэффициентов корреляции Пирсона. Статистические решения принимались на 5% уровне значимости. Статистические характеристики представлены средними значениями и стандартными ошибками -  $M \pm m$ . Данные анализировались отдельно по каждому компоненту. В затылочном (Oz), в центральном (Cz) и в лобном (Fz) отведениях анализировался компонент с латентным периодом 80 - 150 мс. В затылочном (Oz), в центральном (Cz), в лобном (Fz), в височных (T5, T6) отведениях анализировался компонент с латентным периодом 150 - 220 мс. В центральном (Cz) отведении анализировался компонент с латентным периодом 480-650 мс. Эти компоненты вызванных потенциалов были выбраны, потому что они были более значимыми для задач данного исследования.

**В 3-й серии исследований** анализ амплитуды компонентов вызванных потенциалов проводился аналогично тому, как в 1-м и 2-м исследованиях. Кривые вызванных потенциалов были разделены на следующие интервалы: 110 - 180 мс (компонент P100 и N100), 180 – 250 мс (компонент P200 и N170), 250 – 350 мс (компонент P250 и N250) и 350 – 530 мс (компонент P300). Дальнейшая статистическая обработка проводилась аналогично первым двум исследованиям.

**В 4-й серии исследований** для анализа связи амплитуды и латентных периодов зрительных вызванных потенциалов компонента P100 в затылочном отведении Oz с диаметрами фовеол глаз испытуемых использовали коэффициент корреляции Спирмена.



## **ГЛАВА 3. Результаты исследования**

### **3.1. Исследование влияния инструкции наблюдателю на процесс классификации изображений объектов в фовеа. 1-я и 2-я серия исследований**

#### **3.1.1. Результаты исследований с задачей различения объектов по семантическим признакам (живой-неживой). 1-я серия исследований**

В результате анализа ЭЭГ, регистрируемой во время выполнения задачи, были выявлены достоверные различия в амплитуде различных компонентов вызванных потенциалов в зависимости от семантических и пространственно-частотных признаков изображений. Достоверными считались лишь те различия, которые наблюдались одновременно для двух типов изображений. Так, различающимися по семантическим признакам считались только те компоненты вызванных потенциалов, для которых были выявлены достоверные различия в ответ на предъявление стимулов, отфильтрованных в низких и высоких пространственно-частотных диапазонах. Аналогично, различающимися по пространственно-частотным признакам считались только те компоненты вызванных потенциалов, которые достоверно изменялись в ответ на предъявление объектов как живой, так и неживой природы.

На рисунке 7 показаны усредненные по 21-му испытуемому вызванные потенциалы, зарегистрированные при выполнении задачи классификации изображений живой и неживой природы в центральной области (канал Cz) и в центре затылочной области (канал Oz). Как видно из рисунка, относительно ранние (до 250 мс) волны вызванных потенциалов имеют различную полярность в затылочных и центральных областях.

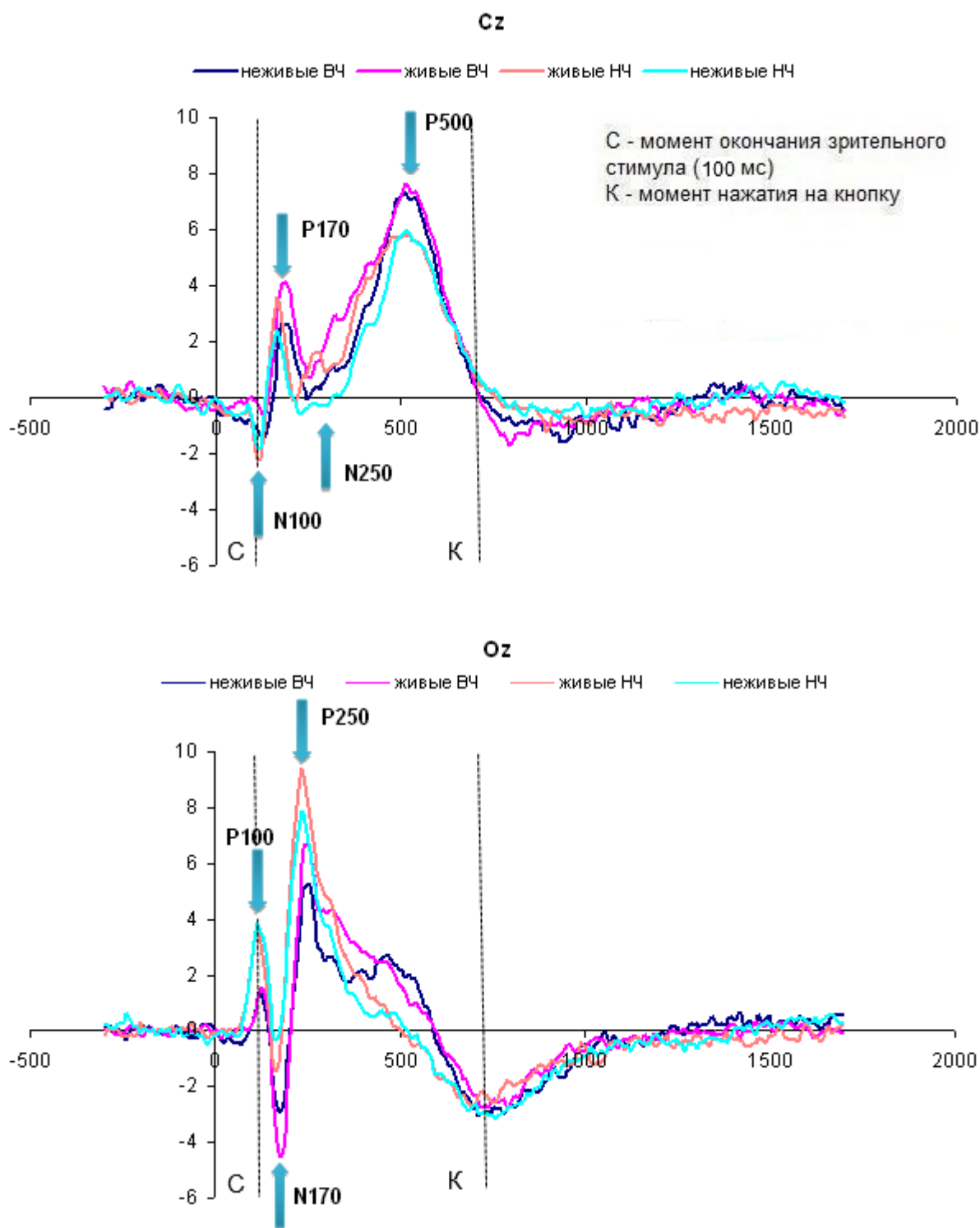


Рисунок 7. Усредненные вызванные потенциалы во время выполнения инструкции по различению семантических признаков в изображениях («живой/неживой объект»). Центральное отведение Cz и затылочное отведение Oz. Стрелками показаны достоверные различия ( $p < 0,05$ ) по семантическим и по пространственно-частотным характеристикам изображений.

От пространственно-частотных характеристик стимулов значимо зависели компоненты P100, N170, P250, регистрируемые в затылочных областях, и компоненты N250, P500, регистрируемые в центральных областях. В зависимости от семантического содержания стимулов (живые/неживые объекты) значимо различалась амплитуда компонентов N250, P500 в затылочных областях и компонентов P170, N250, P500, регистрируемых в центральных областях.

Для дальнейшего анализа различий в вызванных потенциалах, связанных с различиями в стимуляции, разделили каждый вызванный потенциал на пять временных интервалов после предъявления стимула: 80–150, 150–220, 220–300, 300–450 и 450–650 мс. Далее, для каждого отведения в каждом временном окне находили значения амплитуды, соответствующие пикам основных компонентов вызванного потенциала (максимум для позитивных волн и минимум для негативных волн). Затем проводили статистическое сравнение значений амплитуды компонентов, полученных в ответ на предъявление различных типов стимулов.

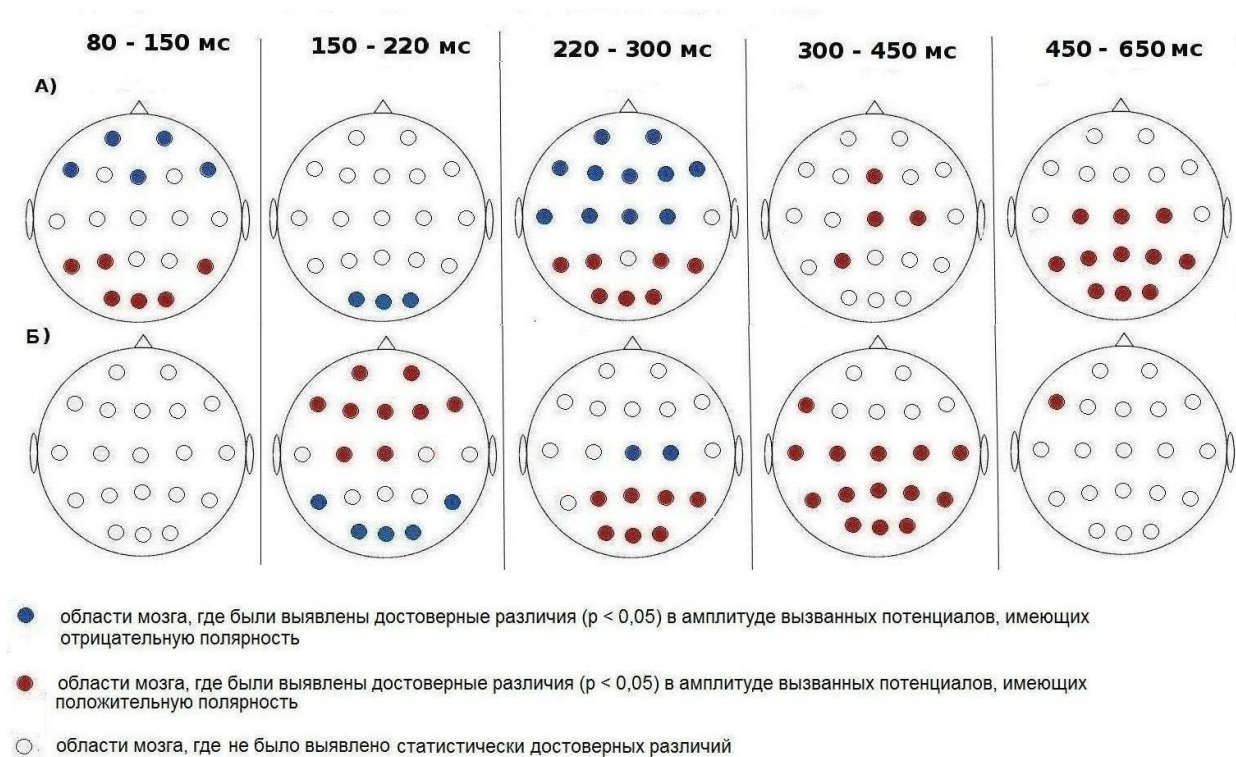


Рисунок 8. Сравнительный анализ амплитуды компонентов вызванных потенциалов в различные интервалы времени. Инструкция испытуемым – различение семантических признаков в изображениях (живой или неживой

объект). а) различия в амплитуде по физическим признакам; б) различия в амплитуде по семантическим признакам. Полярность компонентов вызванных потенциалов обозначена на рисунке цветом: красный цвет – волны положительной полярности, синий – волны отрицательной полярности.

На рисунке 8 представлены результаты сравнительного анализа амплитуды вызванных потенциалов в выбранных интервалах времени для каждого электрода. Данные рассчитаны по результатам измерений у 21-го испытуемого во время выполнения задачи категоризации изображений по принципу живой или неживой объект. На рисунке 8а отмечены электроды, на которых наблюдали значимые изменения амплитуды в зависимости от пространственно-частотных характеристик изображений. На рисунке 8б отмечены электроды, на которых наблюдали значимые изменения амплитуды в зависимости от предъявления живых или неживых объектов. Порог статистической достоверности, рассчитанный с помощью парного t-критерия, составлял 5% ( $p < 0,05$ ).

Проведенный анализ показал, что в интервале 80 - 150 мс, компоненты вызванных потенциалов P100 и N100 (ранние компоненты), зависят только от пространственно-частотных характеристик изображений и не зависят от их семантического содержания. Достоверные отличия в амплитуде этих компонентов были обнаружены в затылочных, теменных, височных и лобных областях. В следующем интервале времени 150 - 200 мс, регистрировали компоненты P170 и N170, амплитуда которых зависела от пространственной частоты стимула и от семантических признаков в затылочных областях и от семантических признаков в лобных, центральных и височных областях.

В более позднем интервале времени, 220–300 мс после предъявления стимула, регистрировали волны P250 и N250 мс. Амплитуда этих волн зависела от пространственной частоты стимула практически во всех исследуемых областях, в то время как их зависимость от семантических признаков наблюдали в основном в теменно-затылочных областях. В интервале времени 300–450 мс регистрировали

компонент P300, амплитуда которого в основном зависела от семантических признаков стимулов, в то время как наиболее поздний компонент P500, наблюдаемый в интервале времени 450–650 мс, наоборот, зависел в основном от пространственной частоты изображений (рисунок 8).

В целом, при решении задачи категоризации объектов живой и неживой природы амплитуда вызванных потенциалов была выше при распознавании изображений объектов живой природы. При этом, амплитуда всех волн, за исключением P500 была выше при предъявлении изображений низкой пространственной частоты. Амплитуда компонента P500, наоборот, была выше при предъявлении высокочастотных изображений.

### **3.1.2. Результаты исследований с задачей различения объектов по физическим признакам («четкий-размытый»). 2-я серия исследований**

На рисунке 9 показаны примеры вызванных потенциалов, регистрируемых в каналах Cz и Oz во время выполнения задачи классификации изображений на четкие и размытые. Представлены данные усреднения по всей группе испытуемых (21 человек). Стрелками указаны компоненты, в которых были выявлены достоверные зависимости амплитуды от характеристик изображений.

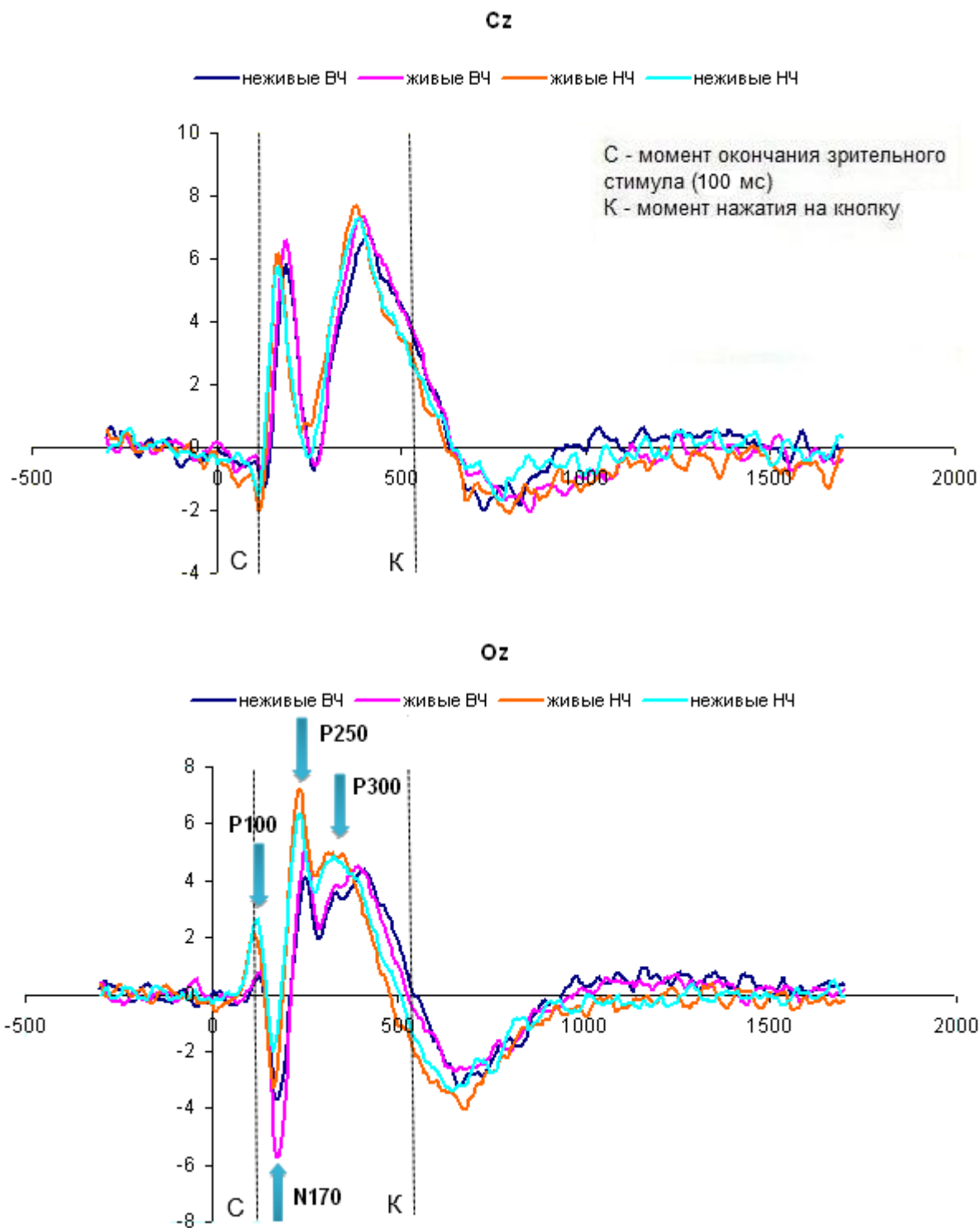


Рисунок 9. Усредненные вызванные потенциалы во время выполнения инструкции по различению пространственно-частотных характеристик изображений (четкий-размытый). Центральное отведение Cz и затылочное отведение Oz. Стрелками показаны достоверные различия ( $p < 0,05$ ) по семантическим и по пространственно-частотным характеристикам изображений.

Так же как и в первом исследовании, наблюдается инверсия полярности ранних волн, причем их латентный период больше при предъявлении высокочастотных стимулов. Был проведен сравнительный статистический анализ амплитуды вызванных потенциалов в определенных интервалах времени по всем электродам, аналогичный анализу, проведенному в первом исследовании.

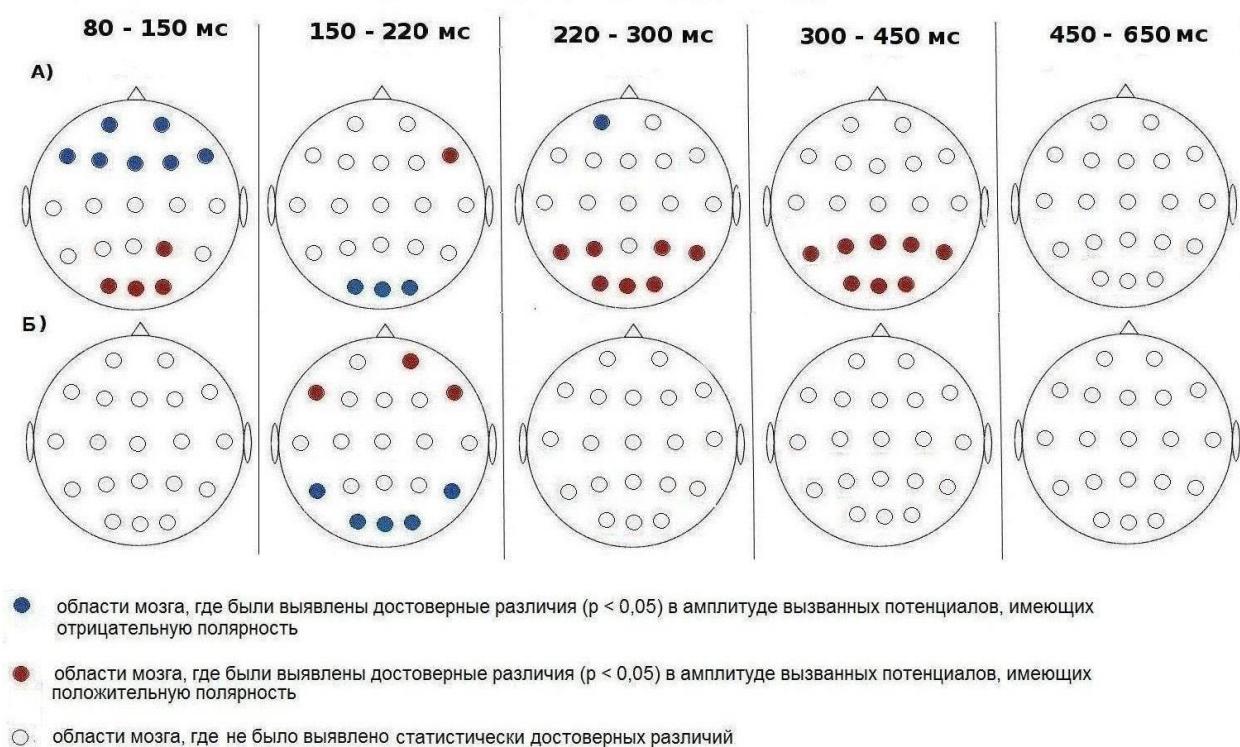


Рисунок 10. Сравнительный анализ амплитуды компонентов вызванных потенциалов в различные интервалы времени. Инструкция испытуемым – различение пространственно-частотных признаков в изображениях (четкий или размытый). а) различия в амплитуде по физическим признакам; б) различия в амплитуде по семантическим признакам. Полярность компонентов вызванных потенциалов обозначена на рисунке цветом: красный цвет – волны положительной полярности, синий – волны отрицательной полярности.

На рисунке 10 представлены результаты анализа вызванных потенциалов, зарегистрированных у 21-го испытуемого во время выполнения задачи категоризации изображений по принципу «четкий или размытый». Так же, как в

исследовании с различением семантических свойств в изображениях, самые ранние компоненты вызванных потенциалов P100 и N100 зависели только от пространственной частоты стимулов. Амплитуда этих волн в затылочных и теменных отведениях была выше в ответ на предъявление низкочастотных изображений, а в лобных отведениях – ниже.

Компоненты P170 и N170 зависели как от пространственно-частотных, так и от семантических характеристик изображений. Амплитуда этих волн была выше в ответ на предъявление низкочастотных изображений по сравнению с предъявлением высокочастотных стимулов. Объекты неживой природы по сравнению с объектами живой природы вызвали увеличение амплитуды компонентов вызванных потенциалов, регистрируемых в затылочных и теменных отведениях. В лобных отведениях, наоборот, амплитуда компонентов P170 и N170 была больше в ответ на предъявление изображений живой природы.

Более поздние волны, такие как P250, N250 и P300, зависели исключительно от пространственно-частотных характеристик изображений. Аналогично компонентам P100 и N100, амплитуда волн P250 и N250 в затылочных и теменных отведениях была выше в ответ на предъявление низкочастотных изображений, а в лобных отведениях – ниже. Амплитуда компонента P300 была выше на низкочастотные изображения в затылочных, височных и теменных отведениях.

Таким образом, аналогично первому исследованию, наблюдалась тенденция к увеличению амплитуды компонентов вызванных потенциалов в ответ на предъявление низкочастотных изображений объектов живой природы. Однако, при смене инструкции во втором исследовании (привлечение внимания к пространственно-частотным характеристикам стимулов) изменения амплитуды встречались существенно реже (рисунок 9, 10).



В процессе исследования возникла необходимость в дополнительной проверке результатов с помощью непараметрического статистического критерия Вилкоксона (Т – критерий Вилкоксона (Wilcoxon matched pairs test), в связи с тем, что не во всех отведениях мозга результаты распределялись по законам нормального распределения. Известно, что на малых выборках с неизвестным распределением, отличающимся от нормального, при парных сравнениях предпочтительнее использовать непараметрический Т-критерий Вилкоксона [Лагутин, 2003].

**Инструкция 1: отличать изображения живой природы от неживой**

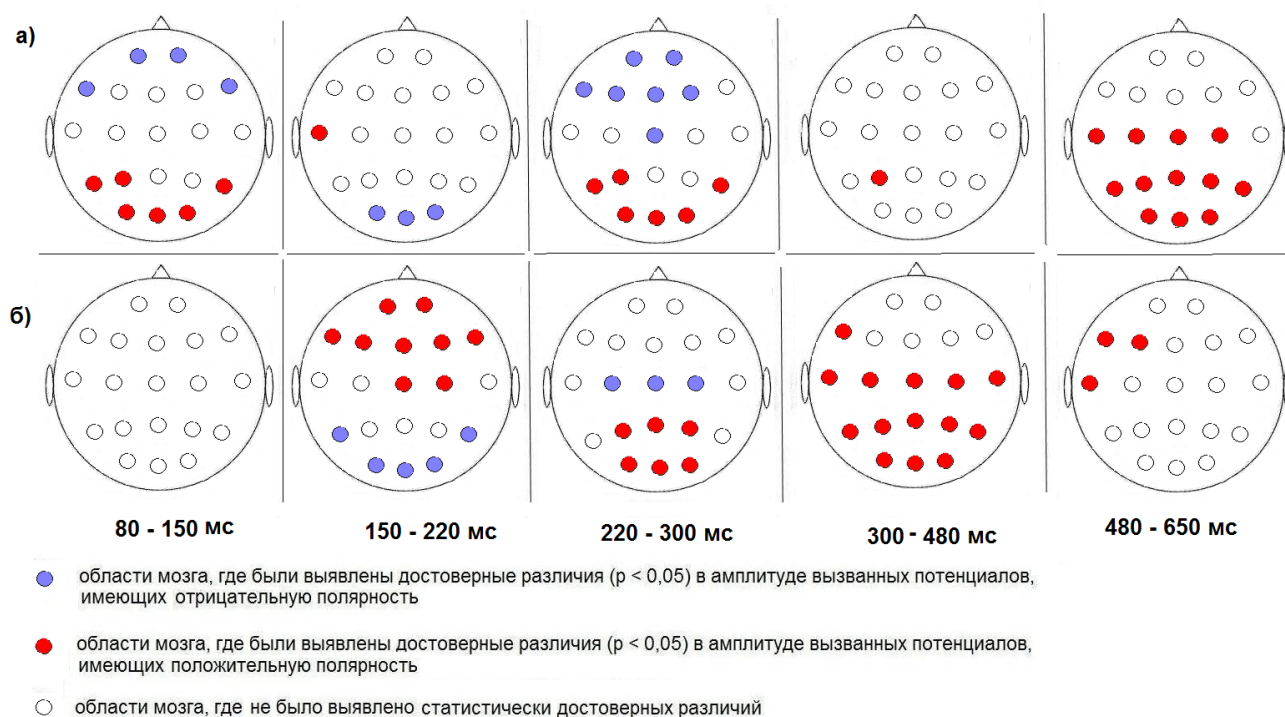


Рисунок 11. Сравнительный анализ амплитуды компонентов вызванных потенциалов в различные интервалы времени. Инструкция испытуемым – различение семантических признаков в изображениях («живой или неживой»). а) различия в амплитуде по физическим признакам («четкий или размытый»); б) различия в амплитуде по семантическим признакам. Полярность компонентов вызванных потенциалов обозначена на рисунке цветом: красный цвет – волны положительной полярности, синий – волны отрицательной полярности.

На рисунке 11 представлены результаты сравнительного анализа амплитуды вызванных потенциалов в выбранных интервалах времени для каждого электрода. Данные рассчитаны по результатам измерений у 21-го испытуемого во время выполнения задачи классификации изображений по принципу живой или неживой. На рисунке 11а отмечены электроды, в вызванных потенциалах от которых наблюдали значимые изменения амплитуды в зависимости от пространственно-частотных характеристик изображений. На рисунке 11б указаны электроды, в вызванных потенциалах от которых наблюдали значимые изменения амплитуды в зависимости от предъявления живых или неживых объектов. Порог статистической достоверности, рассчитанный с помощью Т-критерия Вилкоксона, составил 5% ( $p < 0,05$ ).

Проведенный анализ выявил, что вызванные потенциалы P100 и N100 (ранние компоненты) зависят только от пространственно-частотных характеристик изображений и не зависят от их семантических признаков. Достоверные различия в амплитуде этих компонентов были обнаружены в затылочных, теменных, височных и лобных областях. В следующем интервале времени 150 - 200 мс, регистрировали компоненты P170 и N170, амплитуда которых зависела от пространственной частоты стимула и от семантических признаков в затылочных областях и только от семантических признаков в лобных, центральных и височных областях.

В интервале времени 220–300 мс после предъявления стимула регистрировали волны P250 и N250 мс. Амплитуда этих волн зависела от пространственной частоты стимула практически во всех исследуемых областях, в то время как их зависимость от семантических признаков наблюдали в основном в центральных, теменных и затылочных областях.

В интервале времени 300–480 мс регистрировали компонент P300, амплитуда которого в основном зависела от семантических признаков стимулов. А более поздний компонент P500, наблюдаемый в интервале времени 480–650 мс, наоборот, зависел в основном от пространственно-частотных характеристик изображений.

В целом, также как было отмечено, что при решении задачи классификации объектов живой и неживой природы амплитуда компонентов вызванных потенциалов была выше при распознавании изображений объектов живой природы. И амплитуда всех волн, за исключением P500, была выше при предъявлении низкочастотных изображений. Амплитуда компонента P500, наоборот, была выше при предъявлении высокочастотных изображений.

**Инструкция 2: отличать размытые изображения (низкочастотная фильтрация) от неразмытых (высокочастотная фильтрация)**

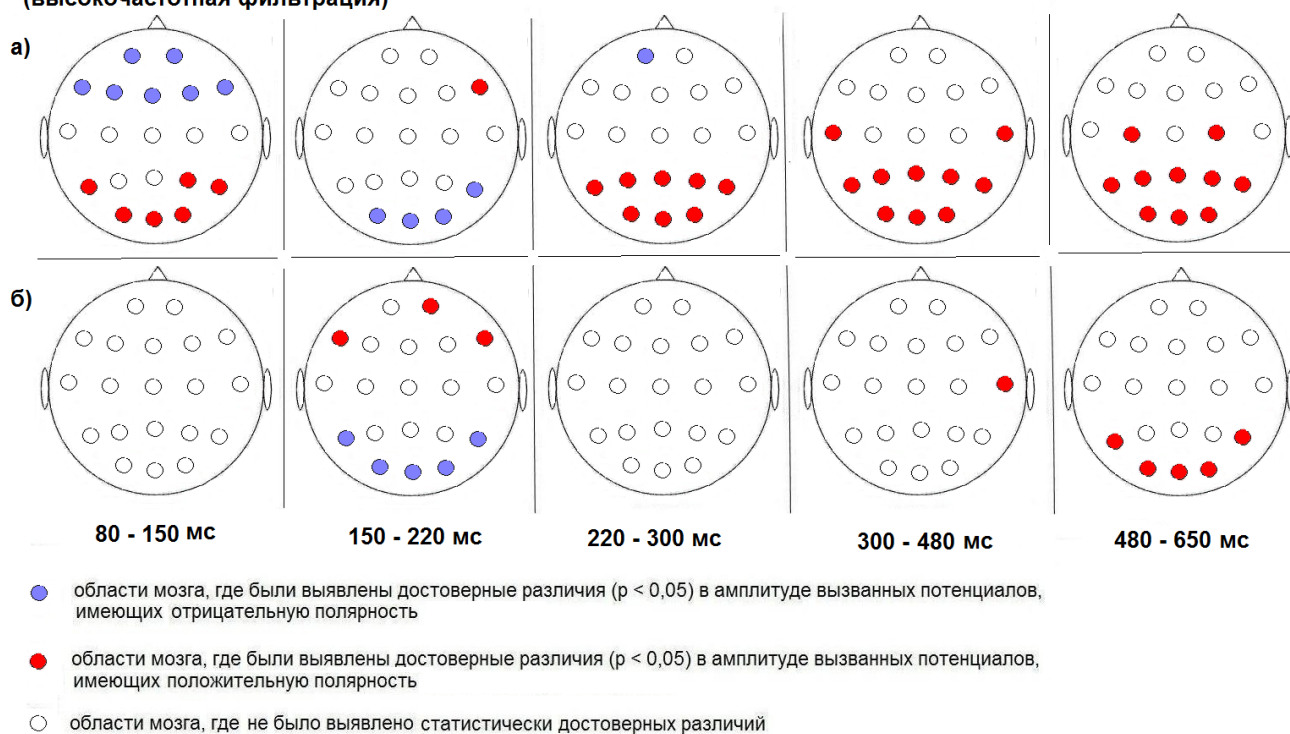


Рисунок 12. Сравнительный анализ амплитуды компонентов вызванных потенциалов в различные интервалы времени. Инструкция испытуемым – различение пространственно-частотных свойств изображений («четкий-размытый»). а) различия в амплитуде по физическим признакам; б) различия в амплитуде по семантическим признакам. Полярность компонентов вызванных потенциалов обозначена на рисунке цветом: красный цвет – волны положительной полярности, синий – волны отрицательной полярности.

На рисунке 12 представлены результаты анализа вызванных потенциалов, зарегистрированных у 21-го испытуемого во время выполнения задачи классификации изображений по принципу «четкий - размытый» объект.

Так же, как в исследовании с различением семантических свойств в изображениях, самые ранние компоненты вызванных потенциалов P100 и N100 зависели только от пространственной частоты стимулов во всех областях мозга за исключением центральных областей. Амплитуда этих волн в затылочных и теменных отведениях была выше в ответ на предъявление низкочастотных изображений, а в лобных отведениях – ниже.

Компоненты P170 и N170 зависели как от пространственно-частотных, так и от семантических характеристик изображений в затылочных, височных и лобных областях.

Более поздние волны, такие как P250, N250 и P300, зависели исключительно от пространственно-частотных свойств изображений. Аналогично, компонентам P100 и N100, амплитуда волн P250 и N250 и P300 в затылочных, височных и теменных областях была выше в ответ на предъявление низкочастотных изображений. Амплитуда на изображения живой природы была выше во всех областях мозга, чем на изображения неживой природы в лобных, височных и затылочных областях.

Компонент P500 в этой серии исследований был невыраженным на усредненных кривых вызванных потенциалов, но все равно интервал этого компонента подвергался анализу для сопоставления с результатами 1й серии исследований. В результате чего, было получено, что в этом компоненте вызванных потенциалов (P500) активируются все области, за исключением лобных на пространственно-частотные характеристики изображений, а на семантические характеристики изображений – затылочные и височные области.

Таким образом, аналогично первому исследованию наблюдалась тенденция к увеличению амплитуды вызванных потенциалов в ответ на предъявление низкочастотных изображений объектов и на изображения объектов живой природы. Однако при смене инструкции во втором исследовании (привлечение внимания к пространственно-частотным характеристикам стимулов) изменения амплитуды встречались существенно реже (рисунки 11, 12).

Дополнительная проверка результатов с помощью непараметрического T – критерия Вилкоксона (Wilcoxon matched pairs test) позволила получить сходные с результатами, полученные ранее с помощью параметрического статистического парного двухвыборочного t-теста для средних (t-критерий для зависимых выборок). Отличие же результатов, полученных этими двумя методами, заключалось в меньшем количестве достоверных различий при использовании критерия Вилкоксона. Т.е., этот метод позволяет выявить статистические различия в амплитуде компонентов вызванных потенциалов, которые имеют большую статистическую значимость, и исключить результаты, находящиеся на уровне тенденции к различиям.

Таким образом, было принято решение в последующих обработках данных использовать непараметрический статистический критерий Вилкоксона.

### **3.1.3. Зависимость латентных периодов основных компонентов вызванных потенциалов от характеристик стимула и от инструкции**

Среднее время реакции испытуемых во время выполнения исследования при нажатии на кнопку составило  $661 \pm 227$  мс. Средняя вероятность правильности ответов составила  $95 \pm 3\%$ . Среднее время реакции испытуемых во второй серии исследований составило  $503 \pm 145$  мс. Средняя вероятность правильности ответов составила  $97 \pm 3\%$ . Т.е., среднее время реакции во 2-м исследовании (с инструкцией по распознаванию четких и размытых изображений) оказалось значимо меньше, чем в 1-м исследовании (с инструкцией по распознаванию четких и размытых изображений) на 158 мс ( $***p < 0,001$ , t критерий для зависимых выборок). При визуальном анализе усредненных кривых вызванных потенциалов также заметно уменьшение латентных периодов поздних компонентах вызванных потенциалов (компонент P500), в то время как латентные

периоды ранних компонентов не отличаются (волны с латентным периодом 100 и 170 мс) (рисунок 13, 14).

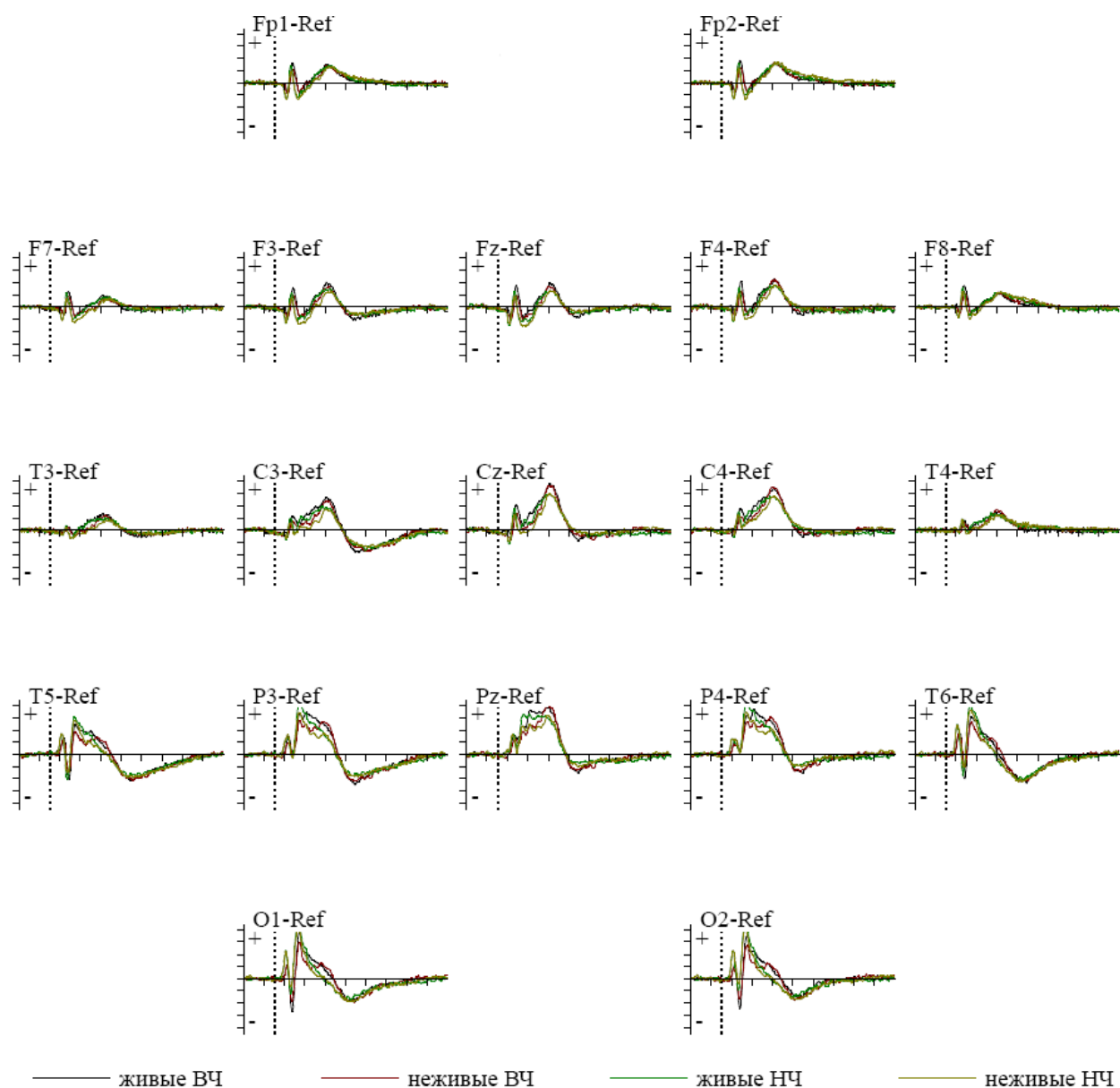


Рисунок 13. Усредненные вызванные потенциалы в различные интервалы времени. Инструкция испытуемым – различение семантических признаков в изображениях («живой/неживой»). По оси ординат – амплитуда (мкВ), по оси абсцисс – время (мс).

Черная линия – вызванные потенциалы на изображения живой природы, отфильтрованные на высоких пространственных частотах.

Красная линия – вызванные потенциалы на изображения неживой природы, отфильтрованные на высоких пространственных частотах.

Темно-зеленая линия – вызванные потенциалы на изображения живой природы, отфильтрованные на низких пространственных частотах.

Светло-зеленая линия – вызванные потенциалы на изображения неживой природы, отфильтрованные на низких пространственных частотах.

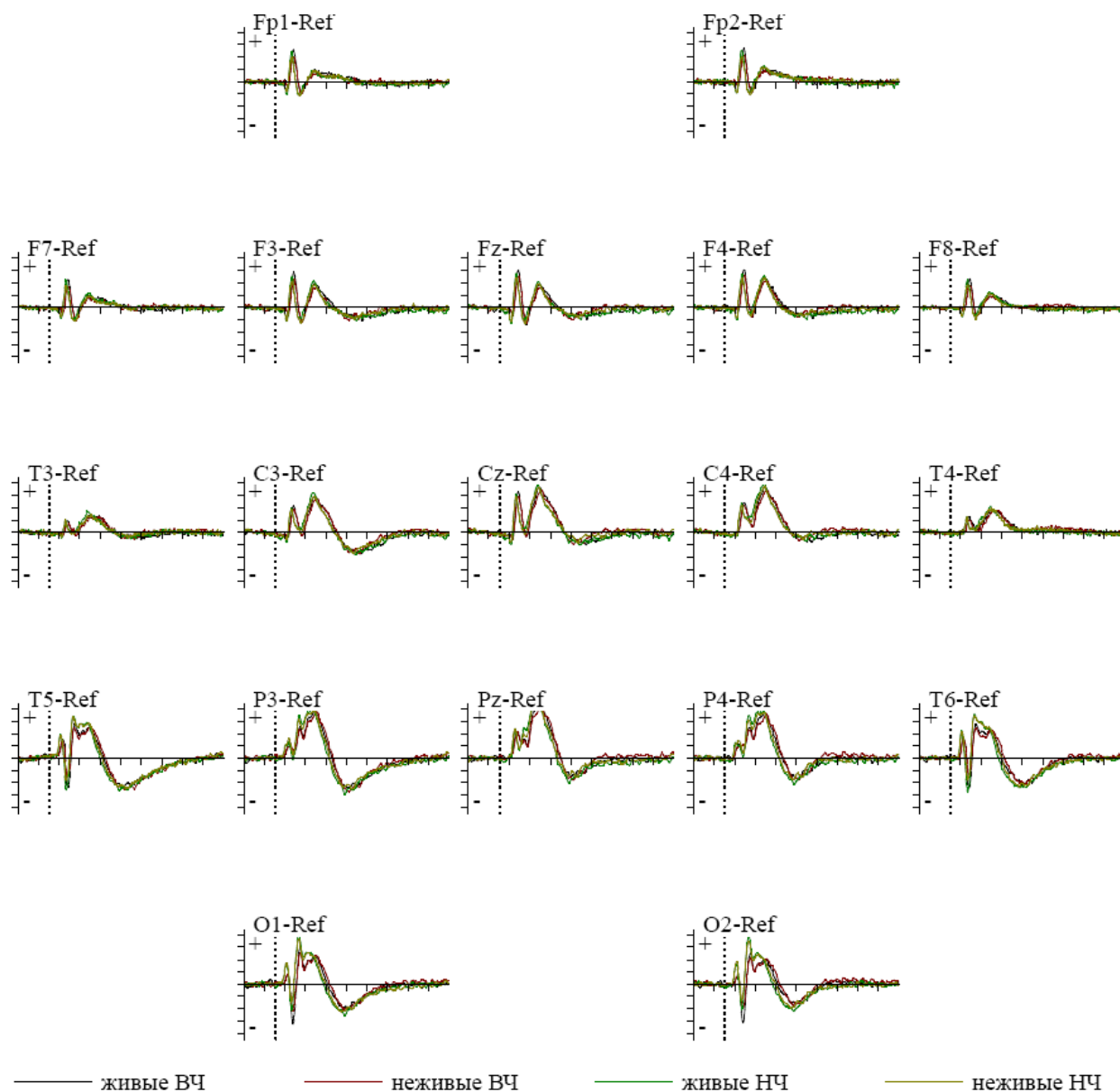


Рисунок 14. Усредненные вызванные потенциалы в различные интервалы времени. Инструкция испытуемым – различение пространственно-частотных

свойств изображений («четкий/размытый»). По оси ординат – амплитуда (мкВ), по оси абсцисс – время (мс).

Черная линия – вызванные потенциалы на изображения живой природы, отфильтрованные на высоких пространственных частотах.

Красная линия – вызванные потенциалы на изображения неживой природы, отфильтрованные на высоких пространственных частотах.

Темно-зеленая линия – вызванные потенциалы на изображения живой природы, отфильтрованные на низких пространственных частотах.

Светло-зеленая линия – вызванные потенциалы на изображения неживой природы, отфильтрованные на низких пространственных частотах.

При сравнении **средних значений** латентных периодов компонентов вызванных потенциалов было показано, что относительно ранние компоненты зависят от пространственной частоты стимула, в то время как более поздние волны зависят от инструкции данной наблюдателю. Различия в семантическом содержании изображений не влияли на латентные периоды вызванных потенциалов. Латентный период ранних волн вызванных потенциалов (до 300 мс) был меньше при предъявлении стимулов, отфильтрованных по низкой пространственной частоте, по сравнению с предъявлением высокочастотных изображений. Это различие наблюдали во всех отведениях. Разница между ответами на изображения стимулов, отфильтрованных на низкой и на высокой пространственных частотах варьировала от 8 до 16 мс в исследованиях с 1-й и 2-й инструкцией и изменялась в направлении от затылочных областей к лобным (таблица 1).



Таблица 1. Сравнительный анализ усредненных латентных периодов на низкочастотные и высокочастотные стимулы по всем испытуемым в обоих исследованиях на ранних (100, 170 мс) и поздних (500 мс) компонентах вызванных потенциалов.

100 мс	латентные периоды, мс				разница в мс
	Стимулы				
Отведения	ВЧ изображения		НЧ изображения		между ср.зн.
	средн.знач.	стандарт. ошибка	средн.знач.	стандарт. ошибка	на ВЧ и НЧ стимулы
<b>Fz</b>	134	6	121	5	13
<b>Cz</b>	127	8	117	7	10
<b>Oz</b>	117	10	112	7	5

170 мс	латентные периоды, мс				разница в мс
	Стимулы				
Отведения	ВЧ изображения		НЧ изображения		между ср.зн.
	средн.знач.	стандарт. ошибка	средн.знач.	стандарт. ошибка	на ВЧ и НЧ стимулы
<b>Fz</b>	188	7	172	2	16
<b>Cz</b>	186	8	170	8	16
<b>Oz</b>	174	8	166	6	8
<b>T5</b>	184	7	173	6	11
<b>T6</b>	186	7	175	6	11

500 мс	латентные периоды, мс				разница в мс
	Стимулы				
Отведения	ВЧ изображения		НЧ изображения		между ср.зн.
	средн.знач.	стандарт. ошибка	средн.знач.	стандарт. ошибка	на ВЧ и НЧ стимулы
<b>Cz</b>	483	36	469	44	14
<b>Fz</b>	470	36	461	39	9
<b>Pz</b>	442	37	427	38	15

В результате проведенного смешанного дисперсионного анализа латентных периодов вызванных потенциалов в пределах каждого исследования по отдельности были установлены значимые различия (\* $p < 0,05$ , \*\* $p < 0,01$ , \*\*\* $p < 0,001$ ) по пространственно-частотным признакам изображений во 2-м исследовании - в лобных, в центральных, в височных и в затылочных областях мозга (100 и 170 мс), за исключением теменных и лобных областей (500 мс) (таблица 2). В 1-м исследовании были установлены значимые различия по пространственно-частотным признакам изображений в этих же областях мозга, за исключением ранних компонентов (100 мс) в затылочных отведениях и поздних компонентов (500 мс) в центральных отведениях. По семантическим признакам во 2-м исследовании значимых различий установлено не было, а в 1-м исследовании были выявлены различия в лобных областях мозга в поздних компонентах вызванных потенциалов (500 мс). Следует отметить, что при анализе латентных периодов в пределах каждой инструкции по отдельности в исследовании с 1-й инструкцией латентный период поздних компонентов (500 мс) в центральных областях не зависел от пространственно-частотных признаков изображений, в отличие от исследования с 1-й инструкцией. Латентный период анализируемых волн в обоих исследованиях при предъявлении стимулов, отфильтрованных по

низкой пространственной частоте, был меньше, чем при предъявлении стимулов, отфильтрованных по высокой пространственной частоте.

Таблица 2. Результаты Post hoc сравнений (тест Бонферрони) латентных периодов в дисперсионном анализе на низкочастотные и высокочастотные стимулы по всем испытуемым в обоих исследованиях на ранних (100, 170 мс) и поздних (500 мс) компонентах вызванных потенциалов.

Отведен ия	Компоне нты	Инструкция 1				Инструкция 2			
		ЖВЧ & НЖВЧ	ЖВЧ & ЖНЧ	НЖВЧ & НЖНЧ	ЖНЧ & НЖНЧ	ЖВЧ & НЖВЧ	ЖВЧ & ЖНЧ	НЖВЧ & НЖНЧ	ЖНЧ & НЖНЧ
Fz	P100	0,272	***<0,001	***<0,001	0,064	0,508	***<0,001	***<0,001	0,479
Fz	P170	0,141	***<0,001	***<0,001	0,691	0,341	***<0,001	***<0,001	0,323
Oz	P100	0,548	0,339	0,667	0,126	0,548	0,129	*0,022	0,88
Cz	N100	0,749	*0,028	**0,003	0,763	0,457	***0,005	***<0,001	0,888
Oz	N170	0,56	***<0,001	0,228	0,125	0,929	***<0,001	*0,019	0,49
Cz	P170	0,248	*0,012	***<0,001	0,148	0,756	***<0,001	***<0,001	0,217
T5	N170	0,219	***<0,001	***0,002	0,773	0,908	***<0,001	**0,003	1
T6	N170	0,882	***<0,001	***<0,001	0,114	0,458	***<0,001	***<0,001	0,247
Pz	P500	0,215	*0,034	0,778	0,213	0,132	0,68	0,064	0,161
Cz	P500	0,284	0,098	0,494	0,112	0,927	*0,033	*0,017	0,82
Fz	P500	0,47	*0,023	0,313	**0,004	0,888	0,316	0,288	0,984

ЖВЧ, НЖВЧ, ЖНЧ, НЖНЧ — категории стимулов изображений

\* $p < 0,05$ , \*\* $p < 0,01$ , \*\*\* $p < 0,001$

Результаты в таблице представлены в рамках сравнения латентных периодов на разные категории стимулов в пределах каждого исследования по отдельности.

Таблица 3. Результаты смешанного дисперсионного анализа - Mixed ANOVA при исследовании влияния вида изображения и типа инструкции. Главные эффекты.

		<b>Tests of Within-Subjects Effects</b>
		Тесты внутрисубъектных эффектов
<b>Отведения</b>	<b>Компоненты</b>	<b>Изображение</b>
<b>Fz</b>	<b>P500</b>	$F(3, 120) = 2,556, p=0,059+$
<b>Cz</b>	<b>P500</b>	$F(2,6, 103,4) = 3,665, p=0,019 \#$
<b>Pz</b>	<b>P500</b>	$F(2,6, 102,5) = 4,99,$ $**p=0,005\#$
<b>Fz</b>	<b>P170</b>	$F(2,4, 96,6)=71,266,$ $***p<0,001 \#$
<b>Cz</b>	<b>P170</b>	$F(3, 120) = 40,046, ***p<0,001$
<b>Oz</b>	<b>N170</b>	$F(2,1, 85,7) = 15,47, p<0,001\#$
<b>T5</b>	<b>N170</b>	$F(2,3, 92,3) = 22,17,$ $***p<0,001\#$
<b>T6</b>	<b>N170</b>	$F(1,8, 73,3) = 48,20,$ $***p<0,001\#$
<b>Fz</b>	<b>N100</b>	$F(2,3, 90,9)= 58,431,$ $***p<0,001 \#$
<b>Cz</b>	<b>N100</b>	$F(3, 120) = 13,466, ***p<0,001$
<b>Oz</b>	<b>P100</b>	$F(2,4, 94,4) = 2,9, p=*0,05\#$

Обозначения: \* –  $p<0,05$ , \*\* –  $p<0,01$ , \*\*\* –  $p<0,001$

# используется тест Greenhouse-Geisser, поскольку значим тест сферичности (Mauchly's Test of Sphericity). В остальных случаях используется тест Sphericity Assumed.

В результате проведенного **смешанного дисперсионного анализа** значимые различия ( $***p < 0,001$ ) **между 2-мя исследованиями** были выявлены только в центральном отведении Cz, теменном отведении Pz и лобном отведении Fz (компонент P500) по пространственно-частотным и по семантическим признакам. Т.е., из выбранных компонентов для анализа только компонент P500 в отведениях Fz, Cz и Pz был связан со сменой инструкции наблюдателю. Направление изменения латентного периода совпадает с направлением изменений времени реакции при смене инструкции. Так, в задачах категоризации по семантическим признакам время реакции было в среднем на 160 мс больше, чем в задачах категоризации по физическим характеристикам. Увеличение времени реакции при наблюдении одних и тех стимулов говорит об увеличении сложности задачи. Увеличение латентного периода волны P500 при этой инструкции предполагает, что она отражает процессы подготовки моторного ответа.

Таким образом, анализ латентных периодов вызванных потенциалов показал, что относительно ранние компоненты зависят от пространственной частоты стимула, в то время как более поздние волны зависят от инструкции, данной наблюдателю. Латентный период ранних волн вызванных потенциалов (до 300 мс) был меньше при предъявлении стимулов, отфильтрованных по низкой пространственной частоте, по сравнению с предъявлением стимулов, отфильтрованных на высокой пространственной частоте в пределах от 8 до 16 мс. Эта разница в значениях изменялась в направлении от затылочных областей к лобным.

При сравнении **корреляционных связей между исследованиями с 2-мя** различными инструкциями было показано, что семантическое содержание изображений влияло только на корреляционные связи латентных периодов вызванных потенциалов в нижневисочном отведении левого полушария (отведение T5, компонент N170), в центральном отведении Cz (компонент N100). А пространственно-частотные характеристики изображений влияли на изменение корреляционных связей латентных периодов вызванных потенциалов в височном

отведении T5 (компонент N170), в затылочном отведении Oz (компонент N170), в центральном отведении Cz и в лобном отведении Fz (компонент N100) и в теменном отведении Pz (компонент P300-500) (таблица 3, 4).

Таблица 4. Корреляционный анализ по критерию Пирсона латентных периодов компонентов вызванных потенциалов.

Исследование с 1-й инструкцией.

Отведения	Cz				Oz			
	физические		семантические		физические		семантические	
характ. избр.	ЖВЧ/ЖНЧ	НЖВЧ/НЖНЧ	ЖВЧ/НЖВЧ	ЖНЧ/НЖНЧ	ЖВЧ/ЖНЧ	НЖВЧ/НЖНЧ	ЖВЧ/НЖВЧ	ЖНЧ/НЖНЧ
компоненты	ЖВЧ/ЖНЧ	НЖВЧ/НЖНЧ	ЖВЧ/НЖВЧ	ЖНЧ/НЖНЧ	ЖВЧ/ЖНЧ	НЖВЧ/НЖНЧ	ЖВЧ/НЖВЧ	ЖНЧ/НЖНЧ
100*	0,46	0,701	0,642	0,864	0,437	0,637	0,609	0,613
170*	0,47	0,642	0,767	0,695	0,755	0,429	0,677	0,64
500*	0,813	0,89	0,769	0,795				
Отведения	T5				T6			
характ. избр.	физические		семантические		физические		семантические	
компоненты	ЖВЧ/ЖНЧ	НЖВЧ/НЖНЧ	ЖВЧ/НЖВЧ	ЖНЧ/НЖНЧ	ЖВЧ/ЖНЧ	НЖВЧ/НЖНЧ	ЖВЧ/НЖВЧ	ЖНЧ/НЖНЧ
170*	0,722	0,26	0,022	0,656	0,873	0,729	0,976	0,874
Отведения	Fz				Pz			
характ. избр.	физические		семантические		физические		семантические	
компоненты	ЖВЧ/ЖНЧ	НЖВЧ/НЖНЧ	ЖВЧ/НЖВЧ	ЖНЧ/НЖНЧ	ЖВЧ/ЖНЧ	НЖВЧ/НЖНЧ	ЖВЧ/НЖВЧ	ЖНЧ/НЖНЧ
100*	0,719	0,567	0,809	0,567				
170*	0,47	0,642	0,767	0,695				
500*	0,759	0,501	0,809	0,729	0,852	0,930	0,880	0,831

Таблица 5. Корреляционный анализ по критерию Пирсона латентных периодов компонентов вызванных потенциалов.

Исследование со 2-й инструкцией.

Отведения	Cz				Oz			
характ. изобр.	физические		семантические		физические		семантические	
компоненты	ЖВЧ/ЖНЧ	НЖВЧ/НЖНЧ	ЖВЧ/НЖВЧ	ЖНЧ/НЖНЧ	ЖВЧ/ЖНЧ	НЖВЧ/НЖНЧ	ЖВЧ/НЖВЧ	ЖНЧ/НЖНЧ
100*	0,456	0,598	0,26	0,589	0,537	0,52	0,847	0,654
170*	0,613	0,688	0,717	0,848	0,865	0,832	0,926	0,823
500*	0,724	0,869	0,92	0,864				
Отведения	T5				T6			
характ. изобр.	физические		семантические		физические		семантические	
компоненты	ЖВЧ/ЖНЧ	НЖВЧ/НЖНЧ	ЖВЧ/НЖВЧ	ЖНЧ/НЖНЧ	ЖВЧ/ЖНЧ	НЖВЧ/НЖНЧ	ЖВЧ/НЖВЧ	ЖНЧ/НЖНЧ
170*	0,715	0,647	0,842	0,737	0,575	0,795	0,899	0,897
Отведения	Fz				Pz			
характ. изобр.	физические		семантические		физические		семантические	
компоненты	ЖВЧ/ЖНЧ	НЖВЧ/НЖНЧ	ЖВЧ/НЖВЧ	ЖНЧ/НЖНЧ	ЖВЧ/ЖНЧ	НЖВЧ/НЖНЧ	ЖВЧ/НЖВЧ	ЖНЧ/НЖНЧ
100*	0,43	0,599	0,676	0,698				
170*	0,613	0,688	0,717	0,848				
500*	0,71	0,835	0,815	0,825	0,425	0,407	0,898	0,571

**100\*** - Латентные периоды компонентов вызванных потенциалов.

Примечание.

В таблицах представлены высокие корреляционные связи ( $p > 0,05$ ), полученные при анализе латентных периодов вызванных потенциалов (отмечены зеленым цветом). В затылочном (Oz), в центральном (Cz) и лобном (Fz) отведениях анализировался компонент с латентным периодом 100 мс. В затылочном (Oz), в центральном (Cz), в лобном (Fz) и в височных (T5, T6) отведениях анализировался компонент с латентным периодом 170 мс. В центральном (Cz), теменных (Pz) и лобных (Fz) областях отведении анализировался компонент с латентным периодом 500 мс.

Если сопоставить результаты, представленные на всех таблицах, то можно заметить, что в каждом исследовании на латентные периоды ранних компонентов (до 170 мс) вызванных потенциалов больше влияют пространственно-частотные характеристики изображений, а латентные периоды поздних компонентов (450-500 мс) полностью зависят от инструкции наблюдателю.

Таким образом, инструкция наблюдателю влияет на величину латентных периодов компонентов вызванных потенциалов и на корреляционные связи между ними в центральных, в затылочных и в височных областях мозга. Это

говорит о том, что, в зависимости от поставленной перед наблюдателем задачи, происходит согласованное перераспределение нейронных сетей в различных областях мозга.

### **3.1.4. Влияние обучения на характеристики вызванных потенциалов в задачах классификации**

Во 2-м исследовании (инструкция «четкий-размытый») принимали участие испытуемые, пришедшие на исследование впервые и испытуемые, которые участвовали повторно в исследовании, т.е., они участвовали в исследовании, когда нужно было классифицировать изображения на «живые/неживые» из того же набора стимулов.

Для того, чтобы проверить имело ли место влияние обучения на результаты исследования вследствие повторного участия в исследовании с тем же набором изображений стимулов, были разделены испытуемые на группы участвующих в исследовании впервые (12 человек) и повторно (8 человек). Полученные результаты представлены на рисунках 15 и 16.





**Рисунок 15. Сравнительный анализ амплитуды вызванных потенциалов в различные интервалы времени (12 человек, участвующих впервые в исследовании). Инструкция испытуемым – различение пространственно-частотных свойств изображений («четкий-размытый»). Полярность компонентов вызванных потенциалов обозначена на рисунке цветом: красный цвет – волны положительной полярности, синий – волны отрицательной полярности.**

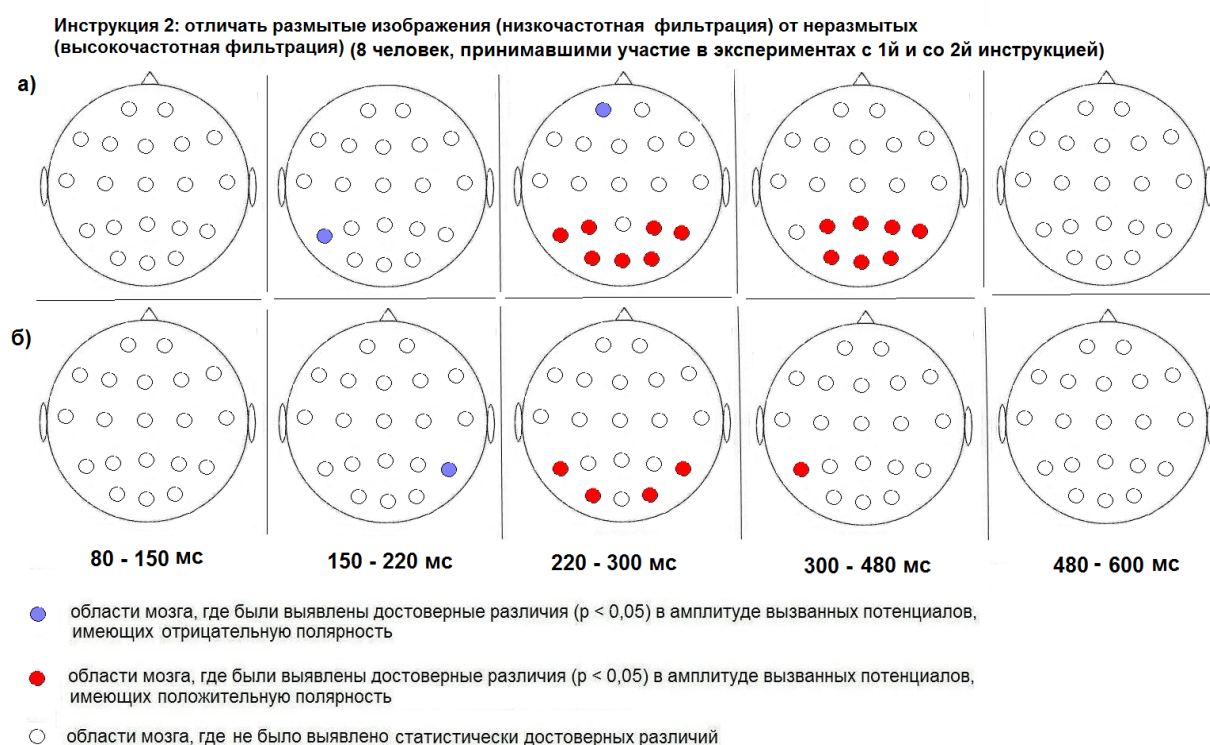


Рисунок 16. Сравнительный анализ амплитуды вызванных потенциалов в различные интервалы времени (8 человек, участвующих повторно в исследовании). Инструкция испытуемым – различение пространственно-частотных свойств изображений («четкий-размытый»). Полярность компонентов вызванных потенциалов обозначена на рисунке цветом: красный цвет – волны положительной полярности, синий – волны отрицательной полярности.

Исходя из рисунков 15 и 16 видно, что при повторном участии в исследовании (рисунок 16) в компоненте P100 и N100 во всех областях мозга нет различий в амплитуде. В лобной коре в компоненте P200 и височной, затылочной коре в компоненте N170 также нет достоверных различий по амплитуде (за исключением височного отведения). В поздних компонентах P250 в затылочной и височной коре появляются различия в амплитуде на изображения живой и неживой природы, а в компоненте P300 – на четкие и размытые изображения в теменной коре и на изображения живой и неживой природы в левой нижневисочной области мозга.

Таким образом, можно предположить, что при повторном участии в исследовании различия в амплитуде вызванных потенциалов на разные типы стимулов по семантическим признакам (живой-неживой объект) смещаются с более ранних компонентов N170 и P200 к более поздним компонентам P250 и P300. Подобное явление происходит и с компонентами N100 и P100, N170 и P200 при повторном участии испытуемых в исследовании. Т.е., различия в амплитуде вызванных потенциалов по пространственно-частотным признакам изображений пропадают на ранних компонентах вызванных потенциалов и остаются только различия в более поздних компонентах P250 и P300. Это говорит о том, что ранние компоненты вызванных потенциалов больше связаны с обучением, сформированным повторным участием испытуемых в исследовании, чем более поздние компоненты P250 и P300.

### 3.1.5. Характеристики вызванных потенциалов в задачах классификации изображений по пространственно-частотным признакам (на новой выборке испытуемых)

Для того, чтобы полученные результаты были сопоставимы с результатами исследования с 1-й инструкцией выборку увеличили на 9 испытуемых, которые приходили на исследование впервые, и усреднили с результатами испытуемых, ранее участвовавших в исследовании впервые.

Полученные результаты представлены на рисунке 17.

**Инструкция 2: отличать размытые изображения (низкочастотная фильтрация) от неразмытых (высокочастотная фильтрация)**

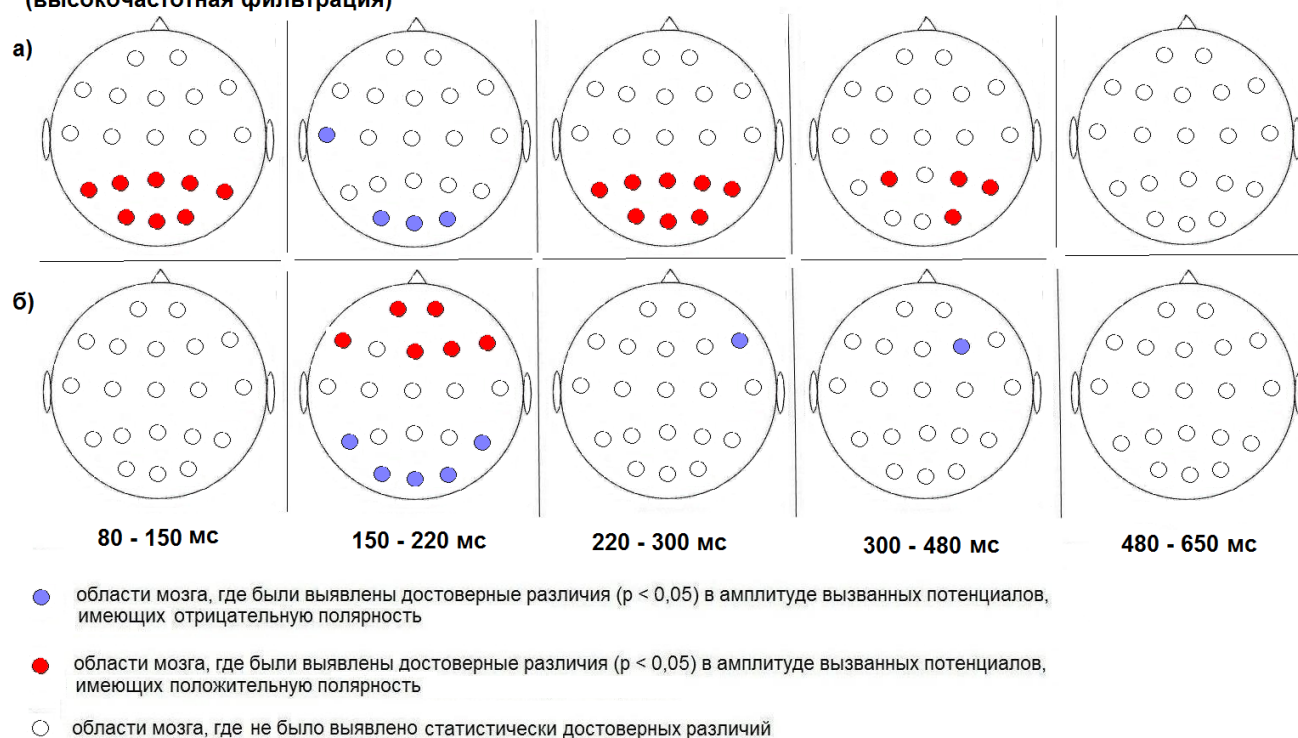


Рисунок 17. Сравнительный анализ амплитуды компонентов вызванных потенциалов в различные интервалы времени. Инструкция испытуемым – различение пространственно-частотных свойств изображений («четкий-размытый»). а) различия в амплитуде по физическим признакам; б) различия в амплитуде по семантическим признакам. Полярность компонентов вызванных

потенциалов обозначена на рисунке цветом: красный цвет – волны положительной полярности, синий – волны отрицательной полярности.

На рисунке 17 изображены результаты анализа вызванных потенциалов, зарегистрированных у 21-го испытуемого во время выполнения задачи классификации изображений по физическим признакам «четкий - размытый» объект.

Среднее время реакции испытуемых во время выполнения исследования при нажатии на кнопку составило  $463 \pm 101$  мс. Средняя вероятность правильности ответов составила  $98 \pm 0,5\%$ .

Так же, как в исследованиях с 1-й инструкцией («живой-неживой» объект), самые ранние компоненты вызванных потенциалов P100 и N100 зависели только от пространственной частоты стимулов в затылочной, теменной и височных областях мозга. Амплитуда этих волн во всех областях мозга была выше в ответ на предъявление низкочастотных изображений.

Компоненты P200 и N170 зависели от семантических свойств изображений в височных областях и от семантических и физических признаков изображений в затылочных областях и от семантических признаков в лобных областях.

Компоненты P250, N250 и P300 в теменных, височных и затылочных областях зависели только от пространственно-частотных свойств изображений, за исключением лобных областей, в которых амплитуда этих компонентов зависела только от семантических характеристик изображений. Аналогично, компонентам P100 и N100 амплитуда волн P250 и N250 и P300 в затылочных, височных и теменных областях была выше в ответ на предъявление низкочастотных изображений.

В компоненте P500 в этой серии исследований амплитуда не различалась на разные характеристики стимулов.

На рисунке 18 и 19 изображены усредненные вызванные потенциалы лобное F7 и височные T5 отведения при разных инструкциях испытуемым: инструкция 1 классифицировать по принципу «живой-неживой» объект (рисунок

18а), инструкция 2 классифицировать по принципу «четкий-размытый» объект (рисунок 18б).

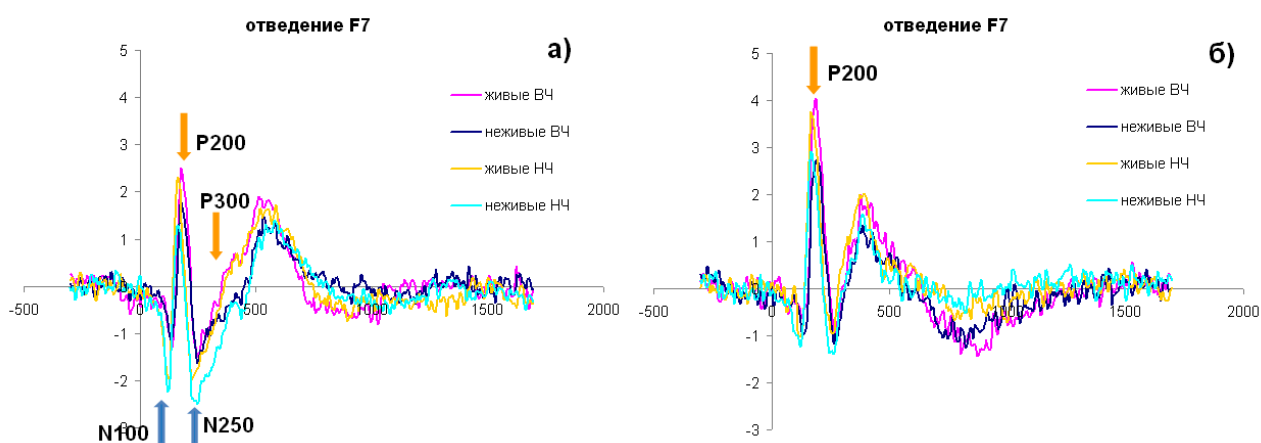


Рисунок 18. Усредненные вызванные потенциалы по 21 испытуемому (лобное F7 и височные T5 отведения) при разных инструкциях испытуемым.

а) инструкция 1: классифицировать по принципу «живой-неживой» объект. б) инструкция 2: классифицировать по принципу «четкий-размытый» объект. Синими стрелками показаны достоверные различия по физическим признакам объектов, а оранжевыми по семантическим характеристикам. Буквами с цифрами обозначены названия компонентов вызванных потенциалов. По оси ординат – амплитуда (мкВ), по оси абсцисс – время (мс).

Синяя линия – вызванные потенциалы на изображения живой природы, отфильтрованные по высоким пространственным частотам.

Розовая линия – вызванные потенциалы на изображения живой природы, отфильтрованные по высоким пространственным частотам.

Желтая линия – вызванные потенциалы на изображения живой природы, отфильтрованные по низким пространственным частотам.

Голубая линия – вызванные потенциалы на изображения неживой природы, отфильтрованные по низким пространственным частотам.

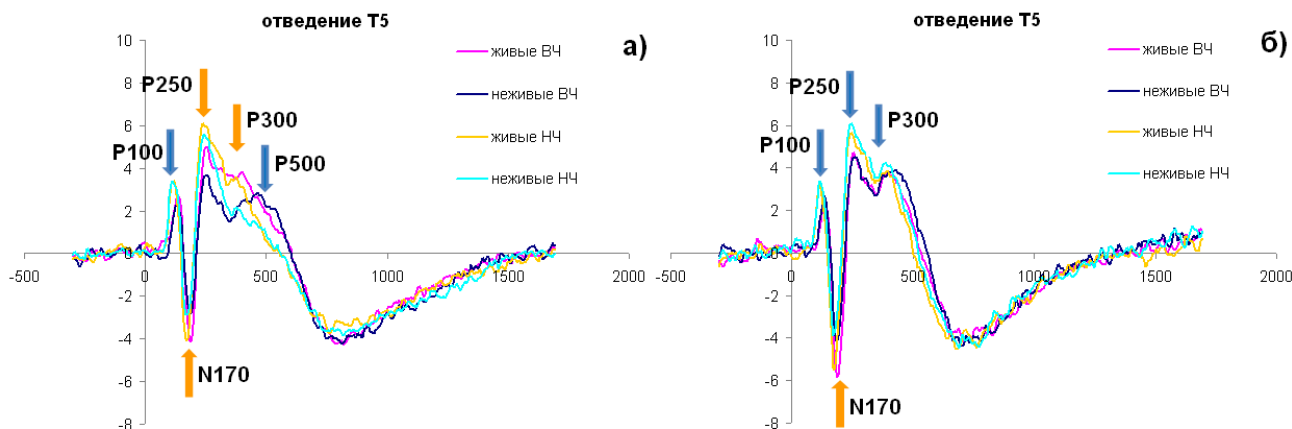


Рисунок 19. Усредненные вызванные потенциалы по 21 испытуемому (лобное F7 и височное T5 отведения) при разных инструкциях испытуемым.

а) инструкция 1: классифицировать по принципу «живой-неживой» объект. б) инструкция 2: классифицировать по принципу «четкий-размытый» объект. Синими стрелками показаны достоверные различия по физическим признакам объектов, а оранжевыми - по семантическим характеристикам. Буквами с цифрами обозначены названия компонентов вызванных потенциалов. По оси ординат – амплитуда (мкВ), по оси абсцисс – время (мс).

Синяя линия – вызванные потенциалы на изображения неживой природы, отфильтрованные по высоким пространственным частотам.

Розовая линия – вызванные потенциалы на изображения живой природы, отфильтрованные по высоким пространственным частотам.

Желтая линия – вызванные потенциалы на изображения живой природы, отфильтрованные по низким пространственным частотам.

Голубая линия – вызванные потенциалы на изображения неживой природы, отфильтрованные по низким пространственным частотам.

При сравнении результатов 1-й («живой-неживой» объект) и 2-й («четкий-размытый» объект) серии исследований было показано, что независимо от поставленной инструкции наблюдателю в обоих исследованиях активировались затылочные, нижневисочные области в компоненте N170 и лобные области мозга

в компоненте P200 на семантические характеристики изображений, т.е. при классификации по признакам «живой/неживой» объект (рисунок 20).

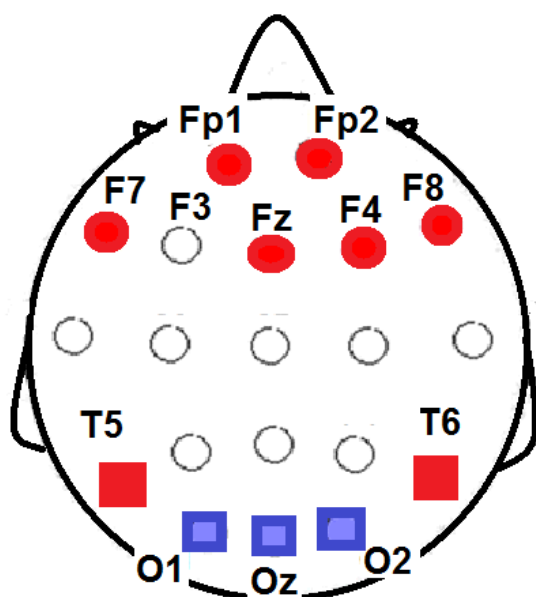


Рисунок 20. Локализация положения электродов при регистрации вызванных потенциалов мозга. Синими квадратами отмечены положения электродов, от которых компоненты (N170) вызванных потенциалов различаются по амплитуде. Различия имеются как на физические («размытый/четкий» объект), так и на семантические («живой/неживой» объект) характеристики стимулов. Красным цветом отмечены электроды, вызванные потенциалы от которых отличаются только по семантике (квадраты - компоненты N170, а круги - компоненты P200).

Более подробные результаты в графическом виде представлены в приложения (Приложения А - Г).

Таким образом, так же, как и в первом исследовании, наблюдалась тенденция к увеличению амплитуды вызванных потенциалов в ответ на предъявление низкочастотных изображений объектов, но они встречались реже, чем в 1-м исследовании. В компонентах N170 и P200 в височных, затылочных и лобных областях амплитуда вызванных потенциалов различалась на стимулы с разными семантическими характеристиками изображений. Т.е., на основании

полученных результатов первого и второго исследования можно предположить, что в этих областях происходила «осознанная» и «неосознанная» классификация изображений по семантическим признакам («живой-неживой» объект) независимо от поставленной инструкции наблюдателю и активировались области мозга, связанные с произвольным и непроизвольным вниманием. Таким образом, можно предположить, что в исследовании с 1-й инструкцией происходила параллельная обработка наблюдаемого сигнала по разным семантическим и физическим признакам изображений. Это видно из полученных карт активности мозга с достоверными различиями на разные типы стимулов. В исследовании со 2-й инструкцией также происходила параллельная обработка, но по сравнению с первым были выделены отклики в затылочных, височных и лобных отделах мозга, связанные с семантикой изображений даже в том случае, когда задача испытуемого заключалась в классификации по физическим признакам изображений объектов. Т.е., с помощью инструкции можно управлять перераспределением активности в нейронных сетях головного мозга человека.

## **3.2. Исследование характеристик вызванных потенциалов в задачах классификации на пределе разрешения зрительной системы (в фовеоле)**

### **3.2.1. Механизмы классификации изображений, инвариантных к преобразованию масштаба. 3-я серия исследований**

Время реакции испытуемых составила  $1210 \pm 108$  мс. Вероятность правильных ответов испытуемых -  $87 \pm 2\%$ . На рисунке 21 указаны усредненные вызванные потенциалы по всем отведениям в разные интервалы времени при инструкции испытуемым отличать контурные изображения живой природы от неживой. А также показано, что в интервале 110 – 180 мс нет различий на разные типы стимулов. В интервале 180 - 250 мс выявлены различия в амплитуде на



изображения объектов живой и неживой природы в лобных отведениях. В интервале 250 – 350 мс – в центральных областях мозга. В интервале 350 – 530 мс - в центральных, теменных и височных областях

**Инструкция 3: отличать изображения живой природы от неживой (маленькие изображения)**

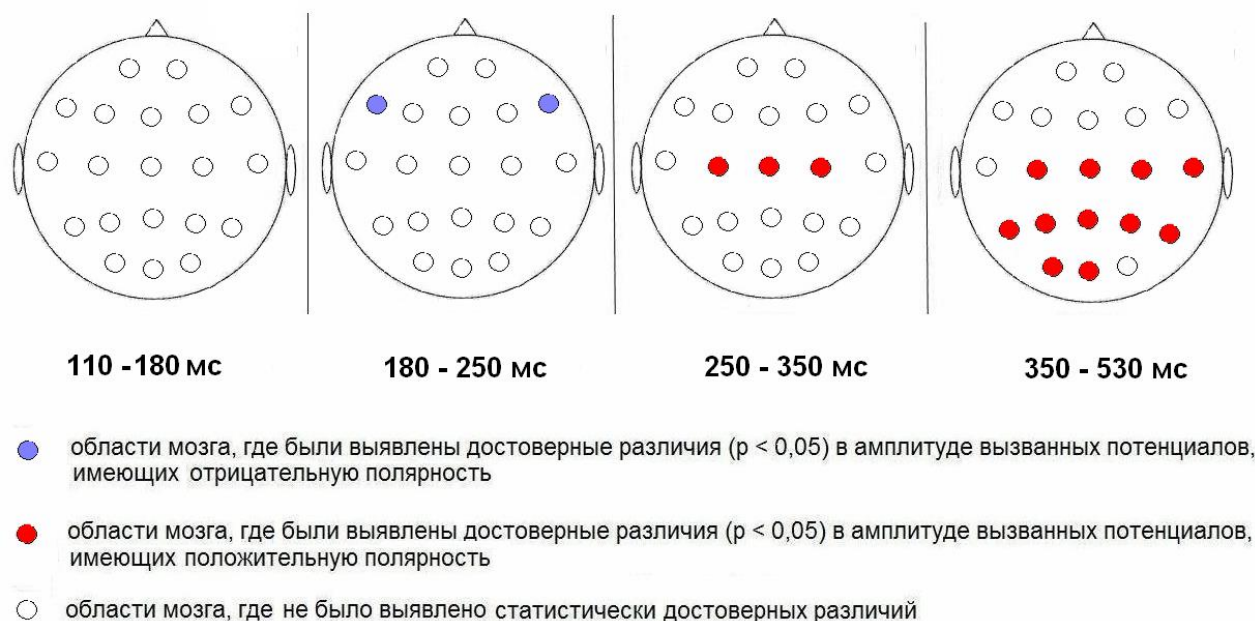


Рисунок 21. Сравнительный анализ амплитуды компонентов вызванных потенциалов в различные интервалы времени при инструкции испытуемым отличать изображения живой природы от неживой (стимулы – маленькие изображения). а) различия в амплитуде по физическим признакам; б) различия в амплитуде по семантическим признакам. Полярность компонентов вызванных потенциалов обозначена на рисунке цветом: красный цвет – волны положительной полярности, синий – волны отрицательной полярности.

Таким образом, если сопоставить результаты 1-го (инструкция «живой-неживой» объект, большие изображения) и 2-го исследований (инструкция «живой-неживой» объект, маленькие изображения), получается, в обеих сериях исследований амплитуда компонента P200 в лобных (отведения F7, F8) областях различается по семантическим признакам изображений («живой-неживой» объект). Амплитуда компонентов P250 в центральных областях мозга (C3, Cz, C4)

и амплитуда компонента P300 в центральных (C3,Cz,C4), теменных (P3,Pz,P4), височных (T5,T6,T4) и затылочных (O1,O2) областях мозга отличается по семантическим признакам изображений («живой-неживой» объект).

На рисунках 22 и 23 изображено лобное отведение F7 в 1-й серии исследований (1-я инструкция «живой-неживой», большие изображения), и 3-й серии исследований (3-я инструкция «живой-неживой», маленькие изображения).

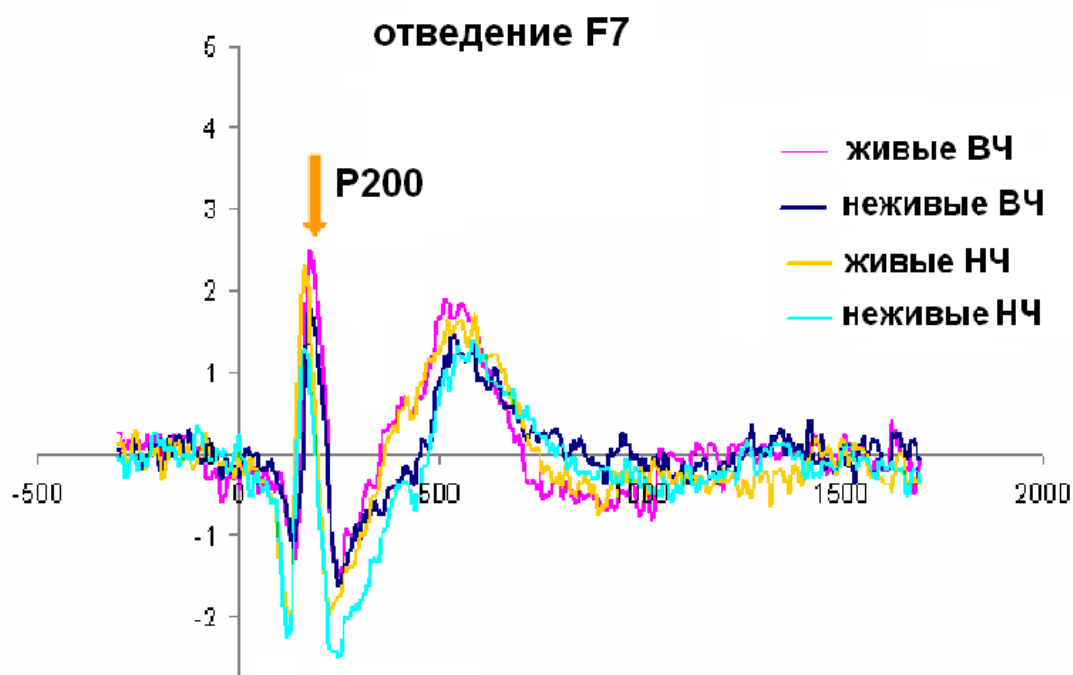


Рисунок 22. Усредненные вызванные потенциалы в 1-й серии исследований. (Инструкция - классифицировать изображения по принципу «живой-неживой» объект, большие изображения). Стрелкой показаны достоверные различия по амплитуде ( $p < 0,05$ ) в компоненте P200.

По оси ординат – амплитуда (мкВ), по оси абсцисс – время (мс).

Синяя линия – вызванные потенциалы на изображения неживой природы, отфильтрованные по высоким пространственным частотам.

Розовая линия – вызванные потенциалы на изображения живой природы, отфильтрованные по высоким пространственным частотам.

Желтая линия – вызванные потенциалы на изображения живой природы, отфильтрованные по низким пространственным частотам.

Голубая линия – вызванные потенциалы на изображения неживой природы, отфильтрованные по низким пространственным частотам.

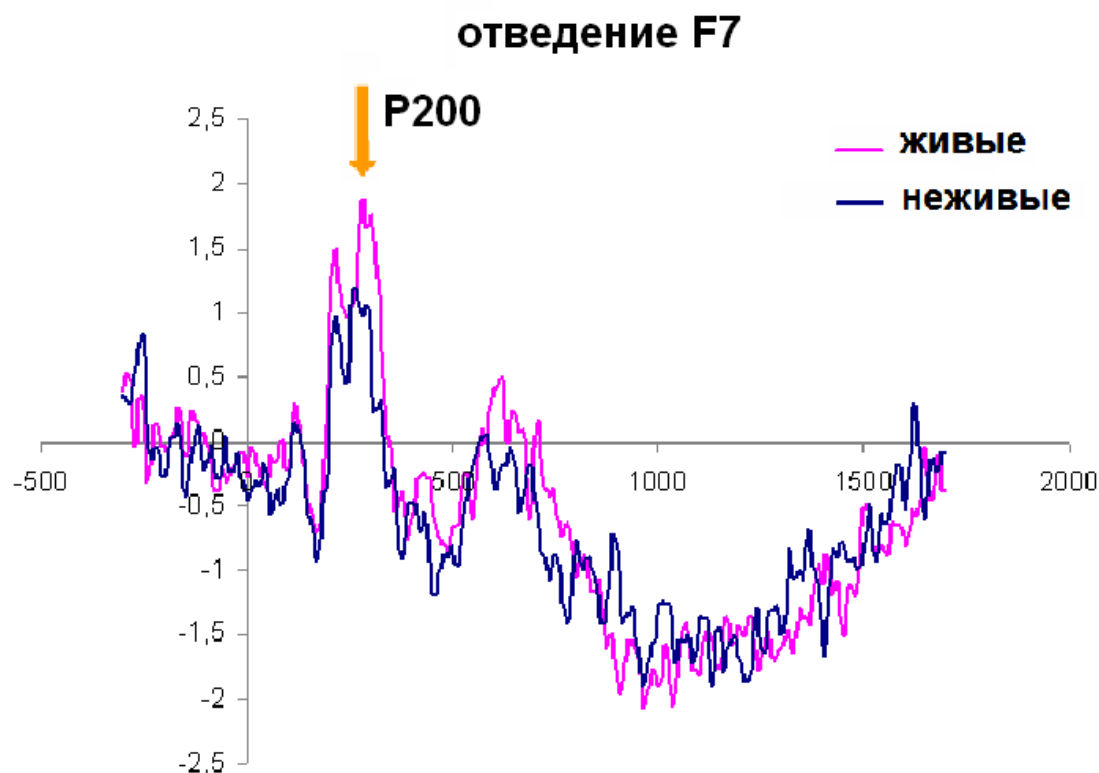


Рисунок 23. Усредненные вызванные потенциалы в 3-й серии исследований. (Инструкция - классифицировать изображения по принципу «живой-неживой» объект, маленькие изображения). Стрелкой показаны достоверные различия по амплитуде ( $p < 0,05$ ) в компоненте P200. По оси ординат – амплитуда (мкВ), по оси абсцисс – время (мс). Розовая линия - вызванные потенциалы на изображения стимулов живой природы. Синяя линия - вызванные потенциалы на изображения стимулов неживой природы.

Если сопоставить результаты 1-го и 3-го исследований, то получается, в обеих сериях исследований амплитуда компонента P200 в лобных (F7, F8) областях различалась по семантическим признакам («живой-неживой» объект) (рисунок 24).

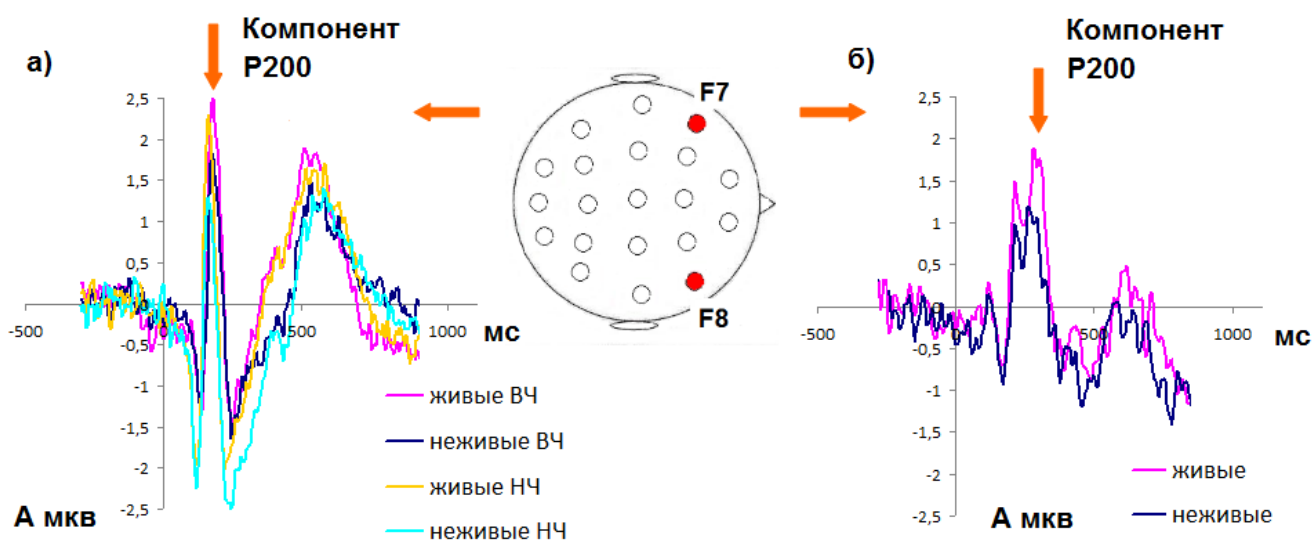


Рисунок 24. F7, F8 - локализация электродов, от которых получены отклики, отражающие семантическую классификацию объектов, инвариантно к их размеру. Вызванные потенциалы на большие изображения (а) и на маленькие изображения (б).

Известно, что у макак-резус в нижневисочной коре располагаются центры, связанные с инвариантным описанием изображений объектов (Праздникова, 1966; Яковлев, 1982). Вероятно, в установленных нами областях (лобной коре) также располагаются центры, связанные с инвариантным восприятием. А именно, с классификацией изображений по семантическим признакам независимо от размера изображения, предъявляемого на экране монитора.

Таким образом, на основании полученных результатов можно предположить, что нейронные сети лобной коры используют инвариантное описание изображений для обеспечения классификации объектов.

### **3.2.2. Влияние размера изображений стимулов на пассивное распознавание («неосознанную» классификацию). 4-я серия исследований**

При анализе результатов было показано, что в исходной группе испытуемых латентные периоды раннего компонента P100 в затылочных областях в отведении Oz коррелировали с диаметрами фовеол ( $r=0.74$ ,  $p<0.001$ ) по коэффициенту корреляции Спирмена (рисунок 25а).

Таким образом, диаметр фовеолы влиял на латентные периоды ранних волн зрительных вызванных потенциалов (компонент P100) в затылочных областях в отведении Oz при предъявлении испытуемым изображений шахматного паттерна в исходной группе испытуемых. Между амплитудой зрительных вызванных потенциалов и диаметром фовеол корреляции не было выявлено.

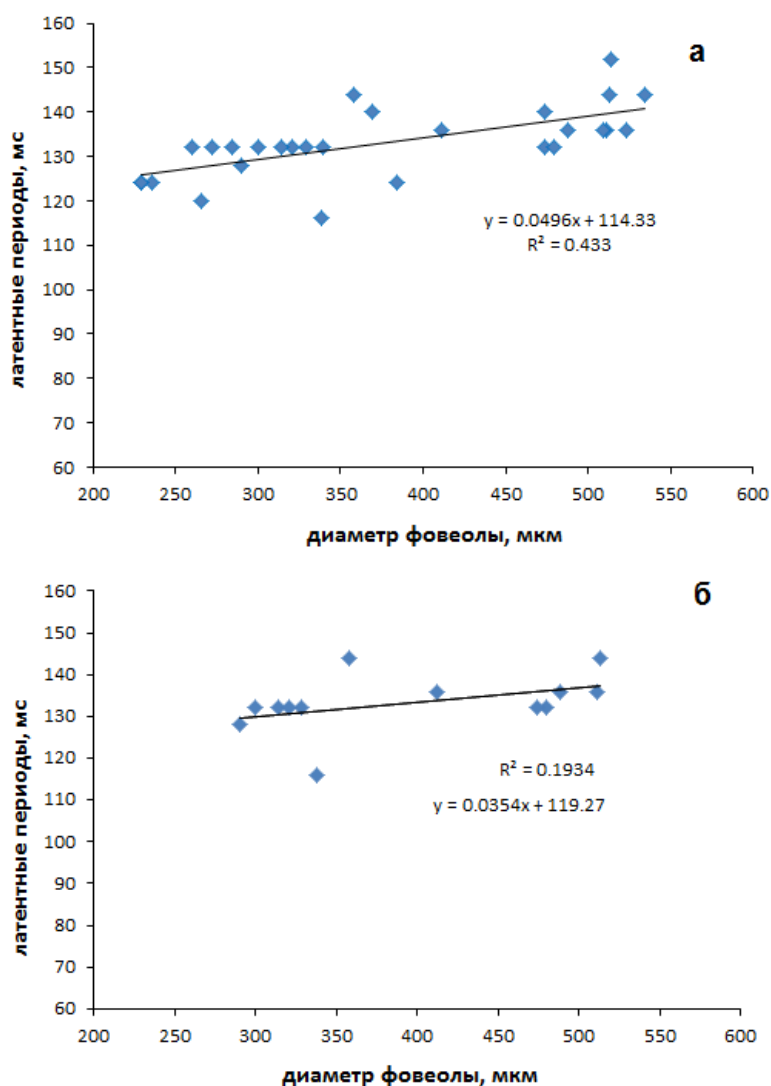


Рисунок 25. Зависимость латентных периодов вызванных потенциалов от диаметра фовеолы у испытуемых с эметропией на исходной выборке (а) и на отобранной по критериям группе (б).

В дальнейшем из исходной выборки была отобрана новая группа испытуемых (13 глаз), которая состояла из испытуемых с миопией (максимальная степень аметропии 1,0), испытуемых с эметропией и испытуемых с гиперметропией (максимальная степень аметропии 1,25) со значениями ПЗО глаза от 23,5 до 24,5 мм. Было выявлено, что между латентными периодами вызванных потенциалов и диаметрами фовеол также существует зависимость ( $r=0.65$ ,  $p=0.015$ ) по коэффициенту корреляции Спирмена (рисунок 25б). Помимо этого было установлено, что у испытуемых со значением рефракции

отклоняющихся в сторону испытуемых с гиперметропией размер фовеолы составлял от 290 до 412 мкм (или от 33 до 34 угл. мин.), а у испытуемых, с значением рефракции, отклоняющихся в сторону миопии – от 474 до 513 мкм (или от 49,2 до 53,4 угл. мин.). На основании результатов отобранной группы можно предположить, что у испытуемых с гиперметропией размер фовеолы меньше, чем у испытуемых с миопией.

Таким образом, на основании результатов настоящего исследования, полученных на испытуемых с эметропией, можно сделать вывод о том, что увеличение латентных периодов ранних вызванных потенциалов в затылочной коре в зависимости от увеличения диаметра фовеолы, видимо, связано с плотностью упаковки рецепторов в фовеоле. А это в свою очередь, влияет на скорость распознавания изображений объектов.

## ГЛАВА 4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

### **Исследование 1 и 2 (Исследование влияния инструкции наблюдателю на амплитуду вызванных потенциалов в задачах классификации изображений объектов в фовеа)**

При электрофизиологических исследованиях влияния инструкции для категоризации выраженности лицевой экспрессии было показано, что зрительная обработка чувствительна к взаимодействию между инструкцией наблюдателю и информацией о стимуле во временном интервале до 200 мс (Шелепин и др., 2009). Кроме этого, считалось, что компонент P300 отражает процесс сличения данного образа с образом в памяти, окончательного опознания и принятия решения относительно данного стимула. Компонент P300 представлен двумя субкомпонентами: компонентом P3a и компонентом P3b. Компонент P3a появляется во фронтальных областях мозга и связан с механизмами внимания и с требованиями поставленной задачи испытуемому. Компонент P3b возникает в височно-теменных областях и связан с процессом внимания и последующей работой памяти. Оба компонента появляются при решении задач на распознавание [Polich, 2007].

В данном исследовании было показано, что изменяется амплитуда нижневисочных, затылочных и лобных областей в интервале 170 мс на семантические характеристики изображений в обоих исследованиях вне зависимости от поставленной инструкции наблюдателю. Также было установлено, что процесс категоризации изображений по физическим свойствам изображений менее подвержен влиянию инструкции, чем категоризация изображений по семантическим признакам изображений [Moiseenko et al., 2013; Моисеенко и др., 2014]. Латентные периоды этого компонента между 2-мя исследованиями по семантическим признакам не различаются. Изменяется только



латентный период компонента P500 по семантическим и по физическим признакам.

В предыдущих наших исследованиях, связанных с задачей активного отбора (исследование производили с помощью метода фМРТ), ранние компоненты выявляются во фронтальных зонах, в то время как задержка компонентов после 250 мс во фронтальной области начинает зависеть от степени упорядоченности изображений. Это также коррелирует со временем реакции в психофизических исследованиях [Shelepin et al., 2011]. Т.е., можно предположить, что принятие решения происходит в лобной коре во временном интервале от 250 до 500 мс после предъявления стимулов.

Помимо этого увеличение латентного периода компонента P500 отражает большую сложность исследования классификации по семантическим свойствам по сравнению с исследованием классификации по физическим признакам. В электрофизиологических исследованиях Michael A. Pitts et al. также было установлено, что P300 связан с постперцептивной обработкой, необходимой для выполнения поставленной задачи испытуемому [Pitts et al., 2014].

На ранних этапах обработки происходит сначала анализ на низких, а затем на высоких пространственных частотах, т.е. сначала проводится глобальный анализ на низких пространственных частотах, а затем уже локальный – на высоких частотах. Вызванные потенциалы дают возможность исследовать последовательность обработки информации [Муравьева и др., 2008]. В исследованиях по изучению локального и глобального механизмов обработки на кортикальном уровне были получены значимые ( $p < 0,05$ ) отличия между двумя разными категориями ответов (в основном в затылочной области) с задержками 70 и 110 мс после начала стимула. То есть полученные данные в настоящем исследовании с 2-мя различными инструкциями наблюдателю и исследованию, проведенном ранее [Shelepin et al., 1997], свидетельствуют о том, что различные оценочные действия одного и того же визуального стимула могут по-разному активировать затылочную кору. Таким образом, различные характеристики зрительных тестов и инструкции могут приводить к изменению активности в

мозге, что, видимо, происходит из-за привлечения внимания испытуемого к определенной инструкции и, следовательно, к определенным характеристикам изображения. Поскольку приобретение знания об одушевленных объектах имеют ключевое значение для выживания, они зачастую вырабатываются раньше в онтогенезе, нежели приобретение знаний о неодушевленных объектах (Марченко, 2010). Объекты живой природы должны легче опознаваться, чем объекты неживой природы. Полученные результаты с более высокой амплитудой вызванных потенциалов на объекты живой природы косвенно подтверждают это предположение. Полученные в результате нашего исследования данные перекликаются с работами зарубежных авторов, проведенными примерно в то же время, что и наши исследования, а также с более поздними работами [Craddock et al., 2013; Bugatus et al., 2017].

Исходя из полученных нами данных, можно также предположить, что сначала происходит анализ изображений по пространственно-частотным признакам (компоненты P100 и N100), затем – категоризация и принятие решения (компоненты N170 и P200, P250 и N250, P500), что согласуется с нашими ранними данными [Шелепин и др., 2009, 2014].

Обычно компонентам N170 и P300 уделяется больше внимания при исследовании процессов зрительного распознавания. Предполагается, что компонент N170 зрительных вызванных потенциалов может быть связан с ключевым механизмом, лежащим в основе 5-НТ2А-опосредованных зрительных галлюцинаций. Это изменение амплитуды потенциалов компонента N170 может быть важно для понимания возникновения острых галлюцинаторных состояний при таких психических расстройствах, как шизофрения и болезнь Паркинсона [Кропотов и др., 2013; Kometer et al., 2013]. Увеличение амплитуды зрительного компонента P300 отражает эффект влияния медикаментов при шизофрении, в то время как снижение амплитуды и увеличение латентности компонента P300 в слуховой модальности указывают на наличие симптомов шизофрении при диагностике этого заболевания до начала приема медикаментов [Duncan, 1968]. Различия в компоненте P300, выявленные по пространственно-частотным

характеристикам при второй инструкции в теменных, височных и затылочных областях, обусловлены влиянием инструкции, которая состояла в классификации объектов по физическим характеристикам объектов. При электрофизиологических исследованиях зрительного поиска также были установлены различия по амплитуде в компоненте P300 при категоризации целевых и нецелевых стимулов, но в качестве стимулов использовали контурные изображения колец Ландольта [Brouwer et al., 2013]. Ранее при исследовании влияния инструкции на категоризацию лиц людей по выраженности лицевой экспрессии было выявлено, что зрительная обработка чувствительна к взаимодействию между инструкцией наблюдателю и информацией о стимуле во временном интервале до 200 мс [Jouise et al., 2006]. В аналогичном временном интервале активность нейронов нижневисочной коры макак меняется в ответ на зрительные стимулы разной сложности [Tanaka, 1996].

Таким образом, на основании полученных данных в настоящем исследовании можно утверждать, что в обеих сериях исследований происходит параллельная, возможно, неосознаваемая, обработка изображений по тем признакам, которые остаются вне области внимания. Например, в задачах категоризации изображений по их физическим свойствам семантическая составляющая остается за пределами внимания испытуемых, им важнее определить, размытое или нет, было изображение, а что именно в нем содержалось – порой испытуемые не могли вспомнить. Тем не менее, в вызванных потенциалах в настоящем исследовании наблюдали зависимость амплитуды, в том числе, и от семантической составляющей изображения. Такой же эффект наблюдали в исследовании с привлечением внимания к семантике стимула – амплитуда вызванных потенциалов зависела не только от семантики, но и от пространственной частоты стимула.

В исследованиях вызванных потенциалов Иваницкого А.М. была высказана идея о том, что субъективные феномены возникают в результате повторного входа возбуждения в места первичных проекций и сопоставления на этой основе новой информации с прошлым опытом. Сравнивая в одном и том же

исследовании амплитуду волн вызванных потенциалов с интенсивностью и временем ощущений, он предположил, что ощущение возникает в результате возврата возбуждения в проекционную кору после прохождения его через ассоциативную кору, гиппокамп и мотивационные подкорковые центры. Благодаря этому на нейронах проекционной коры происходит синтез сенсорной информации и сведений, извлекаемых из памяти. Момент этого синтеза с высокой точностью совпал с возникновением зрительных и соматосенсорных ощущений [Иваницкий, 1976; Кокурина, 2015].

Таким образом, опираясь на указанную выше гипотезу Иваницкого А.М. и полученные в данном исследовании результаты, можно предположить следующий алгоритм обработки изображений в задаче на категоризацию объектов вне зависимости от инструкции: сначала активируются затылочные и лобные области, затем к ним подключаются височные и центральные области, после этого к этим же областям добавляются теменные области. Поздняя волна в лобных и в центральных областях выступает в качестве “индикатора” работы нейронных сетей, осуществляющих принятие решения, перед запуском двигательных программ и нажатием на кнопку пульта оператора. Классификация тестовых сигналов, осуществляемая в нейронных сетях на предыдущих этапах обработки изображения, должна быть согласована с выбором и последующим нажатием левой или правой кнопки пульта ответа оператора в соответствии с получаемой им инструкцией.

### **Исследование 1 и 2 (Исследование влияния инструкции наблюдателю на латентные периоды вызванных потенциалов в задачах классификации изображений объектов в фовеа)**

Практически идентичные латентные периоды ранних компонентов (от 100 до 170 мс) вызванных потенциалов при обеих инструкциях наблюдателю говорят

о том, что инструкция незначительно влияет на латентные периоды ранних компонентов вызванных потенциалов.

Полученные различия в латентных периодах от 8 до 16 мс в ранних компонентах вызванных потенциалов на стимулы, отфильтрованные по высоким и по низким пространственным частотам, обусловлены разной скоростью передачи сигнала по магно и парво каналам. Сигнал передается с более высокой скоростью по аксонам магноцеллюлярных, чем парвоцеллюлярных слоев НКТ. И, следовательно, магноцеллюлярный сигнал может быстрее дойти до коры головного мозга, чем парвоцеллюлярный сигнал [Шевелев, 1971; Maunsell, 1999; Schiller, 2010]. Причем, известно, что среднее время суммации проекционных нейронов в ганглиозном слое сетчатки кошки составляет 14 мс, а у элементов НКТ - 10 мс. Уменьшение времени суммации, прогрессирующее от уровня к уровню зрительной системы, выгодно для надежного обнаружения слабого нервного сигнала, поэтому низкочастотный сигнал передается быстрее высокочастотного [Maunsell, 1999; Schiller, 2010; Kaplan, 2014; Previc, 1986, 1988]. Мозг представляет высокоорганизованную и нелинейную систему, поэтому большая разница в лобных и центральных областях между обработкой высокочастотного и низкочастотного сигналов (16 мс) по сравнению с затылочными областями (8 мс), видимо, обусловлена влиянием на них других структур мозга, вносящих дополнительный вклад в обработку сигнала.

Известно, что при анализе пространственно-частотных характеристик изображений необходимо учитывать тот факт, что в повседневной жизни человек, как правило, концентрирует внимание на высоких частотах, а низкочастотные составляющие сцены становятся фоном [Логунова и др., 2014]. При психофизических исследованиях влияния горизонтальной и вертикальной пространственно-частотной фильтрации в процессе восприятия изображений лиц было показано, что помимо горизонтальных составляющих пространственно-частотного спектра, существенную роль играют диагональные составляющие. Несмотря на то, что чувствительность зрительной системы к диагональным составляющим меньше, чем к горизонтальным, содержащаяся в них информация

позволяет выделять возрастные особенности и давать дополнительную информацию необходимую для идентификации незнакомого человека при повторной встрече [Логунова и др., 2015].

Таким образом, применение психофизических исследований с различными видами пространственно-частотной фильтрации позволяет сделать вывод о том, что высокочастотные и низкочастотные признаки изображений вносят различный вклад в процесс восприятия. Низкочастотные признаки объектов при их классификации воспринимаются человеком раньше, чем высокочастотные.

### **Исследование 3. (Исследование механизмов классификации изображений, инвариантных к преобразованию их масштаба)**

При сопоставлении результатов 1-го и 3-го настоящих исследований было показано, что в обеих сериях амплитуда компонента P200 в лобных (F7,F8) областях различались по семантическим признакам («живой-неживой» объект). Известно, что у макак-резус в нижневисочной коре располагаются центры, связанные с инвариантным описанием изображений объектов [Глезер и др., 1989; Праздникова, 1966; Яковлев, 1982]. В экспериментах на собаках, где их сначала обучали дифференцировать линии по ориентации и фигуры по форме, а затем производили двусторонние экстирпации участков коры в 18-м и 19-м полях затылочной и 7-м поле теменной областей было установлено, что при последовательном разрушении участков коры в зрительной и теменной областях больших полушарий мозга собаки также повреждались отдельные блоки в схеме зрительного анализатора. Способность к образованию зрительных дифференцировок при этом не исчезла. Нарушились лишь механизмы эталонного описания, которые для кодирования линий существовали изначально, а для кодирования фигур вырабатывались при обучении [Глезер, 1975; Праздникова, 1967; 1973; 1974]. В результатах проведенного исследования на людях

Стефановой Н., где испытуемые должны были оценивать форму и/или размеры контурных изображений было выявлено, что время обработки информации, относящейся к форме рисунка, не зависит от одновременной обработки информации, относящейся к размеру рисунка [Глезер, 1975; Стефанова, 1964, 1970, 1973].

Инвариантное к определенным признакам или функциям детектирование или опознание не зависят в известных пределах от изменения изображения, а неинвариантное, наоборот [Шевелев, 2010]. Формирование инвариантного описания является важнейшим свойством интеллекта [Bohm, 1965; Глезер и др., 1975; Шелепин и др., 2008]. Установлена способность к инвариантному опознанию у живых организмов на ранних стадиях онто- и филогенеза [Глезер и др., 1975; Шелепин и др., 2008].

Вероятно, в настоящих исследованиях в выявленных областях лобной коры приходит информация инвариантная к масштабным преобразованиям. Поэтому возникает возможность классификации изображений по семантическим признакам независимо от размера изображения и его пространственно-частотного спектра.

#### **Исследование 4. (Влияние размера изображений стимулов на пассивное распознавание, «неосознанную классификацию»)**

Для объективного определения остроты зрения обычно проводят электрофизиологическую диагностику с использованием шахматного паттерна [Bondarko, 1997; Woldorff et al., 1998; De Zheng, 2007]. Как правило, на этот стимул определяют вызванные потенциалы и измеряют компоненты N75, P100 и N135 [De Zheng, 2007]. Наиболее выраженным и информативным для решения поставленной задачи является компонент P100. Источники генерации компонента P100 зависят от пространственной частоты и, предположительно, расположены

как вдоль затылочных дорзальных областей мозга, так и вдоль заднего вентрального пути к фузиформной извилине [Woldorff et al., 1998]. Вентральный путь отражает функционирование высокочастотных (парво) каналов в зрительной системе, начинающихся с фовеолярной зоны сетчатки.

В клинических исследованиях показано, что демиелинизация зрительного нерва приводит к увеличению латентности P100 без существенного влияния на амплитуду, а при ишемических и токсических влияниях уменьшается амплитуда и в меньшей степени латентность [Mangun et al., 1997].

Судя по результатам исследования, полученным на испытуемых с эмметропией, увеличение латентных периодов ранних вызванных потенциалов в затылочной коре в зависимости от увеличения диаметра фовеолы, видимо, связано с плотностью упаковки рецепторов в фовеоле. А это, в свою очередь, влияет на скорость опознания изображений объектов.

В психофизиологических и электрофизиологических исследованиях на рисунках 25а и 25б видны два множества точек от эмметропии в сторону слабой гиперметропии (маленькие размеры фовеолы) и в сторону слабой миопии (большие размеры фовеолы). Это может быть связано либо с небольшим количеством испытуемых в выборке, либо с физиологическим механизмом, смысл которого пока не выяснен.

При хорошей фиксации наблюдаются два типа колебаний глаза:  $\pm 12$  угл. мин. – это минимальный радиус фовеолиты,  $\pm 2.5$  угл. мин. – это максимальный радиус рецептивного поля фовеа [Гассовский, 1941]. Эти микродвижения, микросаккады сохраняются не только при длительной фиксации, но и фиксации после перевода взора на цель. Это означает, что при переводе взора по сцене и наведении его на лицо или глаза человека появятся два типа неосознаваемых микродвижений глаз наблюдателя, обеспечивающих сканирование в пределах фовеолиты. Так, при наведении взора на лицо, при угловых размерах лица в 20-30 угл. мин. «тепловая» карта приближается к слегка деформированному кругу и определяется случайным, вероятно, нормальным распределением микросаккад. Наблюдается совсем другая картина распределения макросаккад, если



рассматривать лицо фронтально при больших угловых размерах - можно видеть Т-образные «тепловые» карты, обусловленные статистическим распределением саккад по маршруту глаза - рот [Шелепин и др., 2014]. Характеристики саккад меняются в зависимости от поставленной задачи перед человеком, влияют на длительность фиксаций, зависящих от диаметра фовеа. Чем больше фовеа, тем больше число захватываемых знаков за фиксацию и, следовательно, лучше распознавание текстов или изображений объектов.

Таким образом, чем больше размеры фовеолы (вероятно, фовеа и фовеолиты), тем больше активировано фовеолярных рецептивных полей. Это обеспечивает больший одновременный захват элементов изображения и параллельный ввод большего объема зрительной информации. Мелкие рецептивные поля - это входы, преимущественно, парво каналов, которые обеспечивают медленную высокочастотную передачу информации. В результате при выполнении зрительных задач, насыщенных деталями, работа зрительной системы оптимизируется.

Таким образом, для достижения цели нашего исследования, поставленные задачи были решены разными методами. Было изучено влияние пространственно-частотных, семантических признаков изображений стимулов и инструкций наблюдателю на характеристики вызванных потенциалов в задачах классификации изображений, проецируемых в область фовеа. Исследовано влияние размеров изображений стимулов на характеристики вызванных потенциалов в задачах классификации изображений, проецируемых в область фовеолы. Изучен процесс неосознанного восприятия (классификации) изображений объектов и влияния на него морфологических характеристик фовеолы и фовеолиты глаза человека на пределе разрешения зрительной системы. Осуществлена перестройка изменений локализации и временных характеристик активности нейронных сетей с помощью инструкций наблюдателю.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, эффективность зрительной системы определяется не только разрешающей способностью глаза, но и площадью фовеолы и фовеолиты, обеспечивающей параллельный ввод информации в мозг. Целенаправленная деятельность человека в условиях зрительного восприятия на пределе разрешения связана с геометрией фовеа и ее компонентами. Анатомические характеристики центральной части сетчатки могут меняться в результате экстремальных нагрузок в условиях невесомости, вследствие изменения внутримозговой гемодинамики. Поэтому результаты настоящего исследования характеристик фовеолярной ямки, исследованной методом ОКТ, могут быть использованы как базовые стандарты для расчетов наличия «функционального» макулярного отека, возникающего у здоровых людей при перераспределении крови при экстремальных нагрузках в условиях невесомости [Касьян, 1976; Arbeille, 2015]. Разработанная методика может служить одним из маркеров психических нарушений. Уже получены предварительные данные об особенностях толщины сетчатки в фовеолярной области при шизофрении [Silverstein, 2015]. Знание об отклонениях диаметра фовеолы, измеренного в настоящем исследовании весьма информативно, так как указывает на взаимосвязь структуры и функции. Проведенная работа дополнит серию офтальмологических тестов, разработанных в нашей лаборатории [Дешкович и др., 2000, 2001; Shoshina et al., 2014], для диагностики психических нарушений и мониторинга состояния пациентов в неврологических и психиатрических клиниках, и диагностики функционального состояния работы операторов.

Полученные результаты при анализе латентных периодов в пределах каждого исследования по отдельности сопоставимы с реверсной иерархической моделью управления крупномасштабной нейронной сетью, предложенной Ahissar и Hochstein. Согласно этой модели сначала происходит восприятие ярко выраженных признаков изображений объектов, зрительных сцен и т.д., а затем

производится их детализация. Т.е., в когнитивные процессы вовлекаются различные структуры мозга в определенной последовательности: сначала происходит обработка информации в зрительной области V1 и во фронтальных областях мозга, а затем происходит переход из фронтальных областей снова в зрительную область V1 [Hochstein, 2002].

В настоящем исследовании удалось показать наличие влияния инструкции наблюдателю на изменение латентных периодов на ранних компонентах (волна P100 в затылочных областях) и поздних компонентах (волна P500) вызванных потенциалов в центральных областях. Т.е., инструкция наблюдателю влияет на характер взаимосвязей между сенсорной и моторной корой головного мозга.

В результате проведенных двух исследований по классификации изображений объектов при разных инструкциях наблюдателю (различать изображения объектов по их семантическим и по их физическим признакам) было установлено разное соотношение амплитуды и фазы основных компонентов когнитивных вызванных потенциалов на стимулы, имеющие разные семантические и оптические характеристики.

Помимо этого различие между двумя исследованиями состоит в том, что P500 – единственный компонент, латентный период которого зависел от инструкции, и который был связан с процессами принятия решения. Также было установлено, что процесс классификации изображений по физическим признакам изображений менее подвержен влиянию инструкции, чем по семантическим признакам. Так как в исследовании по классификации изображений по физическим признакам по сравнению с классификацией по семантическим признакам меньше активируется областей мозга в решении поставленной задачи и короче латентный период поздних компонентов вызванных потенциалов (P500), который является последней выраженной волной. В каждом исследовании по отдельности на латентные периоды ранних компонентов вызванных потенциалов (до 170 мс) больше влияют пространственно-частотные характеристики изображений. Это связано с разной скоростью передачи сигнала по магно и парво каналам в зрительной системе. Компоненты с латентностью 300 - 500 мс,

вероятно, отражают процессы перепроверки принятого решения и подготовки планирования моторного ответа, поскольку процессы принятия решения происходят раньше, это отражается в изменении амплитуды более ранних компонентов вызванных потенциалов, и затем проверки выполненного действия. Анализ изменения амплитуд компонентов вызванных потенциалов позволяет выявить области, где компонент N170, вероятно, связан с классификацией и принятием решения, а латентные периоды компонента P300 - 500 - с выполнением инструкции.

В результате проведенных двух исследований было показано, что от начала подачи стимуляции до организации моторного ответа происходит параллельная обработка наблюдаемого сигнала по разным пространственно-частотным характеристикам и по разным семантическим признакам. Примерно одинаковое время проявления отклика в очень удаленных отведениях дает возможность предположить наличие синхронизации нейронных сетей в разных областях мозга. Выбранная методика пространственно-частотной фильтрации изображений позволила первоначально разделить изображения на высоко- и низкочастотные составляющие и получить такой же разделенный ответ в мозге при различных инструкциях наблюдателю. Также удалось зафиксировать области мозга, которые связаны с классификацией изображений объектов по семантическим признакам независимо от поставленной задачи наблюдателю, т.е. которые активируются как осознанно, так и неосознанно на семантические признаки изображений.

Кроме этого удалось показать, что изменение размеров стимулов изображений и показ их на пределе разрешения зрительной системы изменяет пространственные – временные характеристики вызванных потенциалов: увеличиваются латентные периоды вызванных потенциалов и уменьшается количество областей мозга, участвующих в классификации изображений объектов.

В результате проведенного исследования было выявлено, что в лобных областях мозга амплитуда компонентов вызванных потенциалов, инвариантна к преобразованию масштаба изображений.

Можно предположить, что в лобной области, обеспечивающей принятие решений при выполнении задач классификации изображений, мозг использует уже сформированное на предыдущих уровнях инвариантное к масштабу преобразование изображений образов или знаковое представление изображений. Это утверждение основано на конкретных экспериментальных данных. Ранее были проведены изменения амплитуды вызванного потенциала, согласно которым, у хищников, не имеющих выраженной лобной области, инвариантное описание осуществляется в зоне Клэра-Бишопа, теменно-височно-затылочном участке коры [Шелепин, 1973].

Таким образом, в данной работе была рассмотрена важнейшая задача - изучить некоторые общие закономерности классификации на примере распознавания живых и неживых (искусственных) объектов с помощью анализа компонентов вызванных потенциалов, служащих маркерами особенностей работы нейронных сетей в разных задачах. Актуальность работы вызвана спецификой обучения искусственных нейронных сетей, необходимых для создания интеллектуальных автономных систем. В настоящее время на основании полученных данных уже начата работа по решению задач автоматической классификации ЭЭГ откликов в мозге человека в ответ на разные классы зрительных стимулов с помощью современных методов глубокого обучения сверточных нейронных сетей (Пономарев и др., 2018). Разработка управления вниманием к физическим и семантическим признакам одного и того же набора контурных изображений позволяет с помощью физиологических методов изучать некоторые характеристики осознаваемых и неосознаваемых процессов классификации изображений человеком.

Результаты проведенного исследования являются важными при формировании задач создания систем искусственного интеллекта, методов диагностики состояния когнитивных функций и остроты зрения в области медицины, а также в развитии оборонной техники нового поколения.

## ВЫВОДЫ

1. На основе стандартной базы тестовых контурных изображений различных объектов, относящихся к двум классам (живые и неживые), с помощью пространственно-частотной фильтрации создана собственная база стимулов, разделенная еще на два класса (низкочастотные и высокочастотные изображения). В низкочастотных изображениях подавлены локальные признаки, так как в спектре этих изображений убраны высокие пространственные частоты. В высокочастотных изображениях убраны низкие пространственные частоты, тем самым локальные признаки подчеркнуты.
2. Наличие изображений, отличающихся как по физическим характеристикам, так и по семантике позволяет за счет переключения внимания (изменяя инструкцию наблюдателю) управлять активацией различных структур мозга (крупномасштабных нейронных сетей), обеспечивающих описание различных физических и семантических свойств изображений.
3. В двух сериях исследований с различными инструкциями наблюдателю были выявлены компоненты когнитивных вызванных потенциалов, связанные с семантикой изображений. Различия компонентов вызванных потенциалов от семантики изображений были значимы при лобных и височных отведениях даже в тех условиях, когда задача испытуемого заключалась в классификации физических свойств изображений объектов.
4. На основании анализа проведенных исследований и анализа литературных данных предположили, что для выполнения задачи классификации объектов нейронные сети лобной коры используют инвариантное описание изображений, формируемое в затылочно-височной коре.
5. Установлено, что диаметр фовеолы влияет на латентные периоды ранних волн зрительных вызванных потенциалов (компонент P100) в затылочных областях. Чем больше размеры фовеолы, тем больше фовеолярных рецептивных полей, что обеспечивает больший одновременный захват элементов изображения и параллельный ввод большего объема зрительной информации.

## **СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ**

ОКТ – оптическая когерентная томография

ПЗО – передне - задние размеры осей глазного яблока

фМРТ – функциональная магнитно-резонансная томография

ЭЭГ – электроэнцефалография

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Астащенко А.Т., Шуваев В.П. Изменения вызванных потенциалов в задачах внимания и селекции простых и фрагментированных простых и сложных зрительных стимулов у человека //Вестник ТПГУ. 2009. Вып. 11 (89). С. 217 - 223.
3. Бабенко В.В. Сегментация в зрении. РнД: ООО «ЦВВР», 2004. 128 с.
4. Барабанщиков В.А. Динамика зрительного восприятия. - М.: Наука, 1990. 240 с.
5. Барабанщиков В. А. Коммуникативный подход в исследованиях восприятия// Психологический журнал. 2012. Т. 33. № 3. С. 17-32.
6. Барабанщиков В. А. Психология восприятия: Организация и развитие перцептивного процесса. М.: Когито-Центр. 2006. 240 с.
7. Барабанщиков В. А. Экспрессии лица и их восприятие. М.: Изд-во «Институт психологии РАН». 2012. 341 с.
8. Бондарко В.М., Данилова М. В., Красильников Н.Н., Леушина Л.И., Невская А.А., Шелепин Ю.Е. Пространственное зрение. Спб.: Наука, 1999. 218 с.
9. Вахрамеева О.А., Сухинин М.В., Моисеенко Г.А., Муравьева С.В. и др. Изучение порогов восприятия в зависимости от геометрии фовеа // Сенсорные системы. 2013. Т.27. №2. С. 122-129.
10. Гассовский Л.Н., Никольская Н.А. Движение глаза в процессе непрерывной фиксации точки //Труды Государственного оптического института. 1941. Вып. 15. С. 112-120.
11. Герасименко Н.Ю., Славуцкая А.В., Калинин С.А., Михайлова Е.С. Влияние неосознаваемого восприятия эмоциональных лиц на опознание сложных зрительных образов. Физиология человека.-2013. Т. 39. № 3. С. 26-34.
12. Герасименко Н.Ю., Славуцкая А.В., Калинин С.А., Куликов М.А., Михайлова Е.С. Опознание зрительных образов в условиях их прямой маскировки. Влияние категориальной близости значимого и маскирующего изображений. //Журнал высшей нервной деятельности. 2013. Т.4. С. 419-430.



13. Михайлова Е.С., Герасименко Н.Ю., Овсиенко А.В. Оpozнание простых и сложных изображений при их прямой маскировке. Физиология человека. 2009. Т.35. № 3. С. 13-19.
14. Глезер В.Д. Зрение и мышление. Изд. 2 испр. и доп. – СПб: Наука, 1993. 284 с.
15. Глезер В. Д., Дудкин К. Н., Подвигин Н. Ф. Невская А.А. Зрительное опознание и его нейрофизиологические механизмы. М.: Наука, 1975. 272 с.
16. Глезер В. Д., Цуккерман И.И., Цыкунова Т. М. О пропускной способности зрения // Техника кино и телевидения. 1961. № 3. С. 27–32.
17. Гнездицкий В.В. Вызванные потенциалы мозга в клинической практике. Таганрог: ТРТУ, 1997. 252 с.
18. Дешкович А.А., Красильников Н.Н., Одинак М.М., Пронин С.В., Шелепин Ю.Е. Внутренний шум зрительной системы – как мера функционального состояния мозга человека. Современные подходы к диагностике и лечению нервных и психических заболеваний. СПб: Изд-во Главного военно-медицинского управления МО РФ. 2000. С. 509-510.
19. Дешкович А.А., Шелепин Ю.Е.. Внутренний шум зрительной системы и фильтрационная агнозия. Сб. “Офтальмология на рубеже веков”. СПб: Изд-во Главного военно-медицинского управления МО РФ. 2001. С. 28- 29.
20. Дубынин И.А. Анализ вызванных потенциалов на знакомые и незнакомые лица с помощью искусственных нейронных сетей//Вестник Бурятского университета. Сер. 10. Психология. Социальная работа. Вып.4. Улан-Удэ: Изд-во Бурятского госуниверситета. 2007. С. 45-57.
21. Евдокимов С.А., Пронина М.В., Полякова Г.Ю., Пономарев В.А., Поляков Ю.И., Кропотов Ю.Д. Анализ независимых компонентов вызванных потенциалов пациентов с установленными диагнозами шизофрении, обсессивно-компульсивное и депрессивное расстройство // Журнал высшей нервной деятельности. 2014. Т. 64. № 5. С. 500–509.
22. Иваницкий А.М., Стрелец В.Б., Корсаков И.А. Информационные процессы мозга и психическая деятельность. М.: Наука, 1984. 201с.

23. Иваницкий А.М. Мозговые механизмы оценки сигналов. М.: Медицина, 1976. 298 с.
24. Исайчев Е. С., Исайчев С. А., Насонов А. В., Черноризов А. М. Диагностика скрываемой информации на основе анализа когнитивных вызванных потенциалов мозга человека //Национальный психологический журнал. 2011. Т.5. №1. С. 70 - 77.
25. Карпинская В.Ю., Владыкина Н.П., Шилов Ю.Е. Классификация в процессе зрительного восприятия. 2015. Т.17. №1-3. С.642-650.
26. Касьян И.И. Адаптация организма к невесомости. В сб.: Изв. Ш. СССР, 1976. №4. С. 495-508.
27. Кокурина Е. Наталья Бехтерева. Код жизни. М.: Бослен, 2015. 336 с.
28. Копейкина Е.А., Хороших В.В., Александров А.Ю., Иванова В.Ю. Влияние неосознаваемого восприятия звуковых стимулов на параметры слуховых вызванных потенциалов//Физиология человека. 2015. Т.45. № 3. С.19-28.
29. Красильников Н.Н., Шелепин Ю.Е. Моделирование инерционных свойств зрительной системы// Сенсорные системы. 1999. Т.13. №1. С. 56-61.
30. Красильников Н. Н. Механизмы и погрешности восприятия 3D-пространства зрительной системой //Информационно-управляющие системы. 2014. № 6. С. 13-19.
31. Красильников Н.Н. Теория передачи и восприятия изображений. Теория передачи изображений и ее приложения. М.: Радио и связь, 1986. 248 с.
32. Красильников Н.Н. Цифровая обработка изображений. М.: Вузовская книга, 2001. 320 с.
33. Красильников Н.Н. Цифровая обработка 2D и 3D изображений. Учеб. пособие. - СПб.: БХВ-Петербург. 2011. 608 с.
34. Красильников Н.Н., Шелепин Ю. Е. Функциональная модель зрения // Оптический журнал. 1997. Т.64. № 2. С. 72–82.
35. Кропотов Ю.Д. Количественная ЭЭГ, когнитивные вызванные потенциалы мозга человека и нейротерапия. Учебное пособие., Донецк: Заславский А.Ю, 2010. 512 с.

36. Кропотов Ю.Д., Пронина М.В., Поляков Ю.И., Пономарев В.А. Функциональные биомаркеры в диагностике психических заболеваний: когнитивные вызванные потенциалы // Физиология человека. 2013. Т. 39. № 1. С. 14–25.
37. Куликовский Я. Дж., Робсон Э. Пространственные, временные и хроматические каналы: электрофизиологическое обоснование // Оптический журнал, 1999. Т.66. № 9. С. 37–52.
38. Лагутин М. Б. Наглядная математическая статистика. В двух томах. М.: П-центр, 2003. С. 222 - 227.
39. Логунова Е. В., Бритиков А. А., Шабалина Н. А., Шелепин Ю. Е., Пронин С.В. Изучение экологической безопасности визуальной среды//Биотехносфера. 2014. N1–2. С. 36-41.
40. Логунова Е. В., Шелепин Ю. Е. Исследование роли пространственно-частотной фильтрации изображений при оценке возраста и восприятия эмоционального выражения лиц.//Оптический журнал. Т.82. №10. 2015. С. 63 - 69.
41. Марченко О. П. Электрические потенциалы мозга, связанные с категоризацией названий одушевленных и неодушевленных объектов//Экспериментальная психология. 2010. Т.3. №1. С. 5–29.
42. Мирошников М.М., Лисовский В.А., Филиппов Е.В. Иконика в физиологии и медицине. Л.: Наука, 1987. 392 с.
43. Михайлова Е.С., Герасименко Н.Ю., Авсиенко А.В. Оpozнание сложных и простых изображений при их прямой маскировке //Физиология человека. Т. 35. 2009. №3. С. 1–7.
44. Михайлова Е.С., Жила А.В., Славущкая А.В., Шевелев И.А.Траектория смещения по мозгу человека дипольных источников зрительных вызванных потенциалов//Журнал высшей нервной деятельности. Т.56. 2007. №6. С. 673-683.
45. Моисеенко Г.А., Хараузов А.К., Пронин С.В, Чихман В.Н., Шелепин Ю.Е. Влияние вейвлетной фильтрации изображений на пространственно-временную локализацию процесса категоризации и принятия решения. / Сборник докладов.

XI Международная конференция «Прикладная оптика-2014» 21.10.14 – 24.10.14, г. Санкт-Петербург.

46. Моисеенко Г. А., Шелепин Ю. Е., Хараузов А. К., Пронин С.В., Чихман В.Н. Классификация и распознавание изображений живой и неживой природы.

//Оптический журнал. 2015. Т. 82. №10. С. 53-64.

47. Моисеенко Г.А. Роль инструкции в задачах классификации одного алфавита изображений на основе физических признаков и семантического значения./Сборник докладов 6-й Международной конференции по когнитивной науке. 23.06.14-27.06.14. г. Калининград. С.715 – 716.

48. Муравьева С.В., Пронина М.В., Моисеенко Г.А., Пневская А.Н., Полякова Ю.И., Кропотов Ю.Д., Пронин С.В., Шелепин Е.Ю., Шелепин Ю.Е.

Исследование зрительных когнитивных нарушений при шизофрении на ранних стадиях заболевания и их коррекция при помощи интерактивных виртуальных сред. 2017. Т.43. №6. С. 24-36.

49. Муравьева С.В., Дешкович А.А., Шелепин Ю.Е. Магно- и парвосистемы человека и избирательные нарушения их работы // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. 2008. Т.94. № 6. С. 637–649.

50. Муравьева С.В., Фокин В.А., Ефимцев А.Ю., Шелепин Ю.Е. Пространственно-частотные каналы зрительной системы при рассеянном склерозе.// Сенсорные системы. 2013. Т.2. №2. С. 130-143.

51. Павлов Н.Н., Коскин С.А., Шелепин Ю.Е. Влияние пространственной дискретизации и фильтрации элементов изображений на возможность объединения их в образ//Сенсорные системы. 1989. Т.3. №4. С. 417 – 423.

52. Пономарев С. В., Малашин Р. О., Моисеенко Г. А. «Автоматическая классификация зрительных стимулов по электроэнцефалограмме наблюдателя»// Оптический журнал. 2018. Т.85. № 8. С. 67-76.

53. Праздникова Н.В. Исследование инвариантности опознавания зрительных изображений у рыб и обезьян// Механизмы кодирования зрительной информации. М.; Л.: 1966. С. 96 – 116.

54. Праздникова Н.В. Исследование инвариантности опознавания зрительных изображений у собак. – В кн.: Механизмы опознавания зрительных образов. Л., 1967. С. 112-127.
55. Праздникова Н.В. О локализации механизмов зрительного опознавания в коре больших полушарий собаки. – В кн.: Вопросы функциональной организации и эволюции зрительной системы позвоночных. Л., 1973. С. 127-141.
56. Пронина М. В., Пономарев В. А., Мюллер А., Кропотов Ю. Д. Особенности независимых компонент вызванных потенциалов пациентов с СДВГ в разных возрастных группах. //Педиатр. 2014. Т.5. № 1. С. 62-69.
57. Стефанова Н. Влияние степени поворота на распознавание зрительных объектов и их положение в пространстве при дефиците времени. – Мастер. II симпоз. по физиол. сенс. систем. Физиология зрения. Л., 1973. С. 93-95.
58. Стефанова Н. Значение признака величины в процессе узнавания зрительных объектов. – В кн.: Исследование принципов переработки информации в зрительной системе. Л., 1970. С. 161-168.
59. Стефанова Н. Об инвариантности зрительных образов. – Резюме II нац. конф. болгарск. общ. физиол. наук. София. 1964. №97.
60. Фокин В.А., Шелепин Ю.Е., Хараузов А.К., Труфанов Г.Е., Севостьянов А.В., Пронин С.В., Коскин С.А. Локализация областей коры головного мозга человека, активируемых при восприятии упорядоченных и хаотичных изображений.//Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. 2007. 93. №10. С. 1089-1100.
61. Фомин Я.А. Распознавание образов: теория и применения. 2-е изд. М.: ФАЗИС, 2012. 429 с.
62. Хараузов А.К., Пронин С.В., Соболев А.Ф., Коскин С.А. и др. Объективные измерения остроты зрения человека методом зрительных вызванных потенциалов // Рос. физиол. журн. им. И.М. Сеченова. 2005. Т. 91. № 8. С. 956–969.
63. Цуккерман И. В., О согласованности пространственно-частотных фильтров зрительного анализатора со статистикой изображений // Биофизика. 1978. Т. 23. № 6. С.1108–1109.

64. Шевелев И.А. Волновые процессы в зрительной коре мозга.//Природа. 2001. № 12. С. 28-35.
65. Шевелев И.А. Мозг и опознание зрительных образов. Наука в России. № 3. 2007. С. 19-24.
66. Шевелев И.А. «Нейроны – детекторы зрительной коры» Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН. М.: Наука, 2010. 183 с.
67. Шевелев И. А., Каменкович В. М., Шараев Г. А. Относительное значение линий и углов геометрических фигур для их опознания человеком // Журн. высш. нервн. деятельности. 2000. Т. 50. № 3. С. 403.
68. Шевелев И.А. Физиология сенсорных систем. Ч.І. Физиология зрения. В серии «Руководство по физиологии», 1971. Изд-во «Наука», Ленингр. Отд., Л. 1-416/ Глава 9. Временное и силовое преобразование сигнала в зрительной системе. С.181 – 199.
69. Шелепин Ю.Е., Колесникова Л.И., Левкович Л. Н. Визоконтрастометрия. Л.: Наука, 1985. 103 с.
70. Шелепин Ю. Е., Макулов В. Б., Красильников Н. Н., Чихман В. Н., Пронин С.В., Даниличев В. Ф., Коскин С. А. Иконика и методы оценки функциональных возможностей зрительной системы // Сенсорные системы. 1998. Т.12. № 3. С. 319–328.
71. Шелепин Ю.Е., Чихман В.Н., Вахрамеева О.А., Пронин С.В., Фореман Н., Пэсмор П. Инвариантность зрительного восприятия // Экспериментальная психология. 2008. Т.1. № 1. С. 7–33.
72. Шелепин Ю.Е. Фокин В.А., Хараузов А.К., Пронин С.В. Исследование механизмов распознавания зрительных образов и принятия решений человеком методами количественной ЭЭГ и функциональной МРТ // 2-я всерос. науч. конф. «Количественная ЭЭГ и нейротерапия». 2009. С. 65.
73. Шелепин Ю.Е., Борачук О.В., Пронин С.В., Хараузов А.К., Васильев П.П., Фокин В.А. Лицо и невербальные средства коммуникации // Петербургский психологический журнал. 2014. №9. С.1–43.

74. Шелепин Ю.Е. Локализация областей зрительной коры кошки, дающих инвариантный ответ при изменении размера изображений//Нейрофизиология. 1973. Т.5. №2. С.115-121.
75. Шелепин Ю. Е., Чихман В. Н. Локальный и глобальный анализ в зрительной системе // Современная психофизика /Под ред. В. А. Барабанщикова. 2009. С.310–335.
76. Шелепин Ю.Е., Фокин В.А., Хараузов А.К., Пронин С.В., Чихман В.Н. Локализация центра принятия решений при восприятии формы зрительных стимулов // Доклады Академии наук. 2009. Т.429. № 6. С. 835–837.
77. Шелепин Ю.Е., Фокин В.А., Меньшикова С.В., Борачук О.В., Коскин С.А., Соколов А.В., Пронин С.В., Хараузов А.К., Васильев П.П., Вахрамеева О.А.. Методы иконки и методы картирования мозга в оценке функционального состояния зрительной системы //Сенсорные системы. 2014. Т. 28. №2. С. 63–78.
78. Шелепин Ю.Е. Сопоставление топографических и пространственно-частотных характеристик латеральной супрасильвиевой области и стриарной коры кошки //Нейрофизиология. 1984. Т.16. №1. С. 35 - 41.
79. Шелепин Ю.Е., Фокин В.А., Хараузов А.К., Вахрамеева О.А., Труфанов Г.Е., Соколов А.В., Фореман Н., Пронин С.В., Чихман В.Н. Функциональное картирование мозга в задачах пассивного наблюдения и активного выбора // Матер. межд. конф. «Прикладная оптика». 2010. Т.3. С. 370-373.
80. Явна Д.В., Бабенко В.В. Метод извлечения из цифровой фотографии лица информации, достаточной для его идентификации. Инженерный вестник Дона. 2014. №3. С.1-11.
81. Яковлев В.В. Различия в описании зрительного образа на уровне заднетеменной и нижневисочной коры обезьян //Физиология. 1982. С. 754 -757.
82. Agarwal A. Gass' Atlas of Macular Diseases. Vol. 1. Elsevier Expert Consult. 2011. - 1297 p.
83. Arbeille P., Provost R., Zuj K., Vincent N. Measurements of jugular, portal, femoral, and calf vein cross-sectional area for the assessment of venous blood

- redistribution with long duration spaceflight (Vessel Imaging Experiment).2015. №115(10). P.2099 – 2106.
84. Attneave F. Some information aspects of visual perception // Psychological Review. 1954. V.61. P. 183–198.
85. Bacon- Mace N., Fabre –Thorpe M., Thorpe S. J. The time course of visual processing: Backward masking and natural scene categorization.// Vision Research 45. 2005. P.1459-1469.
86. Barlow H. Summation and inhibition in the frog`s retina // J. Physiol. (Lond). 1953. V.119. P. 69–88.
87. Bell A.H., Hadj-Bouziane F., Frihauf J. B., Roger, Tootell B. H., Ungerleider L.G. Object Representations in the Temporal Cortex of Monkeys and Humans as Revealed by Functional Magnetic Resonance Imaging //Journal Neurophysiology 101. 2009. P. 688–700.
88. Best C.A., Yim H., Sloutsky V. M.. The cost of selective attention in category learning: Developmental differences between adults and infants//Journal of Experimental Child Psychology 116. 2013. P. 105–119.
89. Biederman I., Cooper E. E. Priming contour-deleted images: Evidence for intermediate representations in visual object recognition // Cognitive Psychology. 1991. Vol. 23.-P. 393–419.
90. Bohm D. The special theory of relativity. Benjamin Inc., NY., 1965 (Бом Д. Специальная теория относительности. Гл. «Физика и восприятие, Роль инвариантов в восприятии». М.: Мир, 1967. С. 239–281.
91. Bondarko V.M., Danilova M.V. What spatial frequency do we use to detect the orientation of a Landolt C? // Vision Research. 1997. Vol.37. P. 2153-2156.
92. Braddick O. J., Birtles D., Mills S., Warshafsky J., Wattam-Bell J. & Atkinson J. Brain responses to global perceptual coherence // Journal of Vision. 2006. V.6. P. 426.
93. Brandman T., Peelen M.V. Interaction between scene and object processing revealed by human fMRI and MEG decoding// The Journal of Neuroscience. 2017. P.1-42.



94. Brouwer A. M., Reuderink B., Vincent J., van Gerven M.A.J., van Erp J.B.F. Distinguishing between target and nontarget fixations in a visual search task using fixation-related potentials // *Journal of Vision*. 2013. V.13(3). Is.17. P. 1–10.
95. Bugatus L., Weiner K. S., Grill-Spector K. Task alters category representations in prefrontal but not high-level visual cortex. // *Neuroimage*. 2017. №15. Is.155. P. 437–449.
96. Caharel S., Leleu A., Bernard C., Viggiano M., Lalonde R., Reban M.. Early holistic face-like processing of Arcimboldo paintings in the right occipito-temporal cortex: Evidence from the N170 ERP component // *International Journal of Psychophysiology*. 2013. 90. P.157–164.
97. Campbell F.W, Robson J. Application of Fourier analyses to the visibility of gratings // *Journal of Physiology*. 1968. V.197. P. 551–566.
98. Cao Z., Zhao Y., Tana T., Chen G., Ning X., Zhana L., Yang J. Distinct brain activity in processing negative pictures of animals and objects - The role of human contexts.// *NeuroImage* 84. 2014. P. 901–910.
99. Chao L. L., Weisberg J., Martin A. Experience-dependent modulation of category-related cortical activity // *Cerebral Cortex*. 2002. Vol. 12. P. 545–551.
100. Carlson T., Tovar D. A., Alink A., Kriegeskorte N. Representational dynamics of object vision: The first 1000 ms. // *Journal of Vision*. 2013. Vol.13. № 1. P.1-25.
101. Caspari N., Popivanov I. D., De Maziure P. A., Vanduffel W., Vogels R., Orban G. A., Jastorff J.. Fine-grained stimulus representations in body selective areas of human occipito-temporal cortex. // *NeuroImage*. 2014. 102. P.484–497.
102. Craddock M., Martinovic J., Mueller M.M. Task and spatial frequency modulations of object // *Processing: An EEG*. 2013. V.8. Is.7. P.1–12.
103. Dehaqani M. A., Vahabie A., Kiani R., Ahmadabadi M. N., Araabi B. N., Esteky H. Temporal dynamics of visual category representation in the macaque inferior temporal cortex.// *Journal of Neurophysiology*. 2016. 116. P.587–601.
104. De Zheng W., Liu Y. Atlas of Testing and Clinical Application for ROLAND Electrophysiological Instrument. Beijing and Technology Press. 2007. 174 p.

105. Duda R.O., Hart P.E., Stork D.G. Pattern classification and scene analysis. Part I. Pattern Classification. N.Y.: John Wiley & Sons, 1997. P.1–41.
106. Duncan C.C. Event-related brain potentials: a window on information processing in schizophrenia // Oxford Journals. Schizophrenia Bulletin. 1968. V.14. № 2. P.199–203.
107. Erez Y., Duncan J. Discrimination of Visual Categories Based on Behavioral Relevance in Widespread Regions of Frontoparietal Cortex //The Journal of Neuroscience. 2015. Vol. 35(36). P.12383–12393.
108. Ferrari V., Codispoti M., Cardinale R., Bradley M. M.. Directed and Motivated Attention during Processing of Natural Scenes//Journal of Cognitive Neuroscience. Vol. 20. Is. 10. 2008. P.1753-176.
109. Field D., Hayes A. Contour integration and the lateral connections of V1 neurons // In The Visual Neurosciences / Eds. M. Chalupa, J. S. Werner. Cambridge, MA: MIT Press, 2004. P. 1069–1079.
110. Handy T.C. Event-Related Potentials. A Methods Handbook. The MITPress, - 2004. 416 p.
111. Ganis G., Smith D., Schendan H. E. The N170, not the P1, indexes the earliest time for categorical perception of faces, regardless of interstimulus variance //NeuroImage 62. 2012. P.1563–1574.
112. Gao Z., Goldstein A., Harpaz Y., Hansel M., Zion-Golumbic E., Bentin S.. A Magnetoencephalographic Study of Face Processing: M170, Gamma-Band Oscillations and Source Localization//Human Brain Mapping - 34. 2013. P.1783–1795.
113. Ginsburg A.P. On a filter approach to understanding the perception of visual form // In: Recognition of Pattern and Form / Ed. by D.G Albrecht. Berlin: Springer, 1982. P. 175–192.
114. Ginsburg A. P. Spatial filtering and visual form perception // Handbook of Perception and Human Performance / Ed. K. Boff. New York: John Wiley and Sons, 1986. P. 99–109.
115. Guo B., Meng M.. The encoding of category-specific versus nonspecific information in human inferior temporal cortex. //NeuroImage 116. 2015. P.240–247.

116. Hochstein S., Merav A.. View from the Top: Hierarchies and Reverse Hierarchies in the Visual System//Neuron. 2002. Vol. 36. P.791 - 804.
117. Hubel D. H., Wiesel T. N. Receptive fields and functional architecture of monkey striate cortex // J. Physiol. Lond., 1968. Vol. 195. P. 215–243.
118. Jacobs C., Finkelstein A., Salesin D. Fast multiresolution image querying. In Proceedings of SIGGRAPH 95. ACM. New York, 1995. P. 277–286.
119. Joyce P., Schyns G., Gosselin F., Garrison W.C., Rossion B. Early selection of diagnostic facial information in the human visual cortex Carrie A. //Vision Research. 2006. V.46. P.800–813.
120. Kaplan E. The M, P and K pathways of the Primate Visual System revisited.// The New Visual Neuroscience, MIT Press. 2014. P.1-19.
121. Keil A., Debener S., Gratton G., Junghoefer M., Kapperman E.S., Luck S.J., Luu P., Miller G.A., Yee C.M. Committee report: Publication guidelines and recommendations for studies using electroencephalography and magnetoencephalography// Psychophysiology. 2014. Vol.51. P.1–21.
122. Komater M., Schmidt A., Jancke L., Vollenweider F.X. Activation of serotonin 2A receptors underlies the psilocybin-induced effects on oscillations, N170 visual-evoked potentials and visual hallucinations // The Journal of Neuroscience. 2013. V.33(25). P.10544 –10551.
123. Lowe D. G. Object recognition from local scale-invariant features.// Proceedings of the International Conference on Computer Vision. 1999. P.1150–1157.
124. Luck S. J. An Introduction to the Event-related Potential Technique. MIT Press, 2005. 374 p.
125. Lutsiv V.R., Malyshev I.A. Image structural analysis in the tasks of automatic navigation of unmanned vehicles and inspection of Earth surface // Proceedings of SPIE. 2013. V. 8897. P. 1–15.
126. Malashin R.O., Lutsiv V.R. Restoring a silhouette of the hand in the problem of recognizing gestures by adaptive morphological filtering of a binary image // Journal of Optical Technology. 2013. V.80. №11. P.685–690.

127. Mangun G. R., Hopfinger J. B., Kussmaul C. L., Fletcher, E. M. et al. Covariations in ERP and PET measures of spatial selective attention in human extrastriate visual cortex. *Human Brain Mapping*. 1997. №5. P. 273-279.
128. Mary A. Peterson, Gillian Rhodes. Perception of faces, objects, and scenes. Analytic and Holistic Processes. Oxford university press. 2003. 393 p.
129. Maunsell J., Geoffrey M., Ghouse, J. A. Carrie A. J., Assad J.A., Mcadams C. J., Boudreau C. E., Noerager B. D. Visual response latencies of magnocellular and parvocellular LGN neurons in macaque monkeys.// *Visual Neuroscience*. 1999. №16. P.1–14.
130. Millodot M. Dictionary of Optometry and Visual Science. 7th edition. Butterworth-Heinemann, 2009. 450 p.
131. Moiseenko G.A., Harauzov A.K., Pronin S.V., Slavutskaya A.V., Gerasimenko N.YU., Mikhailova E.S., Shelepin YU.E. Human brain evoked potentials to the animate and inanimate nature objects images// Сборник докладов. Methodological school “Data Processing in EEG/MEG”, 16 - 30 April. 2013. Moscow. P. 32.
132. Murray F. S., Szymczyk J. M. Effects of distinctive features on the recognition of incomplete figures // *Developmental Psychology*. 1978. Vol. 14. P. 356–362.
133. Olshausen B. A., Field D. J. Sparse coding of sensory inputs // *Current Opinion in Neurobiology*. 2004. Vol.14. P. 481–487.
134. Patterson M. B., Mack J. L., Schnell A. H. Performance of elderly and young normal on the Gollin Incomplete Pictures Test // *Perceptual and Motor Skills*. 1999. Vol.89. P. 663–664.
135. Petro L.S., Smith F. W., Schyns P. G., Muckli L. Decoding face categories in diagnostic subregions of primary visual cortex // *European Journal of Neuroscience*. Vol. 37. Is.7. 2013. P.1130–1139.
136. Pitts M. A., Padwal J., Fennelly D., Martynez A., Hillyard S.A. Gamma band activity and the P3 reflect post-perceptual processes, not visual awareness// *Neuroimage*. 2014. Vol.101. P.337 – 350.
137. Polich J. Updating P300: An Integrative Theory of P3a and P3b// *Clinical Neurophysiology*. 2007. 118(10). P.2128 - 2148.

138. Poulin-Dubois D., Crivello C., Wright K. Biological Motion Primes the Animate/Inanimate Distinction in Infancy.//*PLoS ONE*. 2015. Vol. 10(2). P. 1-139.
- Prazdnikova V.V. On the localization of visual identification mechanisms in dog cortex. – In: *Visual information processing*. Sofia. 1974. P. 39 – 53.
139. Previc F. H. The Neurophysiological significance of the N1 and P1 components of the visual evoked potential// *Clinical Vision Science*. 1988. Vol.3. №3. P.195-202.
140. Previc F. H. Visual evoked potentials to luminance and chromatic contrast in rhesus monkeys// *Vision research*. 1986. Vol. 26. № 12. P. 1897-1907.
141. Proklova D., D. Kaiser, M. V. Peelen. Disentangling Representations of Object Shape and Object Category in Human Visual Cortex: The Animate–Inanimate Distinction// *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2016. Vol. 28. P. 680 - 692.
142. Rousselet G., Mace C.A., Marc J-M.; Fabre-Thorpe M. Spatiotemporal analyses of the N170 for human faces, animal faces and objects in natural scenes// *NeuroReport*. 2004. Vol.15. Is.17. P.2607-2611.
143. Shelepin Y.E., Danilova M.V., Harauzov A.K., Kropotov Y. D., Sevostianov A.V. Attention and preattentive vision // *Abstracts of XXXIII International Congress of physiological sciences*. St.Petersburg. 1997. P. 80.
144. Schiller P. Parallel information processing channels created in the retina// *PNAS Early Edition*. 2010. P.1-8.
145. Shelepin Yu. E., Kharauzov A. K., Pronin S. V., Vakhrameeva O.A., Chikhman V. N., Fokin V. A., Foreman N. Using neuroimaging methods to localize mechanisms for making decisions concerning the ordering of textures//*Journal Optical Technology*. 2011. 78 (12). P.808 – 816.
146. Silverstein S. M., Rosen R. Schizophrenia and the eye. *Schizophrenia Research: Cognition*. 2015. №2(2). P.46–55.
147. Shoshina I. I., Shelepin Yu. E., Novikova K. O. Investigation of visual acuity in conditions of disturbance in mentally healthy people and patients with schizophrenia // *Journal of Ophthalmology (Odessa)*. 2014. №4(459). C. 71-79.
148. Stefanova N. Effects of the angle of rotation of visual objects on recognition in a time –deficit situation. – In: *Visual information processing*. Sofia. 1974. P. 109 – 114.

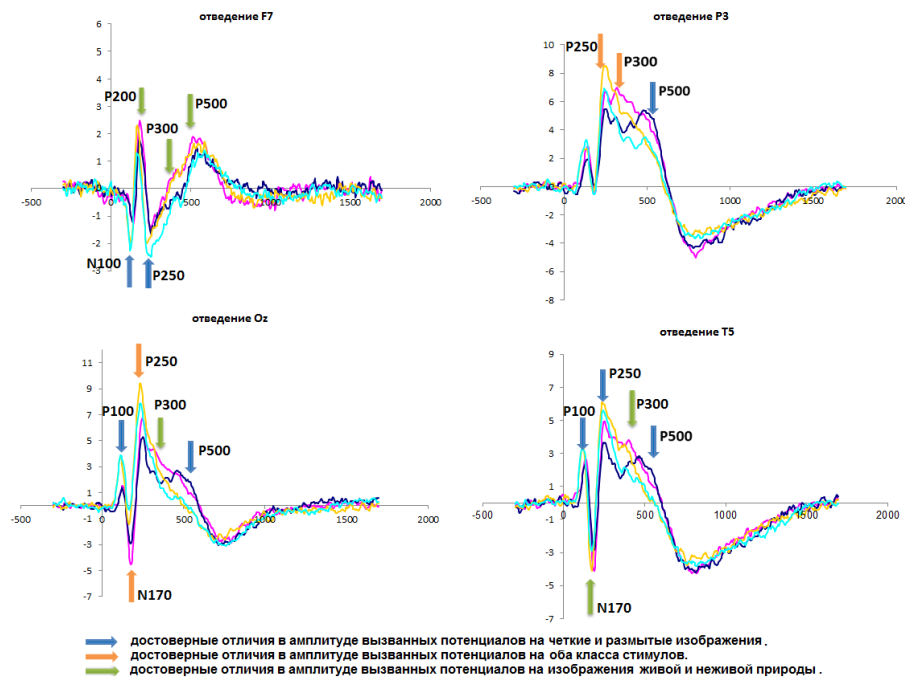
149. Stevens W. D., Tessler M. H., Peng C.S., Martin A. Functional connectivity constrains the category-related organization of human ventral occipitotemporal cortex// *Human Brain Mapp.* 2015. Vol. 36(6). P. 2187–2206.
150. Tanaka H. Face-sensitive P1 and N170 components are related to the perception of two-dimensional and three-dimensional objects // *NeuroReport.* 2018. Vol.29. №7. P.583-587.
151. Tanaka K. Inferotemporal cortex and object vision // *Neuroscience.* 1996. P.109–139.
152. Tapan G., Bijaya P., Santhosh K., Sneha A. Contribution of Brain Waves for Visual Differences in Animate and Inanimate Objects in Human Brain// *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience.* 2012. Vol. 9. №2.(10) P.233-242.
153. Verkhlyutov V. M., Marina I. V., Strelets V. B. Event-Related Spectral EEG Power on Presentation of Pseudowords and Words of the “Animate” and “Inanimate” Categories.// *Neuroscience and Behavioral Physiology.* 2014. Vol. 44. №1. P.16-23.
154. Viola P., Jones M. Robust Real-Time Object Detection // *Second international workshop on statistical and computational theories of vision—modeling, learning, computing, and sampling.* Vancouver. Canada. 2001. ([http://www.swartmore.edu/NatSci/mzucker1/e27\\_s2016/violaJones\\_1-JCV.pdf](http://www.swartmore.edu/NatSci/mzucker1/e27_s2016/violaJones_1-JCV.pdf))
155. Woldorff P.T., Matzke M., Lancaster J.L., Veeraswamy S. et al. Retinotopic organization of early visual spatial attention effects as revealed by PET and ERPs. // *Human Brain Mapping.* 1998. №5(4). P. 280-286.
156. Zania A., Marsilub G., Senerchiab A., Orlandia A., Citronc M.M., Rizzia E., Proverbio A. M. ERP signs of categorical and supra-categorical processing of visual information// *Biological Psychology.* 2015. 104. P.90–107.

# ПРИЛОЖЕНИЯ

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Инструкция испытуемым : различать изображения живой природы от неживой (21 человек, инструкция 1 "живой-неживой")

Экспериментатор анализирует амплитуду ВП на классы стимулов живой и неживой природы, а достоверные различия (по критерию Вилкоксона,  $p < 0,05$ ) обнаруживает в амплитуде вызванных потенциалов на оба класса стимулов.



Изображения стимулов живой и неживой природы, отфильтрованные на высоких пространственных частотах.



Классы стимулов:

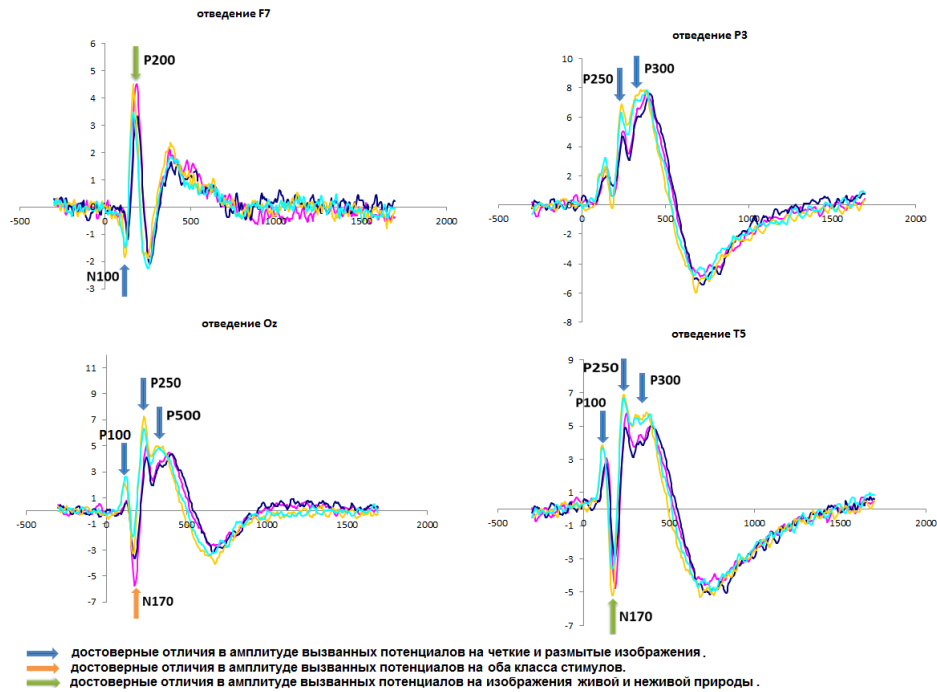
- неживые ВЧ
- живые ВЧ
- живые НЧ
- неживые НЧ

Исследование 1. Инструкция: классифицировать изображения объектов по принципу «живой/неживой» объект (21 человек).

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Инструкция испытуемым : различать четкие и размытые изображения (21 человек, инструкция 2 "четкий-размытый")

Экспериментатор анализирует амплитуду ВП на четкие и размытые изображения, а достоверные различия (по критерию Вилкоксона,  $p < 0,05$ ) обнаруживает в амплитуде вызванных потенциалов на оба класса стимулов.



Изображения стимулов неживой природы, отфильтрованные на высоких и низких пространственных частотах.



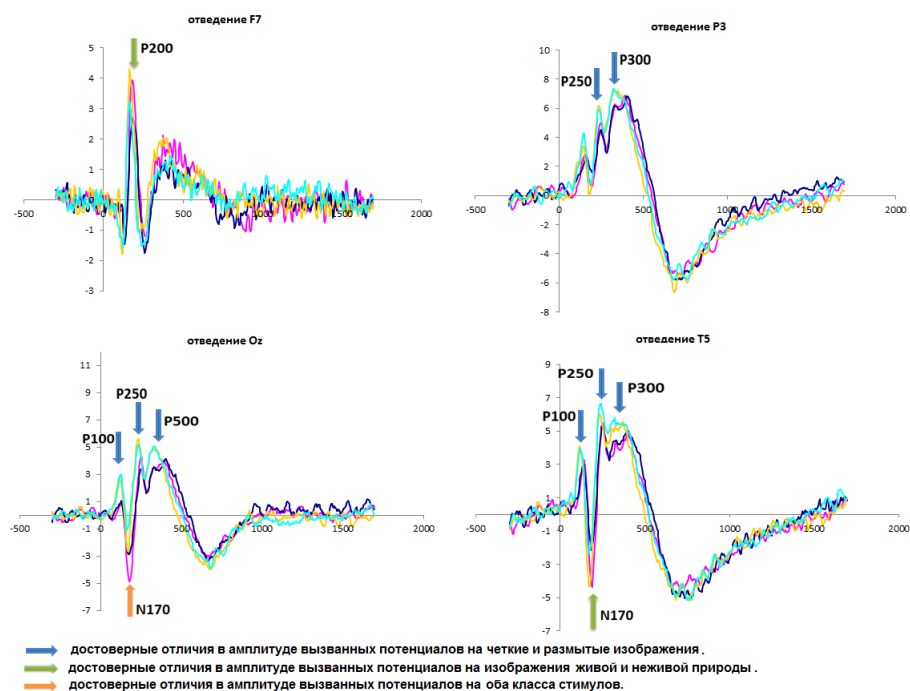
Исследование 2. Инструкция: классифицировать изображения объектов по принципу «четкий/размытый» объект. (21 человек).



## ПРИЛОЖЕНИЕ В

Инструкция испытуемым: различать четкие и размытые изображения (12 человек, инструкция 2 "четкий-размытый")

Экспериментатор анализирует амплитуду ВП на четкие и размытые изображения, а достоверные различия (по критерию Вилкоксона,  $p < 0,05$ ) обнаруживает в амплитуде вызванных потенциалов на оба класса стимулов.



Изображения стимулов неживой природы, отфильтрованные на высоких и низких пространственных частотах.



Классы стимулов:

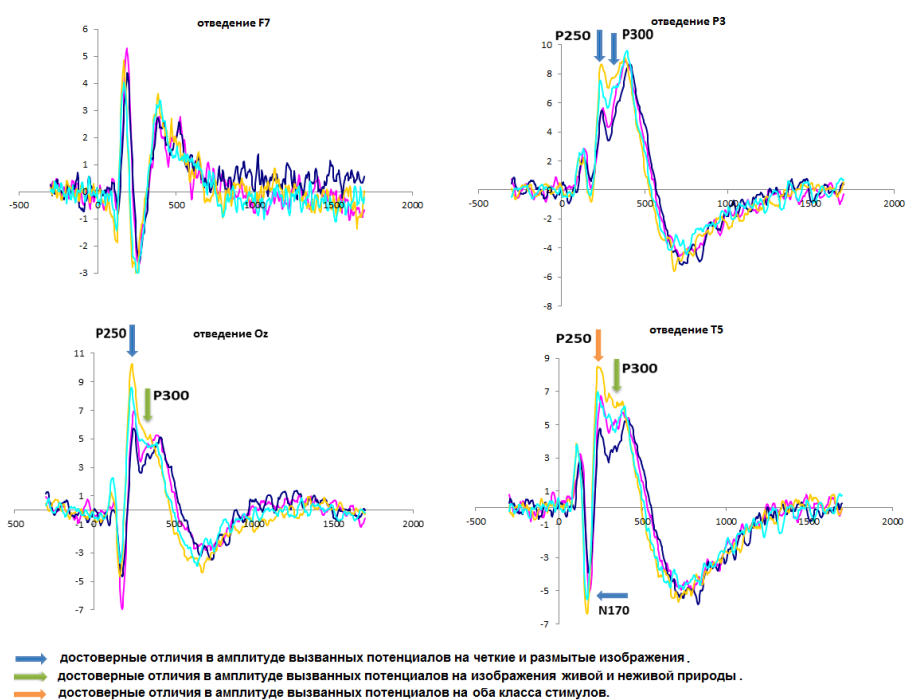
- неживые ВЧ
- живые ВЧ
- живые НЧ
- неживые НЧ

Исследование 2. Инструкция: классифицировать изображения объектов по принципу «четкий/размытый» объект. (12 человек).

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Инструкция испытуемым : различать четкие и размытые изображения ( 8 человек, инструкция 2 "четкий-размытый")

Экспериментатор анализирует амплитуду ВП на четкие и размытые изображения, а достоверные различия (по критерию Вилкоксона,  $p < 0,05$ ) обнаруживает в амплитуде вызванных потенциалов на оба класса стимулов .



Изображения стимулов неживой природы, отфильтрованные на высоких и низких пространственных частотах.



Классы стимулов:

- неживые ВЧ
- живые ВЧ
- живые НЧ
- неживые НЧ

Инструкция 2: классифицировать изображения объектов по принципу «четкий/размытый» объект. (8 человек).