

На правах рукописи

**Меньшикова Галина Яковлевна**

**ЗРИТЕЛЬНЫЕ ИЛЛЮЗИИ:  
ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ И МОДЕЛИ**

Специальность: 19.00.02 – Психофизиология  
(психологические науки)

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора психологических наук

Москва – 2014

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»

**Официальные оппоненты:** **Балин Виктор Дмитриевич** – доктор психологических наук, профессор; профессор кафедры медицинской психологии и психофизиологии ФГБОУ ВПО СПбГУ

**Мещеряков Борис Гурьевич** – доктор психологических наук, старший научный сотрудник; профессор кафедры психологии ГБОУ ВПО «Международный университет природы, общества и человека «Дубна»

**Ведущая организация:** **Белопольский Виктор Исаевич** – доктор психологических наук, профессор; заведующий редакционно-издательским отделом ФГБУН Институт психологии РАН  
Федеральное государственное научное учреждение «**Психологический институт**»  
Российской академии образования

Защита состоится 21 ноября 2014 г. в 15.00 на заседании диссертационного совета Д 501.001.15 в ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» по адресу: 125009, г. Москва, улица Моховая, дом 11, строение 9, аудитория 102.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке МГУ имени М.В. Ломоносова (г. Москва, Ломоносовский просп., д.27); на сайте факультета психологии МГУ имени М.В. Ломоносова (<http://www.psy.msu.ru/>).

Автореферат разослан \_\_\_\_\_ 2014 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 501.001.15,  
кандидат психологических наук,  
доцент



Е.Ю. Балашова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Содержанием диссертации является теоретическое и экспериментальное изучение феномена зрительных иллюзий в рамках междисциплинарного исследования, основанного на когнитивном и нейрофизиологическом подходах и проведенного автором в период с 1992 по 2012 годы. В работе представлены результаты теоретико-эмпирических исследований автора и анализ данных отечественных и зарубежных исследователей, накопленных, в основном, за последние 20 лет.

Представлена уровневая модель формирования **зрительных иллюзий (ЗИ)**, разработанная с позиций когнитивного и нейрофизиологического подходов. Зрительные иллюзии определяются как значимые, устойчивые и неосознаваемые феномены восприятия, для которых характерно неадекватное отражение свойств внешних объектов.

### **Актуальность диссертационного исследования**

Проблема ЗИ разрабатывалась со времени формирования психологии восприятия как научной дисциплины. Изображения, вызывающие переживание ЗИ, создавались известными психологами Г. Гельмгольцем, В. Вундтом, К. Коффкой и использовались в качестве демонстрации таких базовых свойств зрительного восприятия, как активность, неосознаваемость, парадоксальность. На материале ЗИ тестировались предположения о процессах формирования зрительного образа в рамках многих теоретических подходов (гештальтистского, конструктивистского, нейрофизиологического, экологического и др.). В результате экспериментальных исследований ЗИ были высказаны многочисленные гипотезы о механизмах их возникновения. Однако, несмотря на накопленный теоретический и экспериментальный материал, проблема ЗИ далека от окончательного решения. На современном этапе ее изучение обладает рядом особенностей. *Во-первых*, в научной литературе наблюдается недостаток работ, посвященных классификации ЗИ. Вопросы объединения различных ЗИ в один класс важны как для лучшей спецификации данного феномена, так и для теоретического анализа причин его возникновения, который невозможен без простейших представлений о его структуре. Разделение иллюзий на классы является также важной частью планирования экспериментальных исследований. *Во-вторых*, подавляющее число работ – это экспериментальные исследования, посвященные изучению конкретной ЗИ и обсуждению единичного гипотетического механизма ее формирования. Можно выделить лишь небольшое число работ, в которых предлагалось рассматривать феномен ЗИ как результат интеграции нескольких гипотетических механизмов, работающих одновременно или последовательно в процессе возникновения иллюзорного эффекта (S. Coren, J. Girgus, 1978; S. Grossberg, 1997; E.H. Adelson, 2000; M.A. Changizi et al., 2008; R.L. Gregory, 2009; J.O. Robinson, 2011). *В-третьих*, практически отсутствуют работы, посвященные моделированию процессов формирования ЗИ. За последнее десятилетие созданы многочисленные изображения, вызывающие переживание ЗИ, изучение которых требует применения междисциплинарного

подхода, включающего представления, разработанные в рамках когнитивного, нейрофизиологического, гештальт- и информационного подходов. Идеи интеграции различных подходов к изучению процессов зрительного восприятия активно обсуждались в ряде современных работ (D.M. Eagleman, 2001; J. Norman, 2002; Е.Н. Соколов, 2003; Ч.А. Измайлов, А.М. Черноризов, 2005; М.А. Changizi et al., 2008; S. Grossberg, 2009; J.O. Robinson, 2011). Одной из важных задач междисциплинарного подхода является анализ современных психологических, психофизических и психофизиологических данных для создание эффективной модели, способной объяснить феномен возникновения ЗИ.

Актуальность данной работы обуславливается отсутствием системного изучения феномена ЗИ в отечественной психологии. Было проведено большое число ярких и оригинальных исследований, использующих различные иллюзорные эффекты (Б.Н. Компанейский, 1940; А.Л. Ярбус, 1950; Ю.Б. Гиппенрейтер, 1978; А.Д. Логвиненко, 1976; В.В. Столин, 1976; Г.И. Рожкова, П.П. Николаев, 2006; В.А. Барабанщиков, 2009; П.Я. Гальперин, 2012). Однако в указанных работах проблема ЗИ не рассматривалась самостоятельно: предметом исследования являлся не феномен ЗИ, а различные аспекты процесса зрительного восприятия.

Исследование проблемы формирования ЗИ необходимо для развития фундаментальных знаний о познавательных процессах человека, поскольку позволяет модифицировать и уточнять классические представления о процессах формирования зрительного образа. Дальнейшее изучение психологических и психофизиологических механизмов зрительного восприятия, представленных в работах выдающихся отечественных психологов (В.П. Зинченко, 1969; А.Н. Леонтьев, 1975; С.Д. Смирнов, 1985; В.М. Аллахвердов, 2000; Е.Н. Соколов, 2003; Ю.И. Александров, 2003), требует новых данных о процессах формирования адекватных и искаженных зрительных образов. Изучение ЗИ является активно развивающейся тенденцией в мировой науке (Р.Л. Грегори, 1970; И. Рок, 1980; D.M. Eagleman, 2001; A. Kitaoka, 2003; R.L. Gregory, 2006; F. Kingdom et al., 2007; A. Shapiro, D. Todorovic, 2013). Согласно современным представлениям, процесс формирования ЗИ опосредуется двумя типами процессов, в первом из которых акцентируется роль восходящих процессов (Bottom-Up Processing) переработки информации (Е. Hering, 1874; S. Hubel, T. Wiesel, 1979; S. Zeki, 1993; S. Grossberg, 1997; Е.Н. Соколов, 2003; Ч.А. Измайлов, А.М. Черноризов, 2005), тогда как во втором подчеркивается роль нисходящих процессов (Top-Down Processing) при формировании ЗИ (H. von Helmholtz, 1862; Р.Л. Грегори, 1970, 1972; И. Рок, 1980; Е.Н. Adelson, 2000; A.D. Logvinenko, J. Kane, 2004; A.D. Logvinenko, D.A. Ross, 2005; Г.Я. Меньшикова, 2006, 2012). Несмотря на различия представлений о роли сенсорных и перцептивных составляющих в процессе формирования образа, все исследователи сходятся во мнении о том, что причиной возникновения ЗИ являются те же механизмы, которые опосредуют и формирование неискаженных зрительных образов.

Актуальность исследования ЗИ диктуется необходимостью изучения нейрофизиологических механизмов, опосредующих их формирование. В многочисленных работах была показана тесная связь особенностей функционирования мозговых процессов и феноменов зрительного восприятия (R.L. Gregory, 1968; S. Grossberg, 1997; D.M. Eagleman, 2001; Е.Н. Соколов, 2003). С одной стороны, открытие свойств отдельных нейронов, а также особенностей их взаимодействия, стимулировало нейрофизиологов искать психологические феномены, в которых проявлялись бы выявленные закономерности. Феномен ЗИ привлекал наиболее пристальный интерес, поскольку демонстрировал сильные искажения при восприятии таких простых свойств объектов, как яркость, светлота, ориентация линии. Изучение ЗИ позволило уточнить гипотезы о функциональной нейронной архитектуре зрительной системы (S. Grossberg, 1997; D.M. Eagleman, 2001). С другой стороны, открытие новых иллюзий побуждало психологов обращаться к данным нейрофизиологии для поиска нейронных коррелятов иллюзорных эффектов (R.L. Gregory, 1985, 2009; S. Grossberg, 2009). В ряде теоретических работ интенсивно обсуждались идеи междисциплинарных исследований процессов зрительного восприятия (J. Norman, 2001; Е.Н. Соколов, 2003; R.L. Gregory, 2006), основанных на нейрофизиологических и психофизических данных, в результате которых возможно более эффективное решение проблемы моделирования мозга человека.

Необходимость исследований, посвященных ЗИ, связана с современными задачами моделирования искусственных органов зрения, систем искусственного интеллекта, а также с задачами разработки когнитивных роботов. Развитие когнитивных технологий зависит от того, насколько эффективно можно запрограммировать свойственные человеку системы распознавания, контроля и принятия решения (Б.М. Величковский, 2010).

Важность изучения процессов искаженного зрительного восприятия обусловлена задачами, возникающими при внедрении в повседневную жизнь современных технологий стереозрения, одной из которых является технология виртуальной реальности. Все более актуальными становятся вопросы изучения особенностей восприятия трехмерных (3D) виртуальных сцен, наблюдаемых в 3D кино и телевидении. Анализ использования этих технологий в психологических исследованиях показал, что их применение позволяет эффективно решать большое число новых научных и прикладных задач (G. Riva, 2006; Ю.П. Зинченко и др., 2010, 2011). Выявленные особенности искажения восприятия будут способствовать созданию более качественных и экологически валидных виртуальных сред, широко применяемых в настоящий момент в самых различных областях деятельности человека - производстве, медицине, бизнесе, образовании, индустрии развлечений.

Большой интерес к изучению ЗИ связан также с практическими задачами, стоящими в области архитектуры, дизайна и живописи. В последнее десятилетие появились новые художественные направления, использующие 3D технологии для создания впечатляющих художественных образов.

**Целью** диссертационного исследования является теоретический анализ феномена зрительных иллюзий, их классификации, причин их возникновения, а также разработка модели формирования зрительных иллюзий, основанной на современных психофизических и психофизиологических данных.

**Объектом** исследования выступает феномен зрительных иллюзий.

**Предметом** исследования является структура психологических и психофизиологических механизмов, опосредующих феномен зрительных иллюзий.

**Методологические основания исследования.** В работе реализуются методологические принципы конструктивистского (Р.Л. Грегори, 1970; И. Рок, 1980), когнитивного (В.П. Зинченко, 1969; У. Найсер, 1981; Дж. Брунер, 1977; Б.М. Величковский, 2006) и нейрофизиологического (D. Hubel, T. Wiesel, 1979; S. Zeki, 1993; Е.Н. Соколов, 2003) подходов к исследованию зрительного восприятия. Исследование также строится на принципе структурно-функционального анализа (П.К. Анохин, 1975; В.Б. Швырков, 1978; Е.Н. Соколов, 2003; Ю.И. Александров, 2003).

**Гипотезы исследования.** Общая гипотеза исследования основана на предположении о том, что процесс формирования зрительных иллюзий основан на интеграции нескольких гипотетических механизмов переработки зрительной информации, работающих одновременно или последовательно в процессе возникновения иллюзорного эффекта. Разработка модели формирования зрительных иллюзий опиралась на ряд частных **гипотез**:

- В процессах формирования иллюзий задействованы те же механизмы зрительной системы, которые работают при формировании лишенного иллюзорных эффектов образа.

- Процесс формирования зрительных иллюзий является комплексной структурой, состоящей из нескольких гипотетических уровней, условно обозначенных как «низший», «средний» и «высший». На каждом из выделенных уровней действуют специфические механизмы обработки зрительной информации. На низшем уровне определяющими являются механизмы адаптации, а также выделения яркостного и цветового локальных контрастов; на среднем - эффекты группировки, принадлежности, выделения глобального контура, формирования фигуру-фоновых отношений; на высшем – когнитивные механизмы, которые, по сути, являются имплицитными знаниями о свойствах объектов внешнего мира, сформированными и закрепленными при взаимодействии субъекта с внешней средой. К ним можно отнести механизмы константности размера, формы, светлоты и цвета, соотношения между 3D формой и распределенными тенями, взаимодействия между светлотой и воспринимаемой освещенностью объекта и т.п. Гипотеза о многоуровневой структуре процесса формирования зрительных иллюзий согласуется с представлениями многих теоретических подходов к изучению

процессов формирования зрительного образа (А.Н. Леонтьев, 1975; D. Hubel, T. Wiesel, 1978; Д. Мэпп, 1987; S. Zeki, 1993; Е.Н. Соколов, 2003; R.L. Gregory, 2006).

- Структура процесса формирования иллюзий является гетерархической. В предложенных ранее моделях предполагалось, что иллюзии формируются на основе иерархического принципа (S. Coren, J. Girgus, 1978; Е.Н. Adelson, 2000), согласно которому обработка информации отдельных свойств изображения иллюзии идет поэтапно, последовательно, «снизу вверх» (Bottom-Up Processing) и развивается в соответствии с принципом «от простого к сложному». Эти представления были сформированы в соответствии с анатомическими и физиологическими данными о работе зрительного тракта (D. Hubel, T. Wiesel, 1978; M. Mishkin, L.G. Ungerleider, 1982; S. Zeki, 1993). Однако в ряде современных исследований нейронной активности зрительных зон мозга было показано, что процессы переработки не являются строго иерархическими, а включают обратные взаимодействия между выше- и нижележащими слоями зрительного тракта (S.O. Murray et al., 2004; M.L. Seghier, P. Vuilleumier, 2006; J. Hegde, D.J. Felleman, 2007; X. Wu et al., 2011). Эти данные позволяют предположить, что формирование зрительных иллюзий происходит в соответствии с гетерархическим принципом, согласно которому иллюзорный эффект является результатом одновременного взаимодействия средне- и высокоуровневых механизмов обработки информации.

- В процессах формирования зрительных иллюзий доминируют механизмы среднего и высшего уровней обработки зрительной информации. В соответствии с отдельными нейрофизиологическими моделями процессов зрительного восприятия (D. Hubel, T. Wiesel, 1979; Д. Мэпп, 1987; S. Zeki, 1993; S. Grossberg, 1993), возникновение иллюзий связывалось с процессами низшего уровня, действие которых локализовано в периферических отделах зрительного тракта. Согласно авторской позиции, основными причинами формирования зрительных иллюзий являются не сенсорные, а перцептивные процессы обработки информации, в которых задействованы механизмы среднего и высшего уровней. Причем соотношение вкладов этих уровней детерминируется наличием зрительных признаков среднего (группировка, принадлежность) и высшего (трехмерность) уровней в изображении, вызывающем переживание зрительной иллюзии.

- во взаимодействии зрительных признаков изображения, вызывающего переживание зрительной иллюзии, приводит к изменению баланса вкладов механизмов среднего и высшего уровней формирования ЗИ.

- особенности восприятия зрительных иллюзий более эффективно могут быть поняты, объяснены и прогнозируемы на основе междисциплинарного направления, основанного на когнитивном, нейрофизиологическом и гештальт-подходах к изучению зрительного восприятия.

## **Научная новизна исследования.**

Впервые проведен анализ различных классификаций ЗИ, позволяющий выделить наиболее существенные критерии для разделения их по классам. Показано, что более эффективной является классификация, основанная на выделении механизмов, опосредующих формирование ЗИ. Предложена структура взаимодействия механизмов, основанная на гетерархическом принципе организации.

Проведен анализ проблемы формирования ЗИ в рамках различных теоретических подходов к изучению зрительного восприятия (функционализм, конструктивизм, транзакционизм, гештальт-подход, когнитивный, нейрофизиологический, информационный и экологический подходы), позволяющий комплексно рассмотреть проблему их восприятия.

Разработана многоуровневая модель формирования ЗИ, согласно которой иллюзорный эффект является результатом одновременного взаимодействия средне- и высокоуровневых механизмов обработки информации.

Систематизированы возможные механизмы восходящих и нисходящих процессов, опосредующих формирование ЗИ.

Выделены и проанализированы зрительные признаки стимуляции, влияющие на формирование специфических иллюзорных эффектов, а также предсказаны эффекты изменения выраженности иллюзий при уменьшении/увеличении интенсивности этих признаков.

Впервые разработаны и апробированы оригинальные экспериментальные методики, позволяющие создавать и контролировать трехмерные ЗИ, при использовании современных HMD и CAVE технологий виртуальной реальности.

Модифицированы классические психофизические методы подравнивания, констант, прямой оценки величины и равноделения, позволяющие количественно оценить выраженность иллюзорного эффекта.

Получены данные, показывающие важную роль зрительных признаков среднего уровня в процессах формирования двумерных ЗИ. Выявлено, что классические иллюзии светлоты, традиционно объясняемые действием механизмов низшего уровня, не могут рассматриваться как сенсорные иллюзии. Для их объяснения необходимо привлекать механизмы перцептивной группировки и принадлежности, играющие доминирующую роль в процессах формирования двумерных ЗИ. В частности, на материале иллюзий Вазарели и одновременного светлотного контраста показано влияние геометрии линий изображения, вызывающего переживание ЗИ, на их выраженность.

Впервые получены данные, показывающие важную роль зрительных признаков глубины, воспринимаемой освещенности и воспринимаемого рельефа в процессах формирования трехмерных ЗИ.

Впервые созданы и исследованы различные трансформации двумерных (2D) изображений иллюзий в трехмерные (3D), которые включали изменения пространственной локализации как тестовых, так и фоновых поверхностей.



Сравнение выраженности 2D и 3D вариантов иллюзий позволило выявить роль механизмов константности в процессах формирования ЗИ.

Впервые исследованы процессы влияния трехмерного фона на выраженность светлоты тестовых поверхностей, которые позволили сформулировать новое правило артикуляции для оценки выраженности светлоты в 3D иллюзиях. Для трехмерных сцен с артикулированным фоном, где число разноярких участков различно, а число разноокрашенных объектов неизменно, выраженность 3D иллюзии остается неизменной.

Получены данные, подтверждающие предложенное авторами перцептивное уравнение (А.Д. Logvinenko, G. Ya. Menshikova, 1994; G. Ya. Menshikova, E.G. Lunjakova, 1994), связывающее такие параметры зрительного образа как светлота поверхности, ее воспринимаемая освещенность и рельеф. Суть взаимодействия указанных параметров состоит в том, что при фиксированной яркости поверхности один и тот же средне-серый участок может выглядеть темно-серым или светло-серым в зависимости от перцептивной гипотезы о его освещенности. Предложенное уравнение позволило объяснить эффекты изменения выраженности 3D иллюзий светлоты.

**Надежность и достоверность** результатов обеспечена непротиворечивостью и обоснованностью теоретических положений; соответствием используемых методов целям и задачам работы; репрезентативностью выборки испытуемых; согласованностью полученных в данном исследовании результатов с результатами, полученными в других отечественных и зарубежных исследованиях.

**Теоретическая значимость** исследования состоит в том, что впервые в отечественной психологии системно исследуется проблема формирования ЗИ.

Предложено новое решение проблемы возникновения иллюзорного эффекта в контексте представлений о многоуровневости процесса формирования зрительного образа. Особенность этого решения состоит в том, что иллюзорный эффект может формироваться не как результат последовательного воздействия механизмов восходящих процессов переработки информации, а как результат взаимодействия механизмов нисходящих и восходящих процессов. Это позволяет модифицировать и уточнять фундаментальные знания об интеграции сенсорных и перцептивных процессов.

Проведенный автором анализ различных классификаций зрительных иллюзий позволил выделить характерные особенности классов иллюзий и сформулировать оригинальный вариант классификации по механизмам формирования, организованным в соответствии с гетерархическим принципом. Предложенная классификация может быть использована в задачах моделирования мозга человека, а также для поиска нейронных коррелятов процессов формирования ЗИ.

Проведенный впервые анализ представлений о феномене ЗИ в рамках различных теоретических подходов позволил более глубоко понимать не

только различия подходов, но и их общие черты. Это позволяет сделать вывод о том, что более эффективным является междисциплинарное направление, основанное на интеграции идей и экспериментальных данных, полученных в рамках различных теоретических подходов.

Изучение закономерностей изменения выраженности иллюзорных эффектов при изменении зрительных признаков изображений, вызывающих переживание ЗИ, вносит вклад в представления о процессах формирования зрительного образа. Выделение зрительных признаков низшего, среднего и высшего уровней обработки информации, а также определение условий их взаимодействия, позволяет по-новому решать проблему перераспределения влияния механизмов среднего и высшего уровней.

Проведенные автором исследования позволили уточнить и развить теоретические представления о различии процессов зрительного восприятия при наблюдении 2D и 3D изображений. Предложен модифицированный вариант определения эффекта артикуляции, сформулированного Д. Кацем (D. Katz, 1935) для описания влияния контекста на выраженность иллюзии в 2D изображениях, вызывающих переживание ЗИ. Вместо классической формулировки, утверждающей, что эффект артикуляции усиливается, если в изображении появляется больше элементов разной яркости, предлагается авторская формулировка - «эффект артикуляции не изменяется, если при увеличении числа элементов разной яркости число объектов одинакового ахроматического цвета остается постоянным».

### **Практическая значимость.**

Апробированы и применены HMD и CAVE системы виртуальной реальности для изучения феноменов восприятия ЗИ. Разработанные методы оценки параметров трехмерных виртуальных сцен дают возможность исследовать роль отдельных зрительных признаков, а также взаимодействие нескольких зрительных признаков в процессе построения зрительного образа. Знание минимального количества зрительных признаков, необходимых для процесса опознания и различения, может помочь в создании интерфейсов нового поколения 3D дисплеев, а также создания иллюзорных эффектов в индустрии 3D компьютерных игр, 3D кино и телевидения.

Разработанные сложные трехмерные виртуальные сцены и методы регистрации ответов наблюдателя могут применяться для разработки психодиагностических методов тестирования познавательных процессов человека.

Выявленные механизмы и закономерности формирования зрительного образа могут использоваться для задач создания искусственного интеллекта, а также проектирования роботов, наделенных человекоподобными когнитивными способностями.

Результаты диссертационного исследования могут быть использованы при проектировании средств отображения информации и для оптимизации деятельности операторов.

В ходе исследований разработаны новые методические приемы для изучения процессов формирования зрительных иллюзий, позволяющие изменять зрительные признаки глубины при сохранении всех других зрительных признаков сцены неизменными.

Предложенные автором методики создания трехмерных иллюзий могут использоваться в разработке инновационных программ образования, в частности, для создания трехмерных компьютерных развивающих игр и программ.

В соответствии с целями и задачами данного диссертационного исследования, на **защиту выносятся следующие положения:**

1. Изучение феномена ЗИ эффективно проводить в рамках междисциплинарного направления, основанного на положениях различных теоретических подходов к исследованию зрительного восприятия.

2. Процесс формирования ЗИ может быть описан при помощи модели, включающей три гипотетических уровня обработки информации: низший, средний и высший.

3. Для каждого уровня характерны специфические механизмы обработки информации, опосредующие процессы формирования ЗИ. Соотношение вкладов каждого уровня в процесс формирования ЗИ не является жестко детерминированным, а может меняться в зависимости от зрительных признаков, присутствующих в изображении, вызывающем переживание ЗИ. Соответственно, эффекты выраженности иллюзии могут быть предсказаны на основе наличия/отсутствия или уменьшения/увеличения выраженности определенных зрительных признаков изображения.

4. Изменение зрительных признаков среднего уровня при сохранении локальных признаков низшего уровня может приводить к изменению выраженности ЗИ.

5. Введение зрительных признаков высшего уровня в изображение, вызывающее переживание ЗИ, может приводить к инициации когнитивных механизмов взаимодействия воспринимаемых параметров зрительного образа.

6. Для исследования роли различных зрительных признаков необходима разработка новых стимульных сред, формируемых при помощи HMD и CAVE систем виртуальной реальности. К преимуществам их использования можно отнести экологическую валидность, трехмерность, широкое поле зрения, активность наблюдателя, контролируемость параметров сцены.

7. При помощи технологии виртуальной реальности возможно создание новых видов иллюзий, например, сенсорных искажений, приводящих к нарушению целостности воспринимающей системы «глаз-голова-тело».

8. Изменение выраженности 3D иллюзий светлоты может объясняться при помощи перцептивного уравнения, связывающего такие субъективные параметры образа, как светлота поверхности, ее воспринимаемые освещенность и рельеф. Взаимодействие указанных параметров проявляется в изменении оценки светлоты поверхности при изменении гипотезы о ее освещенности, возникающей в условиях изменения рельефа.

9. Эффект артикуляции, сформулированный Д. Кацем (D. Katz, 1935) для описания влияния контекста в двумерных изображениях ЗИ, может меняться для трехмерных вариантов тех же иллюзий. Классическая формулировка, постулирующая усиление эффекта артикуляции при увеличении числа элементов разной яркости, модифицируется следующим образом: для трехмерных сцен ЗИ эффект артикуляции определяется не числом элементов разной яркости, а числом объектов, имеющих одинаковый ахроматический цвет.

### **Апробация результатов исследования.**

По теме диссертации опубликовано 46 печатных работ (общий объем – 43,78 п.л.; авторский вклад – 30,53 п.л.); из них 2 монографии, 28 статей в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки РФ для публикации результатов диссертаций (общим объемом 17,12 п.л.; авторский вклад 10,97 п.л.), 16 статей в других научных изданиях. Основные теоретические положения диссертации, а также экспериментальные результаты докладывались и обсуждались на 35 международных и 11 российских конференциях, в том числе на:

- Международных конгрессах по психологии (Берлин, Германия, 2008; Кейптаун, Южная Африка, 2012);
- Европейском конгрессе по психологии (Стамбул, Турция, 2011);
- Европейских конференциях по зрительному восприятию ECVP (Эдинбург, Шотландия, 1993; Эйндховен, Нидерланды, 1994; Страсбург, Франция, 1996; Хельсинки, Финляндия, 1997; Санкт-Петербург, Россия, 2006; Ареззо, Италия, 2007; Регенсбург, Германия, 2009; Лозанна, Швейцария, 2010; Тулуза, Франция, 2011; Альгеро, Италия, 2012; Бремен, Германия, 2013);
- Российско-китайском научном семинаре «Методология исследований в психофизиологии в России и Китае: теоретические и прикладные аспекты» (Москва, Россия, 2009);
- Международных конференциях по когнитивной науке (Москва, Россия, 2008; Томск, Россия, 2010; Калининград, Россия, 2012);
- Всероссийской научной конференции «Экспериментальная психология в России: традиции и перспективы» (Москва, Россия, 2010);
- Китайско-германо-российских симпозиумах «Cognitive Neuroscience and Psychology» (Пекин, Китай, 2011; Гамбург, Германия, 2013);
- Международной научно-практической конференции "Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности" (Санкт-Петербург, Россия, 2011);
- Международной конференции по компьютерной графике и зрению GraphiCon (Москва, Россия, 2012);
- Всероссийской научной конференции «Экспериментальный метод в структуре психологического знания» (Москва, Россия, 2012).

Работы по теме диссертации были поддержаны грантами:

ФЦП Министерства образования и науки РФ «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», Государственное соглашение

№ 8011 «Применение технологий виртуальной реальности в разработке инновационных методов изучения когнитивных процессов человека» (исполнитель, 2012-2013);

РФФИ № 06-06-80390а «Исследование влияния иерархической структуры зрительных признаков на процесс восприятия цвета поверхности» (научный руководитель, 2006-2008);

РФФИ № 09-07-00512а «Моделирование процессов восприятия цвета и анализа изображений» (научный руководитель, 2009-2011);

РФФИ № 12-07-00146а «Разработка и исследование моделей восприятия видеoinформации при помощи технологии регистрации движения глаз и методов фрактальной обработки изображений» (научный руководитель, 2012-2014).

Внедрение результатов исследований проводилось на факультете психологии МГУ имени М.В. Ломоносова, а также в филиалах МГУ в г. Ташкент (Узбекистан) и в г. Баку (Азербайджан). Они используются в лекционных и семинарских занятиях по курсу «Ощущение и восприятие»; в авторских спецкурсах «Зрительные иллюзии и их теоретическое значение», «Системы виртуальной реальности в психологических и психофизиологических исследованиях», «Парадоксы зрительного восприятия», «Современные методы психофизики», а также в занятиях практикума «Движения глаз и когнитивные процессы», читаемых автором для студентов 3-5 курсов кафедры общей психологии и кафедры психофизиологии факультета психологии МГУ.

### **Структура и содержание диссертации.**

Работа состоит из введения, 7 глав, заключения и библиографического списка, содержащего 402 наименования, из них 319 на иностранном языке. Основной текст диссертации изложен на 265 страницах, иллюстрирован 74 рисунками и 2 таблицами.

Во **Введении** обосновывается актуальность исследования, его научная новизна; определяются объект, предмет, цель и задачи исследования; указываются теоретические подходы и школы, в рамках которых строились гипотезы исследования; аргументируется его теоретическая и практическая значимость; формулируются положения, выносимые на защиту, указываются данные об апробации результатов исследования.

**Глава 1 «Теоретические основы изучения восприятия зрительных иллюзий»** посвящена обсуждению современных представлений о феномене ЗИ, проблеме определения понятия ЗИ, выделению основных свойств паттернов ЗИ, а также анализу гипотез, объясняющих их возникновение и свойства.

В §1.1 «Проблема восприятия зрительных иллюзий» анализируются причины резко возросшего за последние 30 лет интереса к феномену ЗИ. Отмечается важная роль изучения ЗИ в разработке фундаментальных проблем

психологии восприятия, в получении новых знаний о процессах формирования зрительного образа. Обсуждается интерес к ЗИ в нейронауках (D.M. Eagleman, 2001), связанный с возможностями установления соответствия между феноменами зрительного восприятия и спецификой работы нейронов и нейронных ансамблей мозга человека. Данные по исследованию ЗИ позволяют исследовать не только отдельные психологические и нейрофизиологические механизмы их формирования, но и изучать их структурную организацию, взаимодействие и иерархию. Отмечается, что интерес к феномену ЗИ обусловлен также практическими запросами конструирования визуальных приборов, мониторов нового поколения, создания «умных роботов», наделенных свойствами человеческого восприятия, внимания, мышления (В.М. Velichkovsky, 1995).

Основным содержанием §1.2 «Определение феномена зрительных иллюзий» является обсуждение проблемы выделения феноменов восприятия, которые можно определить как ЗИ. Анализируются основные трудности, связанные с представлениями о познаваемости внешних событий. Согласно агностическим концепциям теории познания, восприятие можно рассматривать в той или иной степени как иллюзию, возникающую из-за принципиальной несводимости переживания любого сенсорного качества к физическим свойствам объекта. Описываются различные определения феномена ЗИ. Отмечается, что классическое определение, согласно которому ЗИ рассматриваются как рассогласование между реальным и воспринимаемым свойством объекта, не является строгим. Рассматриваются феномены, которые невозможно классифицировать как ЗИ, несмотря на наличие такого рассогласования: особенности анатомического строения органов чувств, статистические отклонения субъективных оценок, а также искажения, которые не имеют чувственного содержания и связаны только со знаниями о свойствах объектов. Выделяются два типа определений феномена ЗИ. Согласно первому, ЗИ определяются как ошибочная оценка какого-либо свойства объекта (H. Von Helmholtz, 1862; R.L. Gregory, 1993; В.В. Любимов, 2007; Большой психологический словарь, 2003). Второй тип определений акцентирует внимание на феноменологии восприятия ЗИ, рассматривая их как изменения обычных феноменов восприятия под воздействием необычных условий наблюдения (E. Mach, 1900; R.I. Reynolds, 1988; O. Da Pos, E. Zambianchi, 1996; A. Kirpichnikov, G. Rozhkova, 2011). Выявляются существенные различия указанных типов определений, состоящие в том, что, согласно первому, восприятие делится на «истинное» (в случае адекватного отражения реального мира) и «ошибочное» (возникающее при наблюдении изображений, вызывающих переживание ЗИ), тогда как для второго восприятие «одинаково истинно» во всех случаях и опосредуется лишь адекватными/неадекватными условиями наблюдения. Отмечается, что для указанных типов определений различается оценка выраженности иллюзии: для первого типа оцениваются несоответствия между свойствами физического объекта и его перцептивного образа, тогда как для второго – несоответствия между двумя различными образами, возникающими в различных условиях наблюдения.

Мы определяем зрительные иллюзии как значимые, устойчивые и осознаваемые феномены восприятия, для которых характерно неадекватное отражение свойств объектов, возникающее в результате особой пространственной и временной организации стимуляции. Данное определение интегрирует черты двух типов определений.

**§1.3** «Основные свойства зрительных иллюзий» посвящен анализу характерных свойств изображений, вызывающих переживание ЗИ, к которым можно отнести двухмерность, элементарность, наличие сенсорного или перцептивного конфликта. Отмечаются особенности процесса их формирования – неосознаваемость, устойчивость иллюзорного эффекта при осознании ошибочности оценки, а также однонаправленность ошибок у большинства наблюдателей.

Основным содержанием **§1.4** «Представления о причинах возникновения иллюзий» является изложение современных представлений о механизмах зрительной системы, опосредующих процессы формирования ЗИ. Рассмотрены базовые механизмы работы зрительной системы – движения глаз, оптические свойства глаза, нейронные механизмы сетчатки и мозга, правила гештальт-группировки, а также механизмы, сформированные на основе знаний о свойствах объектов физического мира – механизмы константности, эффекты контраста и заполнения пространственных и временных промежутков, распределения внимания. Отмечена роль эффектов научения, адаптации восприятия к изменениям условий наблюдения, а также интеграции сигналов разной модальности в процессах формирования иллюзорного эффекта. Анализ перечисленных механизмов выявил множественность и разнородность причин возникновения ЗИ, что проявляется в отсутствии моделей, описывающих процесс их формирования, а также в характерной направленности большинства экспериментальных исследований на изучение одной конкретной иллюзии и поиск одного объяснительного механизма ее возникновения.

**Глава 2 «Классификация зрительных иллюзий»** посвящена вопросам классификации ЗИ, выделению различных оснований, позволяющих объединять некоторое множество иллюзий в отдельный класс (Г.Я. Меньшикова, 2012), анализу достоинств и недостатков различных типов классификации.

В **§2.1** «Проблема классификации зрительных иллюзий» отмечается необходимость классификации феномена ЗИ, связанная с возможностью, во-первых, выделения основных свойств исследуемого феномена, во-вторых, его более эффективной спецификации и, в-третьих, структурирования его базовых свойств и причин возникновения. Анализируются трудности выделения классов ЗИ, связанные с проблемами их определения, отсутствием общепринятой модели их формирования и представлений о процессах взаимодействия механизмов их возникновения.

В **§2.2** «Классификация по воспринимаемому параметру» представлена наиболее часто употребляемая классификация, основанная на объединении отдельных иллюзий по воспринимаемому параметру (движению, цвету,

светлоте, форме и т.д.). Преимуществом этого типа классификации является ее простота. Однако она обладает рядом недостатков, к которым можно отнести ее номинативность; направленность на внешнюю сторону описания ЗИ; неоднозначность, проявляющуюся в том, что в один класс попадают иллюзии, формируемые под действием разных механизмов; трудность применения данной классификации для иллюзий, которые формируются на основе не *одного, а нескольких* неадекватно воспринимаемых параметров, например, цвета и движения или цвета и формы.

Содержанием §2.3 «Классификация по механизмам возникновения иллюзии» является обсуждение классификации по гипотетическим механизмам формирования иллюзии, согласно которой все иллюзии, которые объясняются действием одного и того же механизма, объединяются в один класс. Предложено несколько классификаций такого типа. Одна из них (упрощенная) – разделяет все иллюзии на два класса по восходящим (Bottom-Up) и нисходящим (Top-Down) механизмам переработки информации: «Bottom-Up» иллюзии возникают под действием актуальных (созданных в настоящем) сенсорных сигналов, тогда как «Top-Down» иллюзии формируются под действием созданных в прошлом образов памяти (R.L. Gregory, 1998). Другая классификация этого типа (более детальная) предложена в работах С. Корена (S. Coren, J. Girgus, 1978) и Э. Адельсона (E. H. Adelson, 2000). Отмечаются ее достоинства, состоящие в более детальном анализе обработки информации, происходящей на нескольких уровнях, связанных с оптикой глаза, работой нейронов сетчатки и первичной зрительной коры, а также с процессами интерпретации сенсорных сигналов на основе прошлого опыта. Обсуждаются представления о строгой иерархической структуре формирования ЗИ, в соответствии с которыми они формируются поэтапно, последовательно, «снизу вверх», причем иллюзорный эффект является результатом суммарной работы механизмов всех рассмотренных уровней. Показано, что особая роль в подобной классификации ЗИ отводится нейронным механизмам отдельных участков зрительного тракта (сетчатки, ЛКТ, первичной зрительной коры), что связано с предположением о важной роли именно этих зон в процессах формирования ЗИ. Выявлены особенности этой классификации, связанные с направленностью на анатомические и функциональные особенности строения мозга; использованием принципов мультикаузальности и иерархичности, согласно которым ЗИ формируются в результате действия многих механизмов, поэтапно «снизу-вверх».

Автором предложена оригинальная классификация по механизмам формирования ЗИ, организованным в гетерархическую структуру, включающую три уровня - низший, средний и высший (Г.Я. Меньшикова, 2006; 2012; 2013; G. Menshikova, 2007; 2008; 2012). Выделены механизмы формирования ЗИ, выполняющие специфические функции: посредством механизмов низшего уровня осуществляется выделение и усиление яркостных и цветовых локальных контрастов изображения; на среднем уровне обрабатывается информация о группировке и принадлежности отдельных



элементов изображения; при помощи механизмов высшего уровня реализуются правила константности, предметности и правдоподобия. Отмечены отличительные особенности данной классификации, состоящие в том, что формирование ЗИ обусловлено действием механизмов нескольких уровней, организованных по гетерархическому принципу: не строго последовательно «снизу-вверх», а параллельно и в режиме одновременного взаимодействия низших и высших уровней; акцентирование главенствующей роли механизмов среднего и высшего уровней в процессе формирования иллюзии; описание функций уровней в терминах определенных зрительных признаков изображения, вызывающего переживание ЗИ; изменение влияния механизмов каждого уровня на выраженность ЗИ в зависимости от добавления/удаления зрительных признаков изображения. Последняя особенность позволяет объяснить вариабельность иллюзорного эффекта в зависимости от изменения зрительных признаков паттерна ЗИ.

В §2.4 «Обобщенная классификация» анализируется обобщенная классификация (R.L. Gregory, 1997; 2009), в которой учитываются одновременно и воспринимаемый иллюзорно параметр стимула и опосредующие его механизмы. Обсуждается специфика разделения иллюзий на четыре класса по воспринимаемому параметру («двусмысленности», «искажения», «парадоксы», «воображение»), каждый из которых подразделен на четыре подкласса по механизмам их формирования («оптика», «физиология», «общие знания» и «специфические знания»). Выявлены преимущества этой классификации, состоящие в возможности описания значительно более широкого спектра зрительных иллюзий и соответствующих механизмов их формирования. Отмечена доминирующая роль когнитивных механизмов, обозначенных как «специфические знания», для процессов формирования ЗИ. Из недостатков отмечается принцип монокаузальности, согласно которому конкретная ЗИ детерминируется единственным механизмом.

§2.5 «Классификация по условиям наблюдения» посвящен анализу классификации ЗИ по искажениям, вызванным неадекватными условиями наблюдения (A. Kirpichnikov, G. Rozhkova, 2011). Обсуждаются особенности разделения ЗИ на пять классов, различающихся по условиям наблюдения, в которых параметры стимуляции: 1) находятся вне рабочего диапазона; 2) порождают несколько вариантов решения; 3) не достаточно определены; 4) перекрываются влиянием дополнительных факторов; 5) конфликтуют друг с другом.

В §2.6 «Классификация по зрительным признакам о возможных перемещениях наблюдателя» анализируется классификация по зрительным признакам о возможных перемещениях наблюдателя (M.A. Changizi et al., 2008). Рассматриваются особенности гипотезы, названной «Воспринимаемое настоящее» (*perceiving the present*) и состоящей в том, что в зрительной системе существуют специальные механизмы компенсации нейронных задержек, которые позволяют заранее предсказывать возможные перемещения окружающих объектов. Согласно ей, иллюзия возникает из-за того, что

воспринимается не актуальная стимуляция, а наиболее вероятная сцена, которая появится в следующий момент времени при передвижении наблюдателя. Анализируются особенности выделения 24 классов ЗИ, различающихся по параметрам возможных перемещений, обусловленных увеличением/уменьшением воспринимаемого размера, скорости, дистанции, контраста, эксцентриситета и исчезающей точки. К недостаткам предложенной классификации относится ее низкий потенциал для систематизации всех других, кроме оптико-геометрических, иллюзий. В конце главы обобщаются результаты анализа достоинств и недостатков указанных типов классификаций. Для каждой классификации приведены демонстрационные примеры ЗИ.

В главе 3 «Теоретические подходы к изучению зрительных иллюзий» обсуждаются различные теоретические подходы к исследованию зрительного восприятия, в рамках которых исследовалась проблема восприятия ЗИ. Вначале дается краткая история развития представлений о зрительных иллюзиях со времен Аристотеля до середины 19 века, когда началось становление психологии как научной дисциплины.

В §3.1 «Функционализм», §3.2 «Конструктивизм», §3.3 «Трансакционизм», §3.4 «Гештальт-подход», §3.5 «Когнитивный подход», §3.6 «Экологический подход», §3.7 «Нейрофизиологический подход» и §3.8 «Информационный подход» формулируются основные представления о ЗИ в рамках упомянутых теоретических подходов к исследованию зрительного восприятия. Общим положением для всех подходов является гипотеза о том, что ЗИ являются результатом работы тех же механизмов, которые задействованы в процессах неискаженного восприятия. Отмечено, что причины возникновения зрительных иллюзий описываются на языке тех теоретических конструктов и методических приемов, которые свойственны выбранному подходу. Например, в когнитивном подходе для объяснения иллюзорных эффектов используется метафора уровневой обработки информации, в конструктивистском подходе акцентируется роль перцептивных гипотез, в нейрофизиологическом подходе выявляется роль взаимодействия отдельных нейронов и нейронных ансамблей, гештальт-подход использует язык группировки и контекста. Для некоторых подходов (гештальт-теория, конструктивизм, трансакционизм) ЗИ явились основным демонстрационным материалом для доказательства теоретических положений.

Особый интерес к ЗИ проявляется в нейрофизиологическом подходе (S. Grossberg, 1997; V.A. Lamme et al., 1998; D.M. Eagleman, 2001; G. Westheimer, 2008). Отмечено, что развитие нейронаук и наук о зрении происходило в режиме активного взаимодействия (R.L. Gregory, 1968; D.M. Eagleman, 2001; Е.Н. Соколов, 2003). Выявлены несколько видов зрительных иллюзий, которые успешно объяснялись в терминах активности отдельных нейронов или нейронных ансамблей. К ним можно отнести иллюзии усиления субъективного контраста, искажения наклонов линий, формирования субъективных контуров, послеэффекты цвета и движения, а также иллюзии двойственных изображений. Отмечено, что ЗИ являются

наиболее перспективным стимульным материалом для разработки моделей мозга, а также для исследований взаимодействия модульных систем мозга.

Результаты анализа представлений о ЗИ в рамках различных теоретических подходов убедительно свидетельствуют о том, что они являются не взаимоисключающими, а взаимодополняющими описаниями процессов формирования ЗИ: одни и те же иллюзии успешно объясняются в рамках различных теоретических подходов, что выявляет множественную причинность возникновения ЗИ. В связи с этим, наиболее перспективным для исследования ЗИ является междисциплинарное направление, основанное на представлениях нескольких подходов - когнитивного, нейрофизиологического, гештальт- и информационного.

В главе 4 «**Модель формирования зрительных иллюзий**» приводится описание разработанной автором модели, согласно которой иллюзорный эффект возникает благодаря работе механизмов различных уровней обработки информации, обозначенных как низший, средний и высший.

**§4.1** «Трехуровневая модель формирования зрительных иллюзий» посвящен описанию и теоретическому обоснованию предложенной нами модели формирования ЗИ. Выдвинуто несколько основных гипотез:

1. Процессы формирования иллюзорного образа не отличаются от процессов формирования лишнего иллюзорных искажений образа. Из этого следует, что при формировании ЗИ задействованы механизмы, работающие как в процессах искаженного, так и не искаженного восприятия.

2. Процесс формирования ЗИ является многоуровневым. Эта гипотеза хорошо согласуется с представлениями многих исследователей (Д. Мэпп, 1987; А.Л. Gilchrist, 1999; Е.Н. Adelson, 2000; R.L. Gregory, 2006) о том, что процессы формирования ЗИ носят мультикаузальный характер и должны быть описаны как процесс суммарного воздействия многих механизмов, имеющих свои специфические функции.

3. Выделены три уровня обработки информации - низший, средний и высший. На низшем уровне включаются механизмы адаптации, выделения яркостного и цветового локального контрастов; на среднем - процессы группировки объектов, выделения глобального контура, формирования фигура-фоновых отношений. На высшем уровне иницируются имплицитные знания о свойствах объектов, сформированные в процессах взаимодействия субъекта с внешней средой. К ним относятся механизмы константности размера, формы, светлоты и цвета, взаимодействия между 3D формой объекта и распределением теней, взаимодействие между светлотой и воспринимаемой освещенностью объекта.

4. Уровни обработки информации организованы по гетерархическому принципу. В ранее предложенных моделях предполагалось, что иллюзии формируются по иерархическому принципу (S. Coren, J. Girgus, 1978; Е.Н. Adelson, 2000), согласно которому формирование ЗИ организовано по принципу последовательной обработки информации. Мы предполагаем, что уровни формирования иллюзий работают не по принципу соподчиненности (сначала первый, затем второй и т.д.), а по принципу одновременной

обработки информации с элементами взаимодействия между уровнями (одновременно второй, третий и т.д.). Эти данные согласуются с современными нейрофизиологическими данными, показавшими, что процессы обработки зрительной информации в мозге не являются строго иерархическими, а построены на постоянно осуществляемых взаимодействиях между параллельно работающими зрительными зонами коры (S. Zeki, 1993; Hegde, Felleman, 2007; В. Rossion, С. Jacques, 2011).

5. Классификация уровней формирования иллюзии проводится на языке зрительных признаков, присутствующих в изображении, вызывающем переживание ЗИ. Подобное рассмотрение имеет ряд преимуществ, позволяющих объяснять вариабельность выраженности иллюзии в зависимости от внесения в изображение признаков конфигурации, перспективы, затененности и др.

6. Предполагается, что два уровня – средний и высший – играют доминирующую роль в процессах формирования ЗИ. Постулируется незначительная роль процессов, происходящих на низшем уровне, в формировании ЗИ. Большинство ЗИ представляют собой 2D изображения, а, следовательно, в них *всегда* представлены признаки группировки элементов изображения. Это позволяет предположить, что даже для самых элементарных изображений иллюзорный эффект опосредуется механизмами среднего уровня. В ситуации, когда в 2D изображение вводятся бинокулярные или монокулярные признаки глубины, элементы изображения могут интерпретироваться как некоторая огрубленная схема контуров 3D внешних объектов, находящихся от наблюдателя на разной глубине (Р.Л. Грегори, 1970), что может приводить к инициации механизмов высшего уровня.

7. Соотношение вкладов механизмов среднего и высшего уровней детерминируется наличием зрительных признаков глубины в изображении, вызывающем переживание ЗИ. Предложена классификация иллюзий, опосредованных механизмами среднего и высшего уровней. Иллюзорный эффект, вызываемый изображениями, в которых отсутствуют монокулярные или бинокулярные признаки глубины, объясняется на основе механизмов группировки и принадлежности элементов паттерна (Г.Я. Меньшикова, Н.В. Полякова, 2008; Г.Я. Меньшикова и др., 2011). Иллюзорный эффект, возникающий при наблюдении изображений, в паттернах которых присутствуют признаки глубины, детерминируется механизмами высшего уровня (Г.Я. Меньшикова, Е.Г. Луныкова, 1996; Г.Я. Меньшикова, 2006; Г.Я. Меньшикова и др., 2009).

Согласно выдвинутым гипотезам, предложена схема процессов формирования ЗИ (рис. 1), на которой представлены гипотетические низший, средний и высший уровни.



**Рисунок 1.** Модель формирования зрительных иллюзий.

Отличие данной модели от ранее предложенных моделей состоит в том, что:

- процесс формирования иллюзии не является строго иерархическим, а проходит параллельно и одновременно на нескольких уровнях;
- низший уровень играет незначительную роль в процессах формирования иллюзий;
- основную роль в этом процессе играют средний и высший уровни;
- в процессе формирования существует взаимодействие между уровнями, что позволяет объяснить пластичность изменения выраженности иллюзии при добавлении в сцену зрительных признаков конфигурации, глубины и др.;
- вопрос об отнесении зрительной иллюзии к среднему или высшему классу решается в соответствии с предложенным нами критерием: по наличию зрительных признаков глубины в изображении иллюзии.

**§4.2** «Зрительные признаки паттерна иллюзии» посвящен анализу различных зрительных признаков изображений, вызывающих переживание ЗИ. Выделяются зрительные признаки, инициирующие механизмы низшего, среднего и высшего уровней. К зрительным признакам, инициирующим механизмы низшего уровня, относятся элементарные качества паттерна - цвет, яркость, наклон линии, форма, размер, движение и другие. Они носят локальный характер, лишены предметности, унимодальны. К зрительным признакам, инициирующим механизмы среднего уровня, относятся признаки группировки, принадлежности, симметричности и т.д., описанные в рамках гештальт-подхода. Они отличаются тем, что распределены в пространстве и, следовательно, отражают интегральную характеристику нескольких локальных признаков низшего уровня в пределах всего стимульного поля. Они носят глобальный характер, лишены предметности. К зрительным признакам, инициирующим механизмы высшего уровня, относятся признаки глубины, которые представлены в паттерне иллюзии как монокулярными, так и

бинокулярными признаками. Отмечается, что бинокулярный признак диспаратности является одним из наиболее информативных признаков, вызывающих специфическое переживание пространственности. Проведен анализ работ, тестирующих роль этого признака в процессах формирования ЗИ. Выявлена неоднозначная роль признака диспаратности, проявляющаяся в том, что выраженность ЗИ, согласно одним данным, резко уменьшалась, а, согласно другим, - не изменялась при введении этого признака в паттерн ЗИ. Обозначены возможные причины противоречивости результатов, связанные с процессами интеграции зрительных признаков изображения. Рассмотрены предложенные ранее модели интеграции признаков. При условии отсутствия конфликтов между признаками работает модель вероятностной суммации признаков (cue combination hypothesis), согласно которой вклад каждого признака происходит со своим весовым коэффициентом (J.P. Frisby et al., 1995). При наличии в зрительной сцене сильно конфликтующих признаков, включается модель взаимодействия признаков, основанная на гипотезе доминирования (cue dominance hypothesis). Согласно ей, тот зрительный признак, который в данной ситуации является более сильным, подавляет остальные признаки (B. Gillam, C. Ryan, 1992). В том случае, если конфликтуют два одинаково сильных зрительных признака, запускается процесс соревнования (switching cue process), когда одна и та же внешняя сцена порождает восприятие то одного, то другого образа (R. Van Ee et al., 2002).

В §4.3 «Демонстрации влияния зрительных признаков разного уровня» приводятся примеры изменения выраженности ЗИ светлоты при добавлении в изображение определенных зрительных признаков, подтверждающие основные положения предложенной модели формирования ЗИ. К иллюзиям, опосредованным механизмами низшего уровня, относят те иллюзии (полоска и гармошка Маха, «решетка Германа», иллюзия Вазарели), основными признаками которых являются резкие перепады яркости. Иллюзии, опосредованные механизмами среднего уровня, формируются под действием принципов группировки и принадлежности («Кольцо Коффи», «Крест Бенари»). В иллюзиях, формируемых под действием механизмов высшего уровня, определяющими становятся имплицитные знания о свойствах объектов внешней среды. Приводится пример иллюзии Д. С. Книлла и Д. Керстена (D.C. Knill, D. Kersten, 1991), в которой добавление монокулярных признаков глубины приводит к резкому уменьшению иллюзии светлотного контраста.

В главе 5 «Технологии виртуальной реальности для исследования процессов зрительного восприятия» обсуждаются вопросы использования новейших технологий для научных исследований в области психологии зрительного восприятия и психофизиологии.

§5.1 «Принципы работы технологии виртуальной реальности» посвящен описанию принципов работы технологии виртуальной реальности (VR), в частности, в §5.1.1 описывается устройство системы CAVE, и в §5.1.2 – системы HMD, установленных на факультете психологии МГУ имени

М.В. Ломоносова в рамках Программы развития МГУ. Кратко перечисляются основные блоки работы этих систем, включающие: систему управляющих компьютеров; систему визуализации; принцип создания стереоизображения; отслеживание позиции пользователя в ВР среде; устройства взаимодействия с виртуальной средой; принципы программного обеспечения.

Содержанием **§5.2** «Преимущества использования технологии виртуальной реальности для психологических исследований» является анализ достоинств и недостатков использования технологии ВР для психологических исследований (Ю.П. Зинченко и др., 2010; Yu.P. Zinchenko et al., 2011). В качестве основных достоинств выделяются: контроль и изменение параметров виртуальной среды; высокая степень экологической валидности; трехмерность и полимодальность стимуляции; возможности исследования эффектов периферического поля зрения; двигательная активность наблюдателя; одновременная регистрация поведенческих, психофизических и психофизиологических реакций в режиме реального времени. Обсуждаются новые проблемы, возникающие при использовании технологии ВР: необходимость разработки нового понятийного аппарата таких ключевых понятий, как «виртуальное сознание», «виртуальные миры», «виртуальное действие» (Н.Б. Маньковская, В.В. Бычков, 2007); трудности визуализации ряда психологических задач (Ю.П. Зинченко и др., 2010); проблемы разграничения способов погружения субъекта в виртуальный мир (В.Б. Дорохов, 2006); отрицательное воздействие современных технологий на психическое развитие и структуру мотивации субъекта (А.Ш. Тхостов, К.Г. Сурнов, 2005; А.Ш. Тхостов, В.А. Емелин, 2010).

В **§5.3** «Возможности использования технологии виртуальной реальности в психофизиологических исследованиях» анализируются проблемы применения технологии ВР в психофизиологических исследованиях. Обсуждается круг задач, эффективное решение которых возможно с использованием психофизиологических методик регистрации реакций наблюдателя в системах ВР. К ним относятся: измерение степени погружения человека в виртуальный мир; оценка эффективности концентрации внимания; оценка функционального состояния (страхи, боли, стрессы) в экстремальных ситуациях. Обсуждаются вопросы использования традиционных психофизиологических показателей - электрокардиограммы, электромиограммы, плетизмограммы, кожно-гальванической реакции, электроэнцефалограммы - в системах ВР. Отмечается возможность совмещения технологий ВР с современными методами неинвазивной визуализации активности мозга (*ПЭТ, фМРТ*), что позволяет на новом уровне исследовать нейронную активность мозга (Т.В. Черниговская, 1998). Обсуждаются перспективы использования ВР технологий в одной из новых областей исследований - вычислительной нейроанатомии (Д.И. Пицхелаури и др., 2008).

Содержанием **§5.4** «Применение систем виртуальной реальности для создания новых зрительных иллюзий» является обсуждение ЗИ нового типа, формирование которых стало возможным благодаря использованию систем

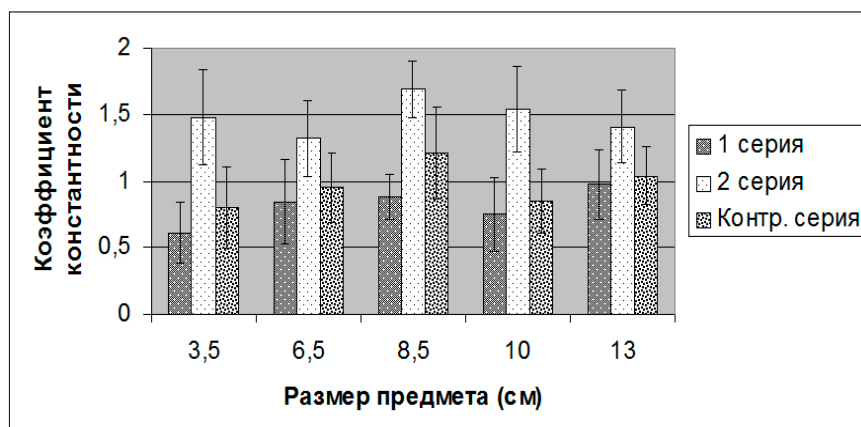
ВР. Выделены особенности стимуляции этого типа иллюзий, представленной не в виде 2D изображения на экране монитора или листе бумаги, а в виде виртуальных 3D объектов, окружающих наблюдателя со всех сторон. Обсуждается несколько типов новых иллюзий. *Иллюзия «выход из тела»* (out-of-body effect), для формирования которой инициируются противоречивые зрительные ощущения, дополненные тактильными ощущениями (Н.Н. Ehrsson, 2007; 2012). Подобная организация стимуляции приводит у большинства наблюдателей к восприятию чужого тела как своего собственного, а дополнительное «включение» тактильных ощущений может усиливать или ослаблять этот феномен. Модифицированные варианты *иллюзии индуцированного движения собственного тела* (ИИД), возникающей у наблюдателя после нахождения в среде, которая глобально вращалась вокруг него. После окончания стимуляции наблюдателю кажется, что вращались не окружающие объекты, а его собственное тело, поскольку он испытывает характерные ощущения, возникающие в результате вращения собственного тела (отсутствие стабильности видимого мира, тошнота, головокружение, плохая координация движений). Отмечены преимущества использования НМД и CAVE технологий для инициации ИИД, состоящие в возможности изменения различных параметров виртуального окружения (яркости, текстуры, скорости вращения), в усложнении способов его вращения относительно наблюдателя, а также в возможности изменения степени предметности стимуляции, что позволяет более эффективно исследовать соотношение низкоуровневых и высокоуровневых механизмов формирования ИИД. Иллюзия *искажения воспринимаемого пространства*, суть которой состоит в систематической переоценке/недооценке пространственных параметров виртуальной среды (ВС). Анализируется феномен анизотропности виртуального пространства: его «растянутость» по глубине и адекватность представления во фронтальных координатах (M.N. Geuss et al., 2012). Обсуждается влияние различных зрительных признаков для компенсации этой переоценки, в частности наличия линии горизонта для уменьшения искажений (R. Messing, F.H. Durgin, 2005). Отмечается роль различных статических и динамических зрительных признаков для формирования когнитивных карт пространства ВС (R.A. Ruddle, S. Lessels, 2006; B. Bodenheimer et al., 2009), а также необходимость наличия не только зрительных кинестезий, но и тактильных и вестибулярных признаков для успешной навигации в ВС. Обсуждаются возможности исследования индивидуальных стратегий использования аллоцентрических и эгоцентрических зрительных признаков для успешного формирования когнитивных карт ВС. Отмечено, что наиболее впечатляющей новой иллюзией является *иллюзия погружения в ВС* (*Presence effect*), состоящая в том, что у наблюдателя возникает ощущение реальности виртуальных объектов и собственного присутствия в ВС.

В §5.5 «Исследование иллюзии искажения пространства при помощи НМД системы виртуальной реальности» приводится авторское исследование нового типа ЗИ, возникающей при специфическом искажении воспринимаемого пространства, создаваемого посредством технологии ВР.



Искажения создавались при помощи оригинальной установки, состоящей из НМД шлема ВР и видеокамер, изображение с которых подавалось на мониторы шлема ВР. Видеокамеры исполняли роль виртуальных глаз, и изменение их локализации в пространстве создавало эффект «вынесения» виртуальных глаз вне головы наблюдателя. Формировались два типа искажений: в первом веб-камеры крепились на штыве на расстоянии 20-30 см выше головы наблюдателя и были жестко связаны с ее движениями; во втором веб-камеры располагались на колене наблюдателя, что приводило к необычному ракурсу наблюдения внешней сцены: «виртуальные» глаза были локализованы ниже обычной позиции наблюдения сцены, причем их перемещения осуществлялись в соответствии не с движениями головы, а с движениями нижних конечностей. Пространственные искажения должны были привести к нарушениям работы воспринимающей системы «глаз-голова-тело» (Дж. Гибсон, 1988), поскольку при этом нарушалась согласованность между движениями наблюдателя и изменениями структуры оптического потока, вызванными этими движениями. Гипотеза исследования состояла в том, что искажения восприятия должны быть незначительными для первого типа рассогласования целостности системы «глаз-голова-тело», и значимыми - для второго типа рассогласований. Количественная оценка степени искажения восприятия проводилась на материале феноменологии ощущений, которые наблюдатели испытывали на начальной стадии адаптации и, во-вторых, на основе оценки константности восприятия размера. В исследовании принимали участие 16 человек (6 мужчин и 10 женщин) в возрасте от 17 до 25 лет с нормальным или скорректированным зрением. Эксперимент состоял из трех серий. В первой и второй экспериментальных сериях веб-камера прикреплялась, соответственно, над головой или на колене испытуемого, а в контрольной третьей серии - на уровне его глаз. В каждой серии испытуемые выполняли 2 задания: во-первых, описывали свои ощущения относительно восприятия размеров своего тела, своих рук и ног, трудности в реализации движений, реальности окружающих объектов; во-вторых, оценивали размеры 5 предметов методом прямого шкалирования. Качественный и количественный анализ описаний при выполнении 1-го задания показал, что: зрительная сцена воспринимается в целом нереальной и отчужденной; части собственного тела – чужеродными; ориентация в пространстве затруднена; появляются трудности поддержания равновесия при ходьбе. Подобные феноменальные свойства окружающего мира наблюдались и для такого типа сенсорных искажений, как инвертированное зрение (А.Д. Логвиненко, 1981). Качественное сравнение описаний показало, что для первого типа искажений наблюдалась: недооценка размеров окружающих объектов, роста людей, а также размеров собственных рук и ног, тогда как для второго типа – их сильная переоценка. Результаты выполнения 2-го задания позволили количественно оценить степень изменения воспринимаемых размеров объектов для различных типов искажений. Были рассчитаны средние значения коэффициентов константности размера для 1-ой, 2-ой и контрольной серий по всей выборке испытуемых. Полученные значения и их стандартные

отклонения представлены на рис. 2. По оси абсцисс отложены оцениваемые размеры предметов (в см), по оси ординат – значения коэффициентов константности размера. Для оценки значимости различий коэффициентов константности, полученных в 1-ой, 2-ой и контрольной сериях, использовался непараметрический критерий Вилкоксона для связанных выборок. Достоверными считались различия при  $p < 0,05$ . Значимые различия ( $T=9,1$  при  $p < 0,05$ ) выявлены только при сравнении 2-ой и контрольной серий, что говорит о том, что только второй тип искажений существенно влияет на процесс оценки размеров. Появляется эффект сверхконстантности, что проявляется в переоценке размеров окружающих предметов, а также размеров собственных конечностей.



**Рисунок 2.** Коэффициент константности размера в зависимости от пяти значений размера предметов для 1-ой, 2-ой и контрольной серии.

Для первого типа искажений константность восприятия размера нарушалась незначимо. Показано, что технология ВР предоставляет уникальные возможности для исследования новых зрительных иллюзий, в частности, для исследования сенсорных искажений, создаваемых при «вынесении виртуальных глаз» наблюдателя вне системы «глаз-голова». Выявлено различное влияние двух способов искажений на функционирование воспринимающей системы: при согласованном движении «виртуальных глаз» и головы наблюдателя константность восприятия нарушается незначительно; рассогласование системы «глаз-голова» приводит к резкому снижению константности восприятия размеров окружающих предметов, а также размеров собственных конечностей.

В главе 6 «Исследование гештальт-механизмов формирования иллюзий» рассматривается проблема влияния механизмов низшего и среднего уровней на процессы формирования иллюзорных эффектов. Согласно предложенной модели, механизмы низшего уровня носят локальный характер и, в связи с этим, не являются определяющими для формирования ЗИ. Для объяснения иллюзорных эффектов, возникающих при восприятии самых элементарных паттернов ЗИ, необходимо учитывать механизмы более

высокого среднего уровня, отвечающего за эффекты группировки отдельных элементов изображения.

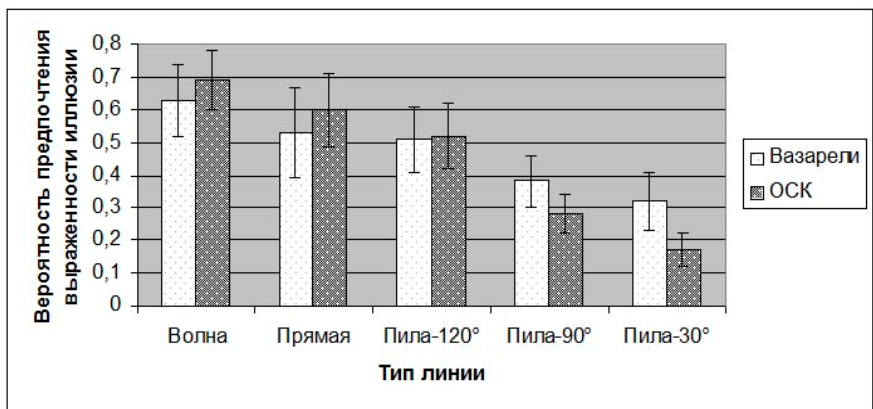
В § 6.1 «Введение: постановка проблемы» обсуждается гипотеза о важной роли механизмов среднего уровня для формирования ЗИ. Основным аргументом в пользу предложенной гипотезы является тот факт, что большинство зрительных иллюзий представляют собой 2D изображения, а, значит, в них всегда представлены конфигуративные признаки группировки и принадлежности. Рассматривается вопрос о том, насколько конфигуративные эффекты могут влиять на выраженность иллюзий, которые традиционно относят к классу сенсорных, т.е. опосредованных механизмами низшего уровня. Отмечено, что для иллюзий светлоты выделено сравнительно небольшое число сенсорных иллюзий, которые объяснялись при помощи действия механизма латерального торможения нейронов сетчатки (G. Von Békésy, 1967). К ним традиционно относят полосу и гармошку Маха, решетку Германа, иллюзию Вазарели и иллюзию одновременного светлотного контраста (ОСК), паттерны которых составлены из прямых границ перепадов яркости. Однако, в последнее время в ряде работ получены данные, свидетельствующие о том, что некоторые из указанных иллюзий не могут быть объяснены на основе только сенсорных механизмов (A.D. Logvinenko et al., 2005; P.H. Schiller, C.E. Carvey, 2005; S.A. Wallis, M.A. Gerogeson, 2012). Анализ результатов упомянутых работ показывает, что выраженность иллюзий изменяется при неизменности локальных признаков, опосредующих возникновение иллюзии, и является результатом глобальных признаков изменения группировки элементов изображения.

Содержанием § 6.2 «Исследование влияния геометрии линий на выраженность иллюзий Вазарели и одновременного светлотного контраста» является описание экспериментального исследования, в котором тестировалась гипотеза о влиянии механизмов среднего уровня на формирование двумерных ЗИ. Исследовались две иллюзии сенсорного уровня – Вазарели и ОСК, паттерны которых состоят из квадратов, имеющих различные размеры и яркость. В изображениях указанных иллюзий представлены различные конфигуративные признаки, одним из которых является геометрия линий, соединяющих углы квадратов. Под геометрией линии мы понимаем совокупность ориентаций локальных линий, составляющих глобальную линию между углами квадратов. Например, глобальная линия, воспринимаемая как «прямая», может состоять из различных по ориентации локальных линий. Сформулирована гипотеза исследования, состоящая в том, что выраженность иллюзий Вазарели и ОСК изменится, если изменять ориентацию локальных линий при сохранении глобальных контуров квадратов неизменными. Предполагалось, что в условиях, когда контур состоит из локальных линий одной ориентации (прямая линия) или линий, мало отличающихся по ориентации друг от друга (волнообразная линия), эффекты группировки локальных линий достаточно сильны, что приводит к выраженному иллюзорному эффекту в оценке светлоты/яркости фигуры. Если же контур состоит из локальных линий

оппонентной ориентации (пилообразная линия), эффекты группировки ослабевают, что приводит к уменьшению выраженности иллюзии. Особенность исследования состояла в том, что локальные признаки, опосредующие, согласно классическим гипотезам, возникновение иллюзий Вазарели и ОСК, оставались неизменными.

В эксперименте принимали участие пятнадцать испытуемых (10 женщин и 5 мужчин в возрастном диапазоне от 17 до 36 лет) с нормальным или скорректированным до нормального зрением. Для тестирования были созданы модификации паттернов иллюзий Вазарели и ОСК, в которых прямые линии заменялись на волнообразные или пилообразные линии. Использовались пилообразные линии трех типов, для которых зубчики были составлены из тупых ( $120^\circ$ ), прямых ( $90^\circ$ ) и острых уголков ( $30^\circ$ ). Эксперимент состоял из 2-х частей. В 1-ой части на экране монитора предъявлялись иллюзия Вазарели и ее модификации, во 2-ой - иллюзия ОСК и ее модификации. Для построения шкалы предпочтения выраженности иллюзий использовался метод парных сравнений Терстоуна. Испытуемым предъявлялись попарно все модифицированные изображения иллюзий и предлагалось оценить, на каком из них иллюзия выглядит более выраженной. Статистическая обработка данных проводилась при помощи статистического пакета SPSS 17.0.

В результате проведенного исследования получены порядковые шкалы выраженности иллюзий Вазарели и ОСК в зависимости от геометрии линий, образующих контуры квадратов. На рис. 3 представлена гистограмма вероятности предпочтения выраженности иллюзии в зависимости от типа линии контура.



**Рисунок 3.** Вероятность предпочтения выраженности иллюзий Вазарели и ОСК в зависимости от геометрии линий, образующих контур фигуры.

Значения вероятности, усредненные по 20 повторам и по всей выборке испытуемых, представлены светлыми столбиками для иллюзии Вазарели и темными столбиками - для иллюзии ОСК. Вертикальными линиями отмечены стандартные отклонения. Полученные результаты показали, что для обеих иллюзий изменение геометрии линий привело к характерным изменениям их выраженности. Выявлен порядок предпочтения выраженности иллюзий (в

направлении от более сильной к более слабой). Более выраженными воспринимались иллюзии, паттерны которых имели контуры, составленные из волнообразных линий, менее выраженными – из прямых линий (классический вариант). Далее - по убывающей степени выраженности, шли иллюзии, паттерны которых имели контуры, составленные из пилообразных линий, причем в следующей последовательности: тупые углы ( $120^\circ$ ), затем прямые углы ( $90^\circ$ ) и, наконец, острые углы ( $30^\circ$ ). Оценку различимости между значениями вероятности предпочтения проводили с помощью t-критерия Стьюдента. Нулевую гипотезу отвергали для  $p < 0,05$ . На основании статистического анализа выявлены значимые различия восприятия следующих пар иллюзий Вазарели: «прямая - волнообразная» ( $t(30) = 2.84, p < 0.01$ ); «прямая – пилообразная  $120^\circ$ » ( $t(30) = 2.77, p < 0.01$ ); «прямая – пилообразная  $90^\circ$ » ( $t(30) = 3.52, p < 0.005$ ); «прямая – пилообразная  $30^\circ$ » ( $t(30) = 5.72, p < 0.001$ ). Аналогично выявлены значимые различия восприятия пар иллюзий ОСК: «прямая - волнообразная» ( $t(30) = 2.77, p < 0.01$ ); «прямая – пилообразная  $90^\circ$ » ( $t(30) = 2.93, p < 0.01$ ); «прямая – пилообразная  $30^\circ$ » ( $t(30) = 3.44, p < 0.05$ ). Не обнаружено значимых различий между вероятностями предпочтений для иллюзий ОСК, паттерны которых были составлены из прямых и пилообразных линий с тупыми углами ( $t(30) = 1.86, p = 0.07$ ).

Полученные шкалы выраженности иллюзорного эффекта показывают, что воспринимаемая яркость по диагоналям квадрата для иллюзии Вазарели, а также различия в светлоте тестовых квадратов иллюзии ОСК зависят не только от локальных параметров паттерна иллюзий, но и от геометрии линий, связывающих углы квадратов между собой. Выявлено, что, чем более сильно искажаются локальные линии, составляющие контур квадратов в иллюзиях Вазарели и ОСК, тем менее выраженной становится иллюзия. Характер изменения ориентации локальных линий (волнообразный или пилообразный) вносит различный вклад в процесс восприятия иллюзий: линии, составленные из оппонентных по ориентации зубчиков, разрушают иллюзорный эффект, тогда как небольшие изменения ориентации локальных линий, усиливают иллюзию. В случае, когда ориентация локальных линий одинакова (прямая линия) или мало изменяется (волнообразная линия), иллюзорный эффект немного увеличивается как для иллюзии Вазарели, так и для иллюзии ОСК. Полученные результаты позволяют сформулировать несколько важных выводов, которые подтверждают предложенную модель формирования ЗИ: 1) выраженность иллюзий Вазарели и ОСК зависит от геометрии линий, образующих контуры квадратов иллюзий; для обеих иллюзий замена локальных прямых линий на волнообразную линию приводит к увеличению иллюзорного эффекта, тогда как замена прямой на пилообразную линию уменьшает его; чем более сильно различается ориентация локальных линий, тем менее выражен иллюзорный эффект; 2) иллюзии Вазарели и ОСК неправомерно относить к разряду сенсорных иллюзий: в их формировании определяющую роль играют не механизмы латерального торможения ганглиозных клеток сетчатки, а нейронные механизмы более высокого уровня, например, механизмы взаимодействия ориентационных нейронов первичной

зрительной коры; 3) проведенное исследование позволяет ввести критерий, по которому можно определить вклад механизмов среднего уровня в процесс формирования ЗИ: если при помощи изменения конфигуративных признаков можно изменить выраженность иллюзии, то ее нельзя классифицировать как иллюзию, опосредованную механизмами низшего уровня.

**Глава 7 «Исследование когнитивных механизмов формирования иллюзий при помощи технологии виртуальной реальности»** посвящена проблеме влияния механизмов высшего когнитивного уровня на процессы формирования ЗИ. В соответствии с предложенной автором моделью, механизмы высшего уровня проявляются в ситуации, когда в паттернах ЗИ появляются зрительные признаки, несущие информацию о свойствах среды. К наиболее значимым признакам такого типа относится признак глубины, вызывающий переживание пространственности зрительной сцены. Введение этого признака в паттерны ЗИ приводит к трансформации классических 2D изображений ЗИ в 3D иллюзии, в которых отдельные элементы (линии, участки разной яркости или цвета) локализованы в трехмерном пространстве.

В §7.1. «Введение: постановка проблемы» обсуждается проблемы восприятия трехмерных ЗИ. Отмечено, что их исследование является одной из новых, мало изученных задач. За последние несколько лет в научной литературе началось активное обсуждение этой проблемы (Kitazaki, 2008; G.M. Redding, D.W. Vinson, 2010; Г.Я. Menshikova, 2012), обусловленное несколькими причинами. Во-первых, их исследование поможет понять различие между восприятием 2D и 3D стимуляции, что в настоящее время особенно актуально в связи с быстрым развитием и внедрением технологий 3D кино и телевидения. Во-вторых, полученные данные уточнят представления о процессах поэтапного формирования ЗИ, что, в свою очередь, может способствовать созданию нейронных моделей процессов восприятия с учетом информации о глубине. В-третьих, изучение 3D иллюзий поможет верифицировать различные теоретические подходы к изучению процессов формирования зрительного образа. Проведенный анализ немногочисленных работ и демонстраций, посвященных 3D иллюзиям, выявил противоречивость и неоднозначность полученных результатов. Все исследования можно условно разделить на две группы. К первой отнесены работы, в которых в паттерны ЗИ добавлены монокулярные признаки глубины. Подобные трансформации 2D паттернов ЗИ в одних случаях не изменяли выраженность иллюзии (K. Van Ittersum, B. Wansink, 2012), в других - уменьшали ее выраженность или приводили к полному исчезновению иллюзорного эффекта (А.Л. Ярбус, 1950; D.C. Knill, D. Kersten, 1991). Ко второй группе отнесены исследования, в которых 2D паттерны иллюзий трансформированы в 3D сцены при помощи добавления бинокулярных признаков глубины. Общие результаты этой группы также противоречивы. В одних исследованиях показано уменьшение выраженности иллюзий, тогда как в других – неизменность их выраженности (А.Д. Logvinenko, J. Kane, 2004; Г.Я. Меньшикова, 2012; Г.Я. Меньшикова и др., 2013).

Для объяснения противоречивости описанных выше результатов была рассмотрена предложенная автором уровневая модель формирования иллюзий, которая предполагает, что вклад отдельных механизмов в процесс формирования ЗИ зависит от наличия определенных зрительных признаков в сцене. Согласно этой модели, для 2D изображений доминируют механизмы среднего уровня, тогда как введение бинокулярных признаков глубины инициирует механизмы высшего уровня (G.Ya. Menshikova, 2006; 2007; 2012). Введение признаков глубины позволяет изменять локализацию и ориентацию отдельных элементов паттерна иллюзии в 3D пространстве. Подобные трансформации приводят к тому, что интерпретация 3D сцены ЗИ осуществляется по другим правилам относительно правил, характерных для 2D паттерна. Изменение выраженности иллюзии может происходить по нескольким сценариям. В первом предполагается, что она может полностью исчезнуть, что связано с доминированием механизмов высшего уровня и подавлением механизмов более низких уровней. Во втором предполагается, что при 2D→3D преобразовании иллюзия не изменит своей выраженности, что показывает незначимость механизмов высшего уровня в процессе ее формирования. В третьем сценарии 2D→3D преобразование может привести к уменьшению/увеличению выраженности иллюзии, что связано с взаимодействием механизмов среднего и высшего уровней. Степень и направленность изменений выраженности ЗИ позволяет детально рассмотреть вклад механизмов различных уровней, а также уточнить роль механизмов высшего уровня в процесс формирования трехмерных ЗИ. Одним из важных вопросов изучения 3D иллюзий является вопрос о том, какие механизмы высшего уровня определяют их выраженность.

В § 7.2. «Перцептивное уравнение, связывающее светлоту поверхности, ее рельеф и воспринимаемую освещенность» рассмотрен один из возможных механизмов высшего уровня, определяющий выраженность иллюзий светлоты, – механизм константности светлоты, который описывается при помощи перцептивного уравнения, связывающего такие субъективные параметры образа, как воспринимаемая освещенность, рельеф и светлота. Для объяснения константности восприятия в классических теориях было высказано предположение о существовании различных компенсаторных механизмов, с помощью которых зрительная система «исправляет» искажения сетчаточного образа (E.G. Voring, 1942; A.N. Holway, E.G. Voring, 1941). Позже для его объяснения была предложена гипотеза инвариантных отношений (W. Epstein et al., 1961; W. Epstein, J. Park, 1963; W. Epstein, 1982), которая, в отличие от классических представлений, предполагает, что сенсорный параметр может задавать не один, а соотношение сразу нескольких воспринимаемых параметров образа. В рамках этой концепции классическая схема формирования образа "физический параметр – сенсорный параметр – субъективный параметр образа" трансформируется в схему "два взаимосвязанных физических параметра объекта – сенсорный параметр – два взаимосвязанных воспринимаемых параметра образа". Согласно этой схеме, процесс построения образа определяется соотношением наиболее вероятных

значений двух воспринимаемых параметров, определяемых общей смысловой структурой сцены. В соответствии с гипотезой инвариантных отношений разработана модель восприятия ахроматического цвета поверхности (A.D. Logvinenko, G.Ya. Menshikova, 1994). Под ахроматическими традиционно понимаются цвета в бело-серо-черном континууме. Физическим параметром, характеризующим окрашенную в ахроматический цвет поверхность, является коэффициент отражения  $N$ . На сетчатку попадает отраженный от поверхности свет, яркость  $Y$  которого детерминируется не только коэффициентом отражения  $N$ , но и интенсивностью  $E$  падающего на поверхность света. В образе восприятия представлены субъективные корреляты физических параметров  $N$  и  $E$  – это, соответственно, светлота  $N$  и воспринимаемая освещенность поверхности  $E$ . В ряде экспериментов было показано, что оценка светлоты происходит с учетом воспринимаемой освещенности поверхности (J. Beck, 1972; A. Kozaki, K. Noguchi, 1976). Для изучения количественных характеристик взаимосвязей светлоты и воспринимаемой освещенности поверхности автором разработан и апробирован метод, состоящий в изменении одного из воспринимаемых параметров при неизменности всех сенсорных параметров стимуляции. Для этого использовались иллюзии псевдоскопического изменения рельефа, которые давали возможность исследовать взаимосвязь светлоты и воспринимаемой освещенности при иллюзорном изменении рельефа поверхности (A.D. Logvinenko, G.Ya. Menshikova, 1994; G.Ya. Menshikova, E.G. Luniakova, 1994; G.Ya. Menshikova, 2006). Полученные результаты позволили сформулировать перцептивное уравнение, связывающее яркость поверхности  $Y$ , светлоту  $N$  и воспринимаемую освещенность  $E$ , которое можно записать в виде:

$$Y = k \times E \times N \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент пропорциональности (A.D. Logvinenko, G.Ya. Menshikova, 1994; Г.Я. Меньшикова, Е.Г. Луныкова, 1996).

В §7.3 «Роль зрительного признака глубины при восприятии иллюзий светлоты» приведено экспериментальное исследование 3D иллюзий с использованием НМД системы виртуальной реальности на материале иллюзий светлоты. Анализ работ, в которых исследовалась роль глубины в процессах восприятия иллюзий светлоты (Г.Я. Меньшикова, 2012), показал, что однозначного ответа на этот вопрос получить не удалось. Одни исследования показали зависимость оценки светлоты тестового участка от наличия признака глубины (W. Wolff, 1933; L. Kardos, 1934; A. Gilchrist, 1977; G.Ya. Menshikova, A. Nechaeva, 2011), тогда как другие выявили слабое влияние этого признака (S. Coren, 1969; B. Julesz 1971; Q. Zaidi et al., 1997). Дискуссия о противоречивости полученных данных проводилась в рамках двух общепринятых теоретических подходов к изучению восприятия светлоты поверхности - альbedo-гипотезы (H. von Helmholtz, 1866) и гипотезы копланарных отношений (A. Gilchrist et al., 1999). Первый подход (альbedo-гипотеза), постулирующий важную роль воспринимаемого освещения для оценки светлоты поверхности, предполагает доминирование процессов



высшего уровня в формировании иллюзорного эффекта. Второй подход (гипотеза копланарных отношений) утверждает, что светлота может быть оценена через отношение яркости тестового участка поверхности к яркости других поверхностей в сцене, которое зависит от степени принадлежности тестового участка к фоновой поверхности сцены. Это предполагает, что доминирующими в формировании иллюзий светлоты являются процессы среднего уровня. Для выявления роли признака глубины в процессе формирования иллюзий светлоты автором проведено исследование на материале иллюзии ОСК, в котором решались следующие задачи: изучение изменений выраженности иллюзии при внесении признаков глубины в классическое 2D изображение, вызывающее переживание иллюзии ОСК; изучение характера изменений выраженности – ослабление/усиление иллюзорного эффекта при 2D → 3D трансформации паттерна иллюзии; тестирование адекватности положений указанных выше теоретических подходов для объяснения полученных результатов.

Исследовалась выраженность иллюзии ОСК в зависимости от различных трехмерных локализаций тестовых и фоновых квадратов. Согласно рассмотренным теоретическим подходам, изменение пространственной локализации должно привести к изменению выраженности иллюзорного эффекта, однако, причины и направление этих изменений должны быть различны. В соответствии с альбедо-гипотезой, изменение выраженности иллюзии будет являться результатом изменения оценки воспринимаемой освещенности, связанной с изменением взаимного пространственного расположения тестовой и фоновой поверхностей (А.Д. Logvinenko, Г.Уа. Menshikova, 1994; Г.Я. Меньшикова, Е.Г. Лунякова, 1996; Г.Я. Меньшикова, 2006; 2012). В ситуации, когда в паттерне ЗИ нет выраженных признаков местонахождения источника освещения (нет распределенных или отброшенных теней), в зрительной системе формируется имплицитная гипотеза об освещении сверху (С.А. Venson, А. Yonas, 1973). Изменение наклона тестового квадрата по направлению к гипотетическому источнику освещения может привести к переоценке его воспринимаемой освещенности, что, согласно альбедо-гипотезе, приведет к недооценке его светлоты. В ситуации, когда тестовые квадраты изображения, вызывающего переживание иллюзии ОСК, будут наклонены в разные стороны так, что для одного из них оценка воспринимаемой освещенности возрастет, а для другого - уменьшится, выраженность иллюзии должна измениться. Если же тестовые квадраты будут ориентированы одинаково относительно гипотетического источника освещения, выраженность иллюзии не изменится. Таким образом, иллюзорный эффект должен либо усиливаться, либо уменьшаться в ситуации разных наклонов тестовых поверхностей и оставаться неизменным в ситуации одинаковых наклонов. В соответствии с гипотезой копланарных отношений, оценка светлоты зависит от связности всех элементов в изображении ЗИ. Если тестовые поверхности будут «выдвигаться» из плоскости фона, то это приведет к нарушению принципа «принадлежности» элементов, что должно

привести к уменьшению выраженности иллюзии вне зависимости от пространственной ориентации квадратов.

В эксперименте приняли участие 37 человек (12 мужчин и 25 женщин) в возрасте от 17 до 30 лет с нормальным или скорректированным зрением. В качестве стимульного паттерна был выбран так называемый артикулированный вариант иллюзии ОСК. Различные 3D конфигурации иллюзии формировались при помощи стереопар изображения, созданных в программе Photoshop CS2 9.0. Значение диспаратности для стереопар было постоянным и равным 10 px. Созданы 5 различных 2D-3D конфигураций тестовых и фоновых квадратов: 2D - классический дисплей иллюзии ОСК; 3D-2 – тестовые квадраты выдвинуты параллельно над фоновыми квадратами; 3D-3 – тестовые квадраты наклонены под одинаковыми углами к фоновым квадратам; 3D-4а и 3D-4б – тестовые квадраты наклонены под разными углами к фоновым квадратам; 3D-5а и 3D-5б – фоновые квадраты наклонены под разными углами к фронтальной случайно-точечной поверхности подобно конфигурациям 3D-4а и 3D-4б. Для оценки выраженности иллюзии использовался метод констант. Для этого созданы 42 стереопары с различными значениями яркости тестовых квадратов. Для предъявления 2D-3D конфигураций иллюзии ОСК использовался шлем виртуальной реальности eMagin Z800 3D Visor. Последовательность предъявления стимулов формировалась в программе MediaLab v2008. 1.33. Каждая из 42 стереопар повторялась в этой последовательности 10 раз. Время предъявления каждой стереопары составляло 5 секунд. Задача испытуемого заключалась в том, чтобы оценить, какой из одинаковых серых тестовых квадратов казался ему более светлым. Статистическая обработка данных производилась в программе SPSS 17.0.

Получены психометрические функции для 2D и 6 различных 3D конфигураций, при помощи которых рассчитаны значения выраженности иллюзии ОСК для каждого испытуемого и для каждой пространственной конфигурации. Расчет проводился по следующей формуле:

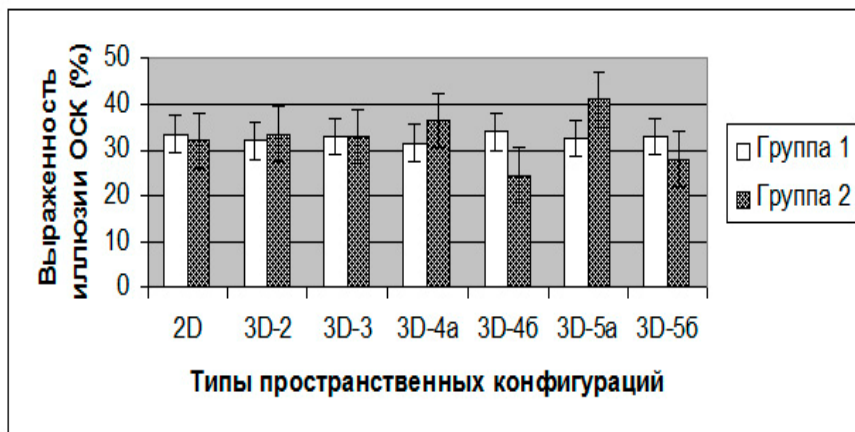
$$IS = (P_{3D}/P_{2D} - 1) \times 100\% \quad (2)$$

где **IS** – значение выраженности иллюзии, а  $P_{3D}$  и  $P_{2D}$  – 50% вероятности ответов «светлее» для 3D и 2D конфигураций, соответственно.

Анализ индивидуальных значений выраженности иллюзии позволил выделить 2 группы испытуемых. Значения выраженности иллюзии усреднены по каждой группе отдельно. Результаты представлены на гистограмме (рис. 4). По оси X отложены типы пространственных конфигураций, по оси Y – значения выраженности иллюзии, рассчитанные согласно формуле (2).

Для 1-ой группы (38% всей выборки испытуемых) выраженность иллюзии менялась незначимо в зависимости от типа пространственной конфигурации ( $t(72) = 1.86$ ,  $p = 0.05$ ). Для 2-ой группы (56% выборки испытуемых) выявлены значимые различия восприятия иллюзии для типа 4а-4б ( $t(72) = 2.77$ ,  $p < 0.01$ ), а также для типа 5а-5б ( $t(72) = 2.82$ ,  $p < 0.01$ ) 3D конфигураций модифицированной иллюзии ОСК. Результаты показали

увеличение иллюзорного эффекта для 4а, 4б конфигураций и, напротив, его уменьшение для 5а, 5б конфигураций.



**Рисунок 4.** Выраженность иллюзии одновременного светлотного контраста (ОСК) в зависимости от пространственной конфигурации для двух групп испытуемых.

Полученные данные проанализированы с позиций двух теоретических подходов - гипотезы копланарных отношений и альбеда-гипотезы. Согласно гипотезе копланарных отношений, пространственное отделение тестовой поверхности от фоновой должно привести к снижению признака принадлежности, а значит к уменьшению значений **IS** выраженности иллюзии. Причем, это уменьшение должно быть одинаковым для разных типов 3D конфигураций, поскольку в данной гипотезе не учитывается ориентация оцениваемых поверхностей. Результаты, представленные на гистограмме 4, не подтвердили эти предсказания. Для первой группы испытуемых не найдено значимого уменьшения выраженности иллюзии, а для второй группы испытуемых получено уменьшение выраженности иллюзии только для случаев 3D-4б и 3D-5б, что не соответствует гипотезе копланарных отношений. В соответствии с альбеда-гипотезой, изменение значений **IS** должно произойти только для тех 3D конфигураций, где тестовые/фоновые квадраты воспринимались по-разному освещенными. Для конфигураций 2D, 3D-2 and 3D-3 тестовые квадраты были наклонены одинаково по отношению к гипотетическому верхнему источнику света. Полученные результаты показали неизменность значений **IS** для указанных конфигураций. Для конфигурации 3D-4а, 3D-4б, 3D-5а и 3D-5б тестовые и фоновые квадраты были наклонены по-разному по отношению к гипотетическому источнику света, что привело к изменениям значений **IS**, соответствующим предсказаниям альбеда-гипотезы. Исследование иллюзии ОСК для различных 2D-3D конфигураций, показало, что выраженность иллюзии изменяется для разных 3D конфигураций по-разному. Для тех конфигураций, где воспринимаемая освещенность оставалась неизменной, выраженность иллюзии ОСК не изменялась. Для тех конфигураций, где воспринимаемая освещенность изменялась, иллюзия уменьшалась или увеличивалась, в зависимости от наклона тестируемых участков по отношению к гипотетическому источнику освещения. Выявлены

дифференциальные различия в оценке светлоты у разных испытуемых, проявляющиеся в том, что часть испытуемых (38% всей выборки) игнорировала признаки глубины, тогда как другая часть (52% выборки) учитывала эти признаки при оценке светлоты. Сравнение двух современных моделей восприятия светлоты – альbedo-гипотезы и гипотезы копланарных отношений – выявило, что изменения выраженности 3D иллюзии ОСК хорошо объясняются в рамках альbedo-гипотезы, что позволяет выделить воспринимаемую освещенность поверхности как основной параметр для оценки светлоты в 3D сценах. Эти данные подтверждают одно из предположений предложенной автором модели, в котором подчеркивается важная роль механизмов высшего уровня в процессах формирования трехмерных ЗИ. Согласно ему, чем более комплексной и хорошо интерпретируемой (предметной) является зрительная сцена, тем сильнее проявляется влияние механизмов константности светлоты на процессы формирования ЗИ.

В §7.4 «Эффект артикуляции в трехмерных зрительных иллюзиях» приведены данные экспериментального исследования, посвященного изучению эффекта артикуляции в сценах с 2D и 3D фоном на материале иллюзии ОСК. В школе гештальт-психологии был обнаружен и исследован эффект артикуляции, который определялся как влияние сложности зрительной сцены на оценку светлоты тестового участка поверхности (D. Katz, 1935). Ранее этот эффект изучался на материале двумерных изображений. Был поставлен вопрос о том, по каким правилам осуществляется артикуляция в сложных трехмерных сценах. В таких сценах на восприятие светлоты могут оказывать влияние два параметра: количество участков разной яркости и количество трехмерных объектов разного ахроматического цвета, окружающих тестовую поверхность. В проведенном исследовании изучался вопрос о том, какой из указанных параметров является доминирующим в 3D сценах.

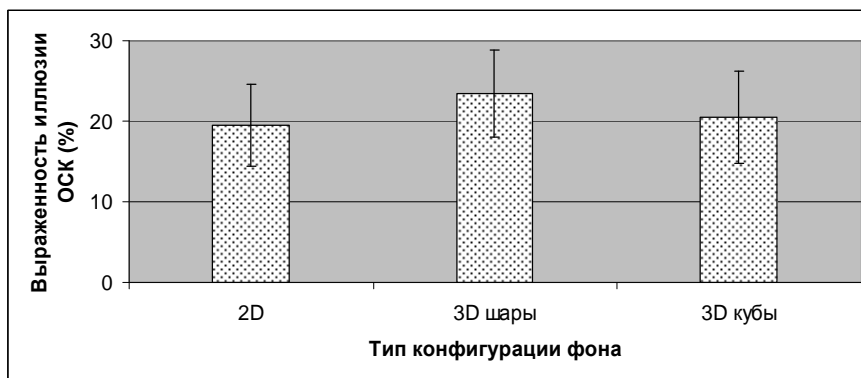
Ранее при изучении эффекта артикуляции сформулировано правило, согласно которому увеличение степени артикуляции в пределах референтного поля приводит к более точной оценке светлоты тестируемого участка поверхности (D. Katz, 1935). Под степенью артикуляции понималось количество разноокрашенных участков поверхности, окружающих тестовый участок, а под референтным полем – равномерно освещенное поле, внутри которого они находились. Правило артикуляции, предложенное Д. Кацем, было подтверждено в ряде экспериментальных исследований (W. Burzlaff, 1931; R.H. Henneman, 1935; A. Gelb, 1938). Позже это правило было пересмотрено (A. Gilchrist, V. Annan, 2002): предлагалось заменить устаревшее понятие «поля» (field), введенное в гештальттеории, термином «рамка» (framework), поскольку благодаря концепции «рамок» возможно более успешно объяснить искажения в оценке светлоты. Модифицированное правило артикуляции было сформулировано следующим образом: чем больше степень артикуляции в пределах рамки, тем существеннее влияние самого яркого участка сцены («якоря») на светлоту тестового участка. Однако, и в

классических, и в современных теориях эффект артикуляции рассматривался для 2D изображений. Возникает вопрос о том, как можно описать процесс артикуляции для 3D сцен? Проблема заключается в том, что в реальных условиях тестовые участки окружают, как правило, не 2D, а 3D объекты, у которых имеются различные участки, по-разному ориентированные в пространстве по отношению к источнику освещения. Поэтому проекция 3D объекта на сетчатку представлена не одним (как для 2D объекта), а несколькими разнояркими участками. Таким образом, для 2D сцен число разноокрашенных участков совпадает с числом разноярких участков сетчаточного образа, тогда как для 3D сцен число разноокрашенных объектов всегда меньше числа участков разной яркости на сетчатке. На основании вышеописанной проблемы можно предположить две формулировки правила артикуляции для 3D сцен: 1) артикуляция определяется количеством участков разной яркости в сцене; этот тип артикуляции обозначен автором как «яркостная» артикуляция; 2) артикуляция определяется числом различно окрашенных 3D объектов, каждый из которых представлен несколькими разнояркими участками на уровне сетчаточного образа, но перцептивно воспринимается как один целостный объект однородной окраски; этот тип обозначен как «объектная» артикуляция. Для исследования этого вопроса предполагалось сравнить выраженность иллюзии ОСК в сцене, где фон составлен из фиксированного числа 2D разноокрашенных участков, с ее выраженностью в сцене, для которой 2D участки заменялись на 3D объекты той же окраски (например, кубы или шары). На сетчаточном уровне проекции 2D участков имели однородную яркость, тогда как проекции 3D объектов - неоднородную яркость, что связано с распределенными тенями по поверхности кубов и шаров. Если артикуляция определяется числом разноярких участков 3D сцены, то изменение числа участков должно привести к усилению выраженности иллюзии в соответствии с модифицированным правилом артикуляции, предложенным А. Гилкристом и В. Аннаном (A. Gilchrist, V. Annan, 2002). Напротив, если артикуляция определяется числом разноокрашенных объектов в 3D сцене, тогда выраженность иллюзии не изменится.

Двадцать пять испытуемых (13 женщин и 12 мужчин в возрастном диапазоне от 17 до 36 лет) с нормальным или скорректированным до нормального зрением приняли участие в данном исследовании. Артикулированный 2D вариант иллюзии ОСК использовался как базовый паттерн для создания различных 3D конфигураций фоновой поверхности. Во всех 3D конфигурациях присутствовали тестовые серые квадраты, выдвинутые вперед (ближе к наблюдателю) относительно фоновых поверхностей. Созданы три различно артикулированных варианта фона. Первый вариант представлял собой плоские 2D квадраты, второй – 3D шары и третий – 3D кубы, имеющие ту же окраску, тот же размер и то же местоположение, что и плоские 2D квадраты. Во всех 3D конфигурациях количество объектов фона и их воспринимаемый цвет оставались неизменными, то есть «объектная артикуляция» была одинаковой. Что же касается «яркостной артикуляции», то

она была разной для всех трех вариантов. Грани каждого куба и разные части поверхности шаров были по-разному ориентированы относительно источника света и, соответственно, по-разному освещены, что приводило к появлению распределенных теней по их поверхности. Это, в свою очередь, приводило к увеличению числа участков разной яркости на уровне сетчаточного образа сцены. Для оценки выраженности иллюзии использовался метод констант. Для этого созданы 28 стереопар с различными значениями яркости тестовых квадратов. Стереопары предъявлялись в системе виртуальной реальности CAVE Varco ISpace 4. Эксперимент состоял из 3-х серий, в каждой из которых предъявлялся свой тип конфигурации 3D фоновых поверхностей. Каждая серия состояла из 70 проб – по 10 проб на каждое из 7 значений переменного стимула. Последовательность стимулов в пределах серии была квазислучайной. Каждая серия длилась 6-8 мин. Задача испытуемого заключалась в том, чтобы оценить, какой из одинаковых серых тестовых квадратов казался ему более светлым. Статистическая обработка данных производилась в программе SPSS 17.0.

Для оценки выраженности модифицированной 3D иллюзии ОСК построены психометрические функции для каждой конфигурации и каждого участника исследования. Выраженность иллюзии рассчитывалась по формуле (2). Результаты, усредненные по всей выборке, представлены на рис. 5. На оси абсцисс обозначены типы конфигураций фона, по оси ординат отложены значения выраженности иллюзии в процентах. Вертикальными отрезками отмечены стандартные отклонения полученных величин.



**Рисунок 5.** Выраженность иллюзии одновременного светлотного контраста (ОСК) для трех типов конфигураций фона, состоящих из 2D плоских участков, 3D шаров и 3D кубов.

Значимых различий в выраженности иллюзии между вариантами с различными типами артикулированных фонов обнаружено не было: значения не различались для всех пар конфигураций фона: «2D квадраты - 3D шары» ( $t(24) = 1.88, p > 0.05$ ); «2D квадраты - 3D кубы» ( $t(24) = 0.29, p > 0.05$ ); а также «3D шары - 3D кубы» ( $t(24) = 2.22, p > 0.01$ ). Результаты показали неизменность выраженности иллюзии при трансформациях фона из 2D варианта в различные 3D варианты, что хорошо согласуется с выдвинутой

нами гипотезой об эффекте артикуляции для сложных трехмерных сцен. Согласно ей, артикуляция определяется не числом разноярких участков фона, как предполагалось в классическом правиле артикуляции, предложенном Д. Кацем (D. Katz, 1935), а также в модифицированном правиле, предложенном А. Гилкристом и В. Аннаном (A. Gilchrist, V. Annan, 2002), а числом разноокрашенных 3D объектов. Каждый из этих объектов может быть представлен не одним, а несколькими разнояркими участками на уровне сетчаточного образа сцены, в зависимости от формы 3D объекта. При 2D→3D трансформации фона происходит увеличение числа участков разной яркости на уровне сетчаточного образа, однако на уровне перцептивного образа число разноокрашенных объектов остается неизменным. Поскольку в эксперименте число окрашенных 3D объектов фона оставалось постоянным при трансформации «2D квадраты → 3D шары → 3D кубы», и выраженность иллюзии при этих трансформациях не изменялась, автором предложено модифицированное правило артикуляции для процесса восприятия 3D иллюзий. Это правило определяет степень артикуляции как количество трехмерных объектов различного ахроматического цвета.

Проведенный теоретический анализ проблемы восприятия ЗИ, анализ нейрофизиологических, психофизических и психологических данных по их изучению, а также полученные автором экспериментальные результаты по исследованию выраженности 2D и 3D зрительных иллюзий позволяют сделать следующие **выводы**:

1. Сравнение определений феномена зрительных иллюзий, данных различными исследователями, выявило два определения, одно из которых определяет зрительные иллюзии как различия в воспринимаемом и физическом качестве объекта, тогда как другое рассматривает их как изменения обычных феноменов восприятия под воздействием необычных условий наблюдения. Проведенный анализ позволил сформулировать модифицированное определение, более полно отражающее специфику этого феномена: зрительные иллюзии - значимые, устойчивые и осознаваемые феномены восприятия, для которых характерно искаженное отражение свойств объектов, возникающее в результате особой пространственной и временной организации стимуляции.

2. В результате анализа выделены основные свойства зрительных иллюзий: двухмерность, элементарность, наличие сенсорного или перцептивного конфликта, неосознаваемость процесса формирования, осознаваемость результата, устойчивость иллюзорного эффекта, а также однонаправленность ошибок у большинства наблюдателей.

3. Анализ представлений о процессах формирования зрительных иллюзий в рамках основных теоретических подходов к изучению зрительного восприятия - функционализма, конструктивизма, транзакционизма, гештальт-, когнитивного, экологического и информационного подходов - показал, что они являются не взаимоисключающими, а взаимодополняющими описаниями

процессов восприятия зрительных иллюзий. В связи с этим, наиболее перспективным для их исследования является междисциплинарное направление, основанное на интеграции теоретических положений нескольких подходов.

4. Анализ различных механизмов, опосредующих формирование зрительных иллюзий, позволил выделить основные причины их возникновения, связанные с движениями глаз, оптикой глаза, нейронными механизмами сетчатки и мозга, принципами гештальт-группировки, а также перцептивными закономерностями формирования образа иллюзии.

5. Впервые проведен анализ классификаций зрительных иллюзий по различным основаниям – по воспринимаемому параметру; по механизмам, опосредующим формирование иллюзии; по условиям наблюдения; по зрительным признакам возможных перемещений наблюдателя. Предложена авторская классификация механизмов формирования иллюзий, организованных в соответствии с гетерархическим принципом, согласно которому действие механизмов различных уровней происходит не строго последовательно «снизу вверх», а параллельно и в режиме одновременного взаимодействия. Данная классификация является наиболее эффективной, поскольку она использует принцип мультикаузальности, ориентирована на выявление базовых анатомических и функциональных особенностей строения мозга, а также позволяет эффективно объяснять вариативность зрительных иллюзий.

6. Разработана модель восприятия зрительных иллюзий, включающая три уровня обработки информации, условно обозначенные как низший, средний и высший. Для каждого уровня выделены специфические механизмы формирования ЗИ. На низшем уровне доминируют периферические механизмы сенсорных процессов, к которым можно отнести выделение яркостного и цветового локальных контрастов; на среднем уровне преобладают механизмы группировки отдельных элементов изображения; на высшем уровне включаются перцептивные правила формирования образа, к которым можно отнести механизмы константности, взаимодействия между 3D формой, светлотой и воспринимаемой освещенностью объекта.

7. Согласно предложенной модели, два уровня – средний и высший – играют доминирующую роль в процессе формирования зрительных иллюзий. Их относительный вклад определяется наличием определенных зрительных признаков в изображении, вызывающем переживание иллюзорного эффекта. Иллюзии можно определить как иллюзии среднего уровня, если в двумерном изображении отсутствуют монокулярные признаки перспективы. Для них иллюзорный эффект объясняется на основе механизмов группировки и принадлежности элементов изображения. Если в изображении присутствуют бинокулярные признаки глубины, начинают доминировать механизмы высшего уровня и иллюзии, возникающие при наблюдении этих изображений, можно определить как иллюзии высшего уровня.

8. Разработаны и апробированы модифицированные психофизические методы подравнивания, констант, прямой оценки величины, парных сравнений



и равноделения для оценки выраженности двумерных и трехмерных зрительных иллюзий.

9. Результаты анализа психофизиологических и когнитивных исследований зрительного восприятия, проведенных с применением технологии виртуальной реальности, свидетельствуют о возможности создания нового класса зрительных иллюзий.

10. При помощи НМД системы виртуальной реальности проведены эксперименты по исследованию нового типа сенсорных искажений - «вынесения виртуальных глаз» наблюдателя вне воспринимающей системы «глаз-голова-тело». Выявлено различное влияние двух способов искажений на функционирование системы «глаз-голова-тело»: при согласованном движении «виртуальных глаз» и головы наблюдателя константность восприятия нарушается незначительно; рассогласование системы «глаз-голова» приводит к резкому снижению константности восприятия размеров окружающих предметов, а также размеров собственных конечностей.

11. Выявлена важная роль механизмов среднего уровня в процессах формирования двумерных зрительных иллюзий. Экспериментально доказано влияние геометрии линий, образующих контуры фигур, на выраженность иллюзий Вазарели и одновременного светлотного контраста. Показано, что замена локальных прямых линий на волнообразную линию приводит к увеличению иллюзорного эффекта, тогда как замена на пилообразную линию уменьшает выраженность иллюзии. Вариабельность иллюзорного эффекта свидетельствует о неправомерности отнесения иллюзий Вазарели и одновременного светлотного контраста к разряду так называемых сенсорных иллюзий, поскольку локальные признаки, опосредующие возникновение иллюзий, оставались неизменными в ходе эксперимента. Предложено привлекать к их объяснению более высокоуровневые нейронные механизмы, опосредующие процессы гештальт-группировки.

12. Эксперименты по исследованию влияния бинокулярного признака глубины на выраженность трехмерных зрительных иллюзий, проведенные при помощи CAVE системы виртуальной реальности, выявили роль воспринимаемой освещенности на процесс восприятия иллюзорного эффекта. Для тех 3D конфигураций иллюзии одновременного светлотного контраста, где воспринимаемая освещенность оставалась неизменной, выраженность иллюзии не изменялась. Напротив, для конфигураций, где воспринимаемая освещенность изменялась, выраженность иллюзии уменьшалась или увеличивалась в зависимости от наклона тестируемых участков по отношению к гипотетическому источнику освещения. Результаты подтвердили альбедо-гипотезу восприятия светлоты поверхности.

13. Подтверждено уравнение, связывающее такие перцептивные параметры образа как светлота поверхности, ее воспринимаемая освещенность и рельеф. Показано, что при фиксированной яркости поверхности один и тот же средне-серый участок воспринимается как темно-серый или светло-серый в зависимости от перцептивной гипотезы о его освещенности.

14. Эксперименты по изучению роли артикуляции в иллюзиях с двумерным и трехмерным фоном, проведенные с использованием CAVE системы виртуальной реальности, выявили отсутствие значимых различий между иллюзорными эффектами, возникающими в сценах с различным фоном – двумерным, состоящим из 2D квадратов, трехмерным, состоящим из 3D шаров и трехмерным, состоящим из 3D кубов.

15. Сформулировано модифицированное правило артикуляции для процесса формирования 3D зрительных иллюзий, которое определяет степень артикуляции, как количество трехмерных объектов различной окраски.

Основное содержание диссертационного исследования отражено в 46 публикациях автора (общий объем – 43,78 п.л.; авторский вклад – 26,51 п.л.).

**Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК при Министерстве образования и науки РФ для публикации результатов диссертаций (28):**

1. **Меньшикова, Г.Я. Смазывание движущегося изображения как пространственная фильтрация / А.Д. Логвиненко, Г.Я. Меньшикова // Вестник МГУ. Серия 14. Психология. -1980.- №1.- С. 27–40 (0,8 п.л. / 0,4 п.л.). ИФ РИНЦ – 0,192**

2. **Menshikova, G. Information spectrum of textures / A. Logvinenko, G. Menshikova // International Journal of Psychology. – 1980. – Vol. 15 (ICP 1980 Supplement). – P. 89. (0,1 п.л. / 0,05 п.л.). WoS – 0, 632**

3. **Меньшикова, Г.Я. Различение движущихся решеток / А.Д. Логвиненко, Г.Я. Меньшикова // Вестник МГУ. Серия 14. Психология. - 1981.- №3.- С. 43–48 (0,4 п.л. / 0,2 п.л.). ИФ РИНЦ – 0,192**

4. **Menshikova, G. Relationship between achromatic color of a surface and its perceived illumination in the "wallpaper" illusion / G. Menshikova, E. Lunyakova // Perception. – 1994. – Vol. 23 (ECVP Abstract Supplement). – P. 17 (0,1 п.л. / 0,05 п.л.). WoS – 1,23**

5. **Menshikova, G. Ya. Trade-off between achromatic colour and perceived illumination as revealed by the use of pseudoscopic inversion of apparent depth / A.D. Logvinenko, G. Ya. Menshikova // Perception. -1994. - Vol. 23. - P. 1007–1023 (1,4 п.л. / 0,7 п.л.). WoS – 1,23**

6. **Меньшикова, Г.Я. Перцептивное взаимодействие ахроматического цвета поверхности и ее воспринимаемой освещенности / Г.Я. Меньшикова, Е.Г. Луныкова // Вестник МГУ. Серия 14. Психология. - 1996.- №1.- С. 22–30 (0,6 п.л. / 0,4 п.л.). ИФ РИНЦ – 0,192**

7. **Menshikova, G. Illuminated surface may be perceived as a shining surface / G. Menshikova, E. Lunyakova // Perception. – 1997. – Vol. 26 (ECVP Abstract Supplement). – P. 17 (0,1 п.л. / 0,05 п.л.). WoS – 1,23**

8. **Меньшикова, Г.Я. Зрительные иллюзии как способ исследования восприятия светлоты поверхности / Г.Я. Меньшикова // Вестник МГУ. Серия 14. Психология. -2006.- №4.- С. 43–48 (0,5 п.л.). ИФ РИНЦ – 0,192**

9. Menshikova, G. Vasarely illusion: A sensory effect might be reduced by depth cues / G. Menshikova // Perception. – 2007. – Vol. 36 (ECVP Abstract Supplement). – P. 81 (0,1 п.л.). WoS – 1,23
10. Меньшикова, Г.Я. Конструктивистский и экологический подходы к исследованию процесса зрительного восприятия: анализ различий / Г.Я. Меньшикова // Вестник МГУ. Серия 14. Психология. -2007.- №4.- С. 34–48 (1,22 п.л.). ИФ РИНЦ – 0,192
11. Меньшикова, Г.Я. О применении систем виртуальной реальности в психологии / А.Е. Войскунский, Г.Я. Меньшикова // Вестник МГУ. Серия 14. Психология. -2008.- №1.- С. 22–37 (1,0 п.л. / 0,5 п.л.). ИФ РИНЦ – 0,192
12. Menshikova, G. Lightness estimation in real 3D scene / G. Menshikova // International Journal of Psychology. – 2008. – Vol. 43 (ICP 2008 Supplement). – P. 795. (0,1 п.л.). WoS – 0, 833
13. Menshikova, G. Ya. The strength of Vasarely and SLC illusions depends on line straightness / G. Ya. Menshikova, N. V. Polyakova // Perception. – 2009. – Vol. 38 (ECVP Abstract Supplement). – P. 95 (0,1 п.л. / 0,05 п.л.). WoS – 1,462
14. Меньшикова, Г.Я. Технологии виртуальной реальности: методологические аспекты, достижения и перспективы / Ю.П. Зинченко, Г.Я. Меньшикова, Ю.М. Баяковский, А.М. Черноризов, А.Е. Войскунский // Национальный психологический журнал. - 2010. - №1(3).- С. 54–62 (1,33 п.л. / 0,5 п.л.). ИФ РИНЦ – 0,057
15. Меньшикова, Г.Я. Технологии виртуальной реальности: методологические аспекты, достижения и перспективы / Ю.П. Зинченко, Г.Я. Меньшикова, Ю.М. Баяковский, А.М. Черноризов, А.Е. Войскунский // Национальный психологический журнал. - 2010. - №2(4). - С. 64–71 (1,1 п.л. / 0,6 п.л.). ИФ РИНЦ – 0,057
16. Menshikova, G. Ya. The strength of geometrical and lightness illusions in 2D - 3D configurations / G. Ya. Menshikova, E. G. Lunyakova, N. V. Polyakova // Perception. – 2010. – Vol. 39 (ECVP Abstract Supplement). – P. 178 (0,1 п.л. / 0,05 п.л.). WoS – 1,293
17. Menshikova, G. Ya. Technologies of virtual reality in the context of World-wide and Russian psychology: methodology, comparison with traditional methods, achievements and perspectives / Yu. P. Zinchenko, G. Ya. Menshikova, Yu. M. Bayakovsky, A. M. Chernorizov, A. E. Voiskounsky // Psychology in Russia. State of the Art / eds. Yu. P. Zinchenko, V. F. Petrenko. – Moscow. 2010. P. 11- 45 (2,2 п.л. / 1 п.л.). Scopus
18. Menshikova, G. Ya. Technologies of virtual reality in psychology sports of great advances: theory, practice and perspectives / Yu. P. Zinchenko, G. Ya. Menshikova, A. M. Chernorizov, A. E. Voiskounsky // Psychology in Russia. State of the Art / eds. Yu. P. Zinchenko, V. F. Petrenko. – Moscow. 2011. P. 12-42 (1,54 п.л. / 0,7 п.л.). Scopus
19. Menshikova, G. Does the strength of simultaneous lightness contrast depend on the disparity cue? / G. Menshikova, A. Nechaeva // Perception. –

2011. – Vol. 40 (ECVP Abstract Supplement). – P. 104 (0,1 п.л. / 0,05 п.л.). WoS – 1,313
20. Меньшикова, Г.Я. Исследование целостности системы «глаз-голова-тело» при помощи технологии виртуальной реальности / Г.Я. Меньшикова, С.А. Козловский, Н.В. Полякова // Экспериментальная психология. – 2012.-№3.-С. 115-121 (0,5 п.л./ 0,4 п.л.). ИФ РИНЦ – 0,256
21. Меньшикова, Г.Я. Изучение восприятия светлоты поверхности при помощи технологии виртуальной реальности / Г.Я. Меньшикова // Национальный психологический журнал. - 2012. - N2 (8). - С. 110-115 (1,1 п.л.). ИФ РИНЦ – 0,057
22. Menshikova, G. The perception of 3D visual illusions / G. Menshikova // International Journal of Psychology. – 2012. – Vol. 47 (ICP 2012 Supplement). – P. 143. (0,1 п.л.). WoS – 0, 632
23. Меньшикова, Г.Я. К вопросу о классификации зрительных иллюзий / Г.Я. Меньшикова // Психологические исследования. - 2012. - N5 (25). - С. 1. URL: <http://psystudy.ru/index.php/num/2012v5n25/735-menshikova25.html> (1,55 п.л.). ИФ РИНЦ – 0,373
24. Меньшикова, Г.Я. Эффект артикуляции в трехмерных зрительных иллюзиях / Г.Я. Меньшикова, Ю.М. Баяковский, Е.Г. Лунякова, М.В. Пестун, Д.В. Захаркин // Экспериментальная психология. – 2013. - №2. - С. 46-57 (1,0 п.л. / 0,6 п.л.). ИФ РИНЦ – 0,256
25. Menshikova, G. Virtual reality technology for the visual perception study /G. Menshikova, Yu. Bayakovski, E. Luniakova, M. Pestun, D. Zakharkin // Transactions on Computational Science XIX, Special Issue on Computer Graphics, LNCS 7870, Springer, 2013. - P. 107-117. (0,9 п.л. / 0,6 п.л.). Scopus
26. Menshikova, G.Ya. Automated real-time classification of functional states: significance of individual tuning stage /V.V. Galatenko, E.D. Livshitz, A.M. Chernorizov, Y.P. Zinchenko, A.V. Galatenko, V.M. Staroverov, S.A. Isaychev, V.V. Lebedev, G.Ya. Menshikova, A.N. Gusev, E.M. Lobacheva, R.F. Gabidullina, V.E. Podol'skii, V.A. Sadovnichy // Psychology in Russia: State of the Art. Moscow: Russian Psychological Society, Lomonosov Moscow State University. - 2013. -Vol. 6 (3). - P. 41-48. (0,44 п.л. / 0,05 п.л.). Scopus
27. Menshikova, G.Ya. Unasked questions and unused answers in psychology / E. Pöppel, Bao Yan, S. Han, A.A. Sozinov, D.V. Ushakov, A.I. Kovalev, A.M. Chernorizov, G.Ya. Menshikova, Y.S. Zaytseva, V.I. Zabolotkina // Psychology in Russia: State of the Art. Moscow: Russian Psychological Society, Lomonosov Moscow State University. -2013. -Vol. 6(3). - P. 4-17. (0,8 п.л. / 0,07 п.л.). Scopus
28. Menshikova, G.Ya. An investigation of 3D images of the simultaneous-lightness- contrast illusion using a virtual reality technique /G.Ya. Menshikova // Psychology in Russia: State of the Art. Moscow: Russian Psychological Society, Lomonosov Moscow State University. - 2013. -Vol. 6 (3). - P. 49-59. (0,75 п.л.). Scopus

### ***Монографии (2):***

29. Меньшикова, Г.Я. Психологические механизмы восприятия зрительных иллюзий / Г.Я. Меньшикова / Рецензенты: д-р биол. наук, проф. Г.И. Рожкова, канд. психол. наук В.Я. Романов. - М.: Изд-во МАКС Пресс, 2013. – 128 с. (8 п.л.).

30. Меньшикова, Г.Я. Фурье - анализ зрительного восприятия / А.Д. Логвиненко, В.Е. Дубровский, Г.Я. Меньшикова, А.И. Назаров, Г.Е. Чернаков / Рецензенты: доктор психологических наук, профессор В.П. Зинченко, доктор физико-математических наук, профессор А.В. Чернавский, кандидат биологических наук Г.М. Зенкин. - М.: Изд-во МГУ, 1982. – 120 с. (7,8 п.л. / 2,8 п.л.).

### ***Публикации в других изданиях (38):***

31. Menshikova, G. Colour-shadow coupling in human vision / G. Menshikova, A. Logvinenko // Perception. – 1993. – Vol. 22 (ECVP Abstract Supplement). – P. 54 (0,1 п.л. / 0,05 п.л.). WoS – 1,21

32. Menshikova, G. The albedo hypothesis: two formulations of the perceptive rule / G. Menshikova, E. Lunyakova // Perception. – 1996. – Vol. 25 (ECVP Abstract Supplement). – P. 111 (0,1 п.л. / 0,05 п.л.). WoS – 1,24

33. Меньшикова, Г.Я. Взаимодействие воспринимаемой освещенности и белизны поверхности / В.В. Любимов, Г.Я. Меньшикова, Е.Г. Луныкова // Традиции и перспективы деятельностного подхода в психологии: школа А.Н. Леонтьева / под ред. А.Е. Войскунского, А.Н. Ждан, О.К. Тихомирова. – М.: Смысл, 1999. - С. 263-283 (1,62 п.л. / 1,2 п.л.).

34. Меньшикова, Г.Я. Использование гештальт-модели для визуального дешифрирования цифровых аэрокосмических снимков / Н.Н. Зинчук, Г.Я. Меньшикова // Вестник МГУ. Серия 5. География. - 2004. - №2. - С. 3–9 (0,44 п.л./0,22 п.л.). ИФ РИНЦ – 0,052.

35. Меньшикова, Г.Я. Взаимодействие параметров зрительного образа / Г.Я. Меньшикова // Нелинейный мир. - 2005. - Т.3. - №1-2. - С. 68–71 (1,1 п.л.). ИФ РИНЦ – 0,152.

36. Menshikova, G. The relationship between apparent illumination and lightness in 3-D scene / G. Menshikova // Perception. – 2006. – Vol. 35 (ECVP Abstract Supplement). – P. 183 (0,1 п.л.). WoS – 1,23.

37. Меньшикова, Г.Я. Зрительные иллюзии как способ исследования светлоты поверхности / Г.Я. Меньшикова // Психофизика сегодня / под ред. В.Н. Носуленко, И.Г. Скотниковой. – М.: Изд-во ИП РАН», 2007. - С. 59-65 (0,6 п.л.).

38. Меньшикова, Г.Я. Опыт регистрации движения глаз наблюдателя при стереоскопических измерениях / Ю.Ф. Книжников, Г.Я. Меньшикова Е.В. Печенкова, А.А. Окунева // Известия ВУЗ. Серия Геодезия и аэрофотосъемка. - 2008. - №6. - С. 3–9 (0,4 п.л./0,2 п.л.). ИФ РИНЦ – 0,041

39. Меньшикова, Г.Я. Альбеда-гипотеза в свете современных теорий восприятия светлоты / Е.Г. Луныкова, Г.Я. Меньшикова // Современная

психофизика / под ред. В.А. Барабанщикова. – М.: Изд-во ИП РАН, 2009. – Гл. 6. – С. 145-159 (1,24 п.л. / 0,8 п.л.).

40. Menshikova, G. Ya. Facial Expression Recognition with the Use of Chimeric Face Technique / Menshikova G. Ya. // Psychology in Russia. State of the Art / eds. Yu.P. Zinchenko, V.F. Petrenko. – Moscow. - 2010. - P. 278-286 (0,7 п.л.). Scopus

41. Меньшикова, Г.Я. Влияние трехмерной конфигурации на выраженность зрительных иллюзий / Г.Я. Меньшикова, Е.Г. Лунякова, Н.В. Полякова // Современная экспериментальная психология: В 2 т. / Под ред. В.А. Барабанщикова. – М.: Изд-во ИП РАН, 2011. – Т. 2. – Гл. 39. – С. 135-144 (0,82 п.л. / 0,6 п.л.).

42. Меньшикова, Г.Я. Разработка методики оценки успешности выполнения двигательных и когнитивных задач в условиях нарушенной вестибулярной функции с применением технологии виртуальной реальности / А.И. Ковалев, Г.Я. Меньшикова // Экспериментальный метод в структуре психологического знания / Отв. ред. В.А. Барабанщиков. – М.: Изд-во ИП РАН, 2012. – С. 740-744 (0,4 п.л. / 0,2 п.л.).

43. Меньшикова, Г.Я. Исследование выраженности иллюзии одновременного контраста в зависимости от артикулированности фона с использованием системы виртуальной реальности CAVE / Г.Я. Меньшикова, Ю.М. Баяковский, Е.Г. Лунякова, М.В. Пестун, Д.В. Захаркин // Экспериментальный метод в структуре психологического знания / Отв. ред. В. А. Барабанщиков. – М.: Изд-во ИП РАН, 2012. – С. 151-156 (0,43 п.л. / 0,3 п.л.).

44. Menshikova, G. Articulation effects of 3D backgrounds in the simultaneous lightness contrast illusion / G. Menshikova, E. Luniakova, D. Zakharkin, M. Pestun // Perception. – 2012. – Vol. 41 (ECP Abstract Supplement). – P. 205 (0,1 п.л. / 0,05 п.л.).

45. Menshikova, G. The role of smooth pursuit eye movement on motion-induced blindness / G. Menshikova, E. Belousenko, D. Zakharkin // Perception. – 2013. – Vol. 42 (ECP Abstract Supplement). – P. 185 (0,1 п.л. / 0,05 п.л.).

46. Menshikova, G. The method of testing the ability of allocentric cognitive maps acquisition / I. Lakhtionova, G. Menshikova // Perception. – 2013. – Vol. 42 (ECP Abstract Supplement). – P. 53 (0,1 п.л. / 0,05 п.л.).