

Изучение восприятия светлоты поверхности при помощи технологии виртуальной реальности¹

Г.Я. Меньшикова

Иллюзия одновременного светлотного контраста (ОСК) активно исследуется на протяжении 180 лет. Иллюзорный эффект (рис. 1) состоит в том, что два одинаковых серых квадрата, расположенные на светло-сером и темно-сером фоне, воспринимаются менее светлым и, соответственно, более светлым.



Рис.1. Иллюзия одновременного светлотного контраста.

Проблема восприятия иллюзии ОСК тесно связана с проблемой восприятия светлоты поверхности. Многие теоретические подходы рассматривали эту иллюзию для доказательства своих предположений об особенностях этого процесса.

Предварительно введем ряд терминов, которые будут использоваться в тексте. Все поверхности поглощают

некоторое количество света и отражают оставшуюся часть. Интенсивность падающего на поверхность света назовем

ориентацию по отношению к наблюдателю и источнику освещения. Назовем копланарными поверхности, которые

Проблема восприятия светлоты поверхности состоит в том, что яркость поверхности зависит не только от отражательной способности поверхности, но и от других параметров внешней стимуляции – освещенности поверхности, а также ее ориентации в пространстве.

освещенностью. Процент отраженного от поверхности света назовем отражательной способностью поверхности. Например, белые поверхности отражают 90% света, тогда как черные – около 3%. Таким образом, отношение интенсивности света, отраженного белой и черной поверхностями, равно 30:1. Все поверхности имеют пространственную

находятся в одной плоскости или в параллельных плоскостях. Под светлотой поверхности будем понимать воспринимаемую отражательную способность поверхности. Воспринимаемое субъектом освещение сцены назовем воспринимаемой освещенностью.

Стимульным признаком для оценки светлоты является яркость повер-



Галина Яковлевна Меньшикова – кандидат психологических наук, зав. лабораторией «Восприятие» факультета психологии МГУ имени М.В.Ломоносова

¹ Работа поддержана грантом «Разработка инновационных методов научно-исследовательской, образовательной и практической деятельности психолога с применением технологий виртуальной реальности» в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы.

ности. Проблема восприятия светлоты поверхности состоит в том, что яркость поверхности зависит не только от отражательной способности поверхности, но и от других параметров внешней стимуляции – освещенности поверхности, а также ее ориентации в пространстве. Окружающие нас поверхности по-разному освещены (некоторые находятся в тени, другие ярко освещены) и по-разному ориентированы в пространстве. В некоторых случаях свет, приходящий от затененных белых поверхностей, имеет меньшую интенсивность, чем свет, отраженный от освещенных черных поверхностей. Возникает вопрос: какие механизмы использует зрительная система для оценки светлоты?

Было высказано множество гипотез решения проблемы восприятия светлоты. Перечислим некоторые из них. Первая гипотеза предполагает, что определяющим в этом процессе является отношение яркости оцениваемой поверхности к яркости окружающих поверхностей. Это позволяет оценить относительную отражательную способность всех поверхностей, которые освещены одинаково. Поскольку в естественных сценах условие равномерности освещения выполняется для объектов, лежащих в одной плоскости или в копланарных плоскостях, было высказано предположение (Gilchrist, 1977; Gilchrist et al, 1999), что именно отношение яркостей копланарных поверхностей и является основным стимулом для оценки светлоты поверхности. Другая гипотеза состоит в том, что воспринимаемая освещенность играет важную роль в процессе оценки светлоты.

Впервые эта гипотеза была высказана Гельмгольцем (Helmholtz, 1867/1962), а затем была переформулирована как альbedo-гипотеза в современных теориях константности светлоты (Kozaki, Noguchi, 1976; Bergstrom, 1977; Logvinenko, Menshikova, 1994; Menshikova, Lunyakova, 1994). Согласно ей, светлота поверхности и ее воспринимаемая освещенность взаимодействуют в образе восприятия. В соответствии с правилом взаимодействия, при постоянной величине яркости поверхности увеличение воспринимаемой освещенности поверхности влечет за собой уменьшение ее светлоты. Третья гипотеза

подчеркивает роль локальных контрастов в оценке светлоты. Она впервые была предложена Э. Герингом (Hering, 1872/1964), а затем развита в ряде современных исследований (Grossberg, Todorovic, 1988; Blakeslee, McCourt 1999; Grossberg, Howe 2003; Blakeslee et al., 2005). Четвертый подход предлагает учитывать роль пересечений контуров, то есть мест, где граничат несколько поверхностей с разными яркостями (Anderson 1997; Todorovic, 1997; Ross, Pessoa, 2000).

Остановимся более подробно на первых двух гипотезах, поскольку именно они являются в настоящее время наиболее обсуждаемыми. Гипотеза копланарных отношений предполагает, что светлота поверхности может быть оценена через отношение ее яркости к яркости других поверхностей в сцене (Wallach, 1963; Land, McCann, 1971). Эта процедура позволяет «вычислить» относительную отражательную способность всех поверхностей сцены. Для оценки абсолютной отражательной способности в зрительной системе выполняется привязка (anchoring) одной из «вычисленных» относительных величин к некоторой абсолютной величине. Например, предполагается, что самая яркая поверхность сцены является белой (Land, McCann 1971; Wallach 1976; Gilchrist et al., 1999).

Благодаря гипотезе «привязки» оценивается светлота каждого объекта сцены. Однако описанная модель оценки светлоты выполняется лишь в том случае, если все поверхности одинаково освещены только одним источником света. В противном случае, когда в сцене есть по-разному освещенные поверхности, отношения яркостей будет зависеть от соотношения интен-

те в соответствие с гипотезой «привязки». Правила «привязки» работают в пределах локальных и глобальных рамок одновременно. В пределах локальных рамок устанавливаются отношения яркости тестовой поверхности к яркости примыкающего фона, в пределах глобальных рамок – отношения яркости этой поверхности к яркости отдаленных участков поверхности. Общая оценка светлоты рассчитывается как средняя величина по локальным и глобальным оценкам. Как уже говорилось выше, эта гипотеза получила название гипотезы копланарных отношений (coplanar ratio hypothesis, Gilchrist, 1977), а зрительный признак группировки был назван признаком «копланарности». В ряде исследований показана важность этого признака для оценки светлоты (Taya et al. 1995; Wishart et al. 1997).

Альтернативная гипотеза восприятия светлоты (альbedo-гипотеза) гласит, что воспринимаемая освещенность может оказывать сильное влияние на ее оценку. Альbedo-гипотеза утверждает, что если воспринимаемая освещенность поверхности возрастает, ее светлота недооценивается, и, наоборот, при уменьшении величины воспринимаемой освещенности светлота поверхности переоценивается. Например, объяснение иллюзии ОСК, предложенное Гельмгольцем, предполагает, что поверхности светло-серого и темно-серого фона (рис. 1) воспринимаются как хорошо/плохо освещенные участки, что и приводит к недооценке/переоценке светлоты тестовых центральных квадратов. Основная проблема этой гипотезы состоит в том, что необходимо объяснить, как зрительная система оценивает воспринимаемую освещенность. К сожалению, не были найдены нейронные механизмы

К сожалению, не были найдены нейронные механизмы для оценки падающего на поверхность освещения, поэтому остается неясным, каким образом реализуется механизм оценки освещения, который и влияет на оценку светлоты.

сивности хорошо освещенных и затененных поверхностей сцены. В связи с этим предполагается, что оценка светлоты в сложной сцене осуществляется в два этапа.

Сначала выделяются группы копланарных поверхностей, а затем оценка светлоты производится в каждой груп-

пе для оценки падающего на поверхность освещения, поэтому остается неясным, каким образом реализуется механизм оценки освещения, который и влияет на оценку светлоты. Несмотря на указанные трудности, были получены данные, которые подтвердили влияние воспринимаемой освещенности поверхности на

восприятие ее светлоты (Knill, Kersten, 1991; Logvinenko, Menshikova, 1994; Menshikova, Lunyakova, 1994; Williams et al., 1998; Menshikova, Nechaeva, 2011).

Чтобы протестировать две упомянутые выше гипотезы, в ряде работ было исследовано влияние глубины на оценку светлоты поверхности. Основная идея этих исследований состояла в том, чтобы изменить признаки копланарности поверхностей при помощи изменения 3D положения тестовых поверхностей относительно фона. Согласно гипотезе копланарных отношений, это должно привести к изменению оценки светлоты. Некоторые работы по исследованию влияния глубины на оценку светлоты (Wolff, 1933; Kardos, 1934) подтвердили эти предположения. Например, в одной из этих работ (Wolff, 1933) две одинаковых по отражательной способности тестовой поверхности располагались на различных по отражательной способности фонах. Если они были копланарны фоновой поверхности, тогда возникала иллюзия ОСК. Однако, когда тестовые поверхности были отодвинуты от фона (т.е. были не копланарны), выраженность иллюзии ОСК уменьшалась. Эти данные показывают, что взаимодействие тестовой и фоновой поверхностей происходит только в том случае, если они копланарны друг другу.

Более поздние работы также тестировали гипотезу копланарных отношений. В работе (Coren, 1969) исследовалось влияние глубины на восприятие светлоты поверхности, с использованием технологии стереоизображений. Испытуемый видел черный крест, висящий над белой фоновой поверхностью. Тестовый серый квадратик располагался рядом с крестом и воспринимался, в одном случае, расположенным в плоскости креста, а в другом – в плоскости фона. Испытуемого просили оценить светлоту теста. Результаты показали, что тест, воспринимаемый в плоскости черного креста, оценивался на 7% светлее. Следует отметить, что эффект был слабо выраженным. В работе (Gogel, Mershon, 1969) исследовалось влияние глубины на оценку светлоты с использованием эффекта Гельба. Большой черный, сильно освещенный диск, висящий над черной не освещенной поверхностью, воспри-

нимался как белый или светло-серый (эффект Гельба). Если к поверхности черного диска прикрепляли маленький белый диск, то эффект Гельба уменьшался – черный диск воспринимался черным. Однако, если белый диск отдался от поверхности черного диска (воспринимался не копланарным), эффект Гельба вновь усиливался.

Условия монокулярного/бинокулярного наблюдения использовались для изучения влияния глубины при оценке светлоты (Gilchrist, 1977). При монокулярном наблюдении тестовый диск воспринимался копланарным одной поверхности, тогда как при бинокулярном наблюдении он казался копланарным другой поверхности, что приводило к смещению оценок светлоты на 4,5 Манселловских единицы. Эти результаты хорошо соответствовали гипотезе копланарных отношений. Другие эксперименты, исследующие влияния глубины на восприятие светлоты, не выявили или выявили очень слабое влияние гипотезы копланарных отношений (Epstein 1961; Flock, Freedberg, 1970; Julesz 1971; Dalby et al., 1995; Zaidi et al., 1997).

Было выделено несколько правил адекватного применения гипотезы копланарных отношений (Gilchrist, 1980). Во-первых, сетчаточные отношения яркостей для сравниваемых поверхностей должны оставаться неизменными. Во-вторых, для того, чтобы изменить копланарные отношения, необходимо создать две различные экспериментальные ситуации – А и Б. В ситуации А тестовая поверхность должна восприниматься копланарной одному фону, а в ситуации Б – другому. Было показано, что при нарушении принципа копланарности, гипотеза копланарных отношений не применима, и оценка светлоты резко ухудшается (Gilchrist, 1980). В-третьих, гипотеза копланарных отношений «ра-

выявлено влияние эффекта глубины на восприятие светлоты.

Результаты упомянутых выше работ, в которых исследовалась роль глубины в процессах восприятия светлоты, оказались достаточно противоречивыми. Поэтому вопрос о том, какая из гипотез – альbedo-гипотеза или гипотеза копланарных отношений является более адекватной остается открытым. Одна из проблем выбора подходящего теоретического подхода состоит в том, что экспериментальная ситуация во многих работах была организована таким образом, что изменение отношения яркостей сопровождалось изменением воспринимаемой освещенности. Попытка протестировать две гипотезы в ситуации отдельного независимого изменения отношения яркостей поверхностей и их воспринимаемой освещенности была предпринята в работе (Howe, 2006). Полученные результаты хорошо объяснялись в рамках альbedo-гипотезы.

Описание исследования

В нашем исследовании тестировались гипотезы копланарных отношений и альbedo-гипотеза в ситуации независимого изменения отношения яркостей поверхностей и их воспринимаемой освещенности на материале иллюзии ОСК. Исследовалась выраженность ОСК в зависимости от трехмерной конфигурации центральных тестовых и фоновых квадратов. Согласно обеим гипотезам изменение расположения тестовых и фоновых квадратов по глубине должно привести к изменению выраженности иллюзорного эффекта. Однако причины и направление этих изменений должны быть различны для каждой гипотезы. В соответствии с альbedo-гипотезой, изменение выраженности иллю-

Изменение светлоты тестовых квадратов должно привести к изменению выраженности иллюзии. Если тестовые квадраты будут наклонены в разные стороны так, чтобы для одного из них воспринимаемая освещенность возрастет, а для другого – уменьшится, выраженность иллюзии изменится. Если же тестовые квадраты будут ориентированы одинаково относительно гипотетического источника освещения, иллюзия не изменится.

ботает» только в том случае, если отношение яркостей не меньше, чем 30:1. Это ограничение позволило объяснить, почему во многих исследованиях не было

зорного эффекта будет связано с тем, что изменение пространственного расположения тестовых и фоновых квадратов должно привести к изменению

воспринимаемой освещенности, что, в свою очередь, приведет к изменению их светлоты (Menshikova, Logvinenko, 1993; Menshikova, Lunyakova, 1994). Следовательно, наклоняя тестовые квадраты навстречу/против гипотетического источника освещения, можно увеличить/уменьшить их воспринимаемую освещенность, а, следовательно, согласно альbedo-гипотезе, уменьшить/увеличить их светлоту.

Изменение светлоты тестовых квадратов должно привести к изменению выраженности иллюзии. Если тестовые квадраты будут наклонены в разные стороны так, чтобы для одного из них воспринимаемая освещенность возрастет, а для другого – уменьшится, выраженность иллюзии изменится. Если же тестовые квадраты будут ориентированы одинаково относительно гипотетического источника освещения, иллюзия не изменится. В соответствии с гипотезой копланарных отношений оценка светлоты осуществляется на основе правила «привязки», которое зависит от выраженности признака копланарности в сцене. Нарушение этого признака должно привести к уменьшению выраженности иллюзии. Чтобы нарушить признак копланарности, классическая 2D иллюзия была трансформирована в различные 3D конфигурации. Эти трансформации были двух типов. Для первого типа тестовые квадраты наклонялись пространственно относительно фоновых (разрыв локальных рамок), для второго типа фоновые квадраты наклонялись относительно друг друга (разрыв глобальных рамок). Оба типа трансформаций должны приводить к снижению признака копланарности, а значит, к уменьшению выраженности иллюзии для всех 3D конфигураций вне зависимости от пространственной ориентации тестовых и фоновых квадратов. Однако для второго типа трансформаций уменьшение иллюзорного эффекта должно быть менее выраженным по сравнению с первым типом, поскольку в соответствии с гипотезой копланарных отношений разрыв локальных рамок является более значимым, чем разрыв глобальных рамок.

Аппаратура

Для предъявления 2D-3D конфигураций иллюзии ОСК использовалась тех-

нология виртуальной реальности. Ее достоинства и перспективы для экспериментальной психологии, когнитивной психологии и психофизиологии были обсуждены и проанализированы в отечественной и зарубежной литературе (Riva, 2006; Yee, 2007; Zinchenko et al., 2010; Zinchenko et al., 2011). Испытуемые наблюдали двумерные 2D-3D изображения иллюзии ОСК при помощи шлема виртуальной реальности eMagin Z800 3D Visor. Дисплеи располагались на расстоянии 2,5 см от глаз наблюдателя. Угловые размеры фоновых и тестовых квадратов были равны $2^\circ \times 2^\circ$ and $6^\circ \times 6^\circ$ соответственно. Максимальная яркость изображения составляла величину 32 кд/м². Отношение максимальной и минимальной яркости было равно 52:1.

Испытуемые

В эксперименте приняли участие 37 человек (12 мужчин и 25 женщин) в возрасте от 17 до 30 лет с нормальным или скорректированным зрением.

Стимуляция

В качестве основного паттерна был выбран так называемый артикулированный вариант иллюзии ОСК (рис. 2), поскольку для него иллюзорный эффект более выражен (Gülchrist et al., 1999; Adelson, 2000).



Рис.2. Артикулированный вариант иллюзии ОСК.

Различные трехмерные конфигурации иллюзии ОСК формировались при помощи создания стереопар в программе Photoshop CS2 9.0. Значение диспаратности для стереопар было постоянным и равным 10 рх. Были созданы 5 различных 2D-3D конфигураций тестовых и фоновых квадратов. Они были локализованы на фоне фронтальной случайно-точечной поверхности. Тип 1 – 2D артикулированный вариант иллюзии ОСК (рис. 2), тип 2 – центральные квадраты выдвинуты параллельно над фоновыми квадратами (рис. 3.2),

тип 3 – центральные квадраты наклонены под одинаковыми углами к фоновым квадратам (рис. 3.3). Типы 4а и 4б – центральные квадраты наклонены под разными углами к фоновым квадратам: левый наклонен лицом к гипотетическому верхнему источнику света, правый – против него (рис. 3.4а) и наоборот (рис. 3.4б). Типы 5а и 5б – фоновые квадраты наклонены под разными углами к фронтальной случайно-точечной поверхности подобно типу 4а, 4б (рис. 3.5а и 3.5б).

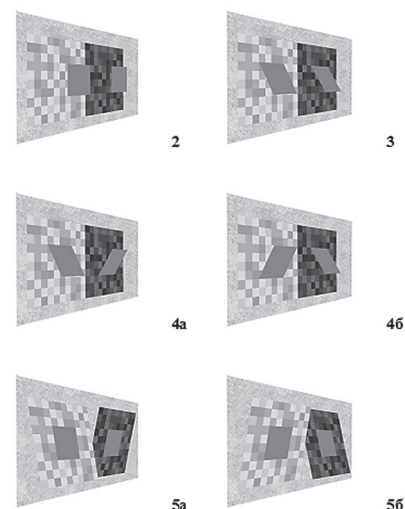


Рис.3. 3D конфигурации иллюзии ОСК. Описание см. в тексте.

Для оценки выраженности иллюзии использовался метод констант. Начальное значение яркости тестовых квадратов было равно 44% черного оттенка по шкале Grayscale. Для каждой 2D-3D конфигурации были созданы 6 переменных стимулов, у которых яркость тестовых квадратов, лежащих на светлом фоне, оставалась постоянной, а яркость тестовых квадратов, лежащих на темном фоне, уменьшалась от 44% до 70% черного с шагом в 5%. Таким образом, было создано 42 стереопары: семь 2D-3D конфигураций, каждая из которых имела 6 вариантов переменных стимулов.

Процедура проведения эксперимента

Последовательность предъявления стимулов формировалась в программе MediaLab v2008. 1.33. Каждая из 42 стереопар повторялась 10 раз. Порядок предъявления был полностью рандомизирован. В начале эксперимента прове-

Были получены психометрические функции для 2D и 6 различных 3D конфигураций, при помощи которых были рассчитаны значения выраженности иллюзии ОСК для каждого испытуемого и для каждой пространственной конфигурации.

рлялась способность испытуемых видеть 3D конфигурации. Затем ему предъявлялись 420 стереопар. Время предъявления каждого стимула составляло 5 секунд. После каждого предъявления появлялся экран с возможными ответами. Задача испытуемого заключалась в том, чтобы оценить, какой из двух центральных квадратов казался более светлым.

Результаты

Были получены психометрические функции для 2D и 6 различных 3D конфигураций, при помощи которых были рассчитаны значения выраженности иллюзии ОСК для каждого испытуемого и для каждой пространственной конфигурации. Расчет проводился по формуле $IS = (P_{3D}/P_{2D} - 1) \times 100\%$, 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 две группы испытуемых. Значения выраженности иллюзии были усреднены по каждой группе отдельно. Результаты представлены на диаграмме (Рис. 4).

Для первой группы (38% всей выборки испытуемых) выраженность менялась незначительно в зависимости от типа пространственной конфигурации ($t(72) = 1.86, p = 0.05$). Для второй группы (56% выборки испытуемых) были 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. Результаты показали увеличение иллюзорного эффекта для 4а, 4б конфигураций и, напротив, его уменьшение для 5а, 5б конфигураций.

Полученные данные были проанализированы с позиций гипотез копланарных отношений и альbedo-гипотезы.

Согласно гипотезе копланарных отношений, пространственное отделение тестовой поверхности от фоновой должно привести к снижению признака копланарности, а значит к уменьшению выраженности иллюзии (IS). Причем это уменьшение должно быть различным для разных типов 3D конфигураций. Разрыв локальных рамок (конфигурации 3D-2, 3D-3, 3D-4а и 3D-4б) должен привести к более сильному уменьшению IS, чем разрыв глобальных рамок (конфигурации 3D-5а и 3D-5б). Результаты, представленные на диаграмме 4, не подтверди-

ли эти предсказания. Для первой группы не было найдено значимого уменьшения выраженности иллюзии. Для второй группы было получено уменьшение выраженности иллюзии для случаев 3D-4б и 3D-5б, но оно не соответствовало гипотезе копланарных отношений.

Согласно альbedo-гипотезе, изменение IS должно было произойти только для тех 3D конфигураций, где тестовые/фоновые квадраты воспринимались по-разному освещенными. При отсутствии в сцене распределенных и отброшенных теней зрительная система «делала» бессознательное умозаключение о том, что освещение сцены осуществляется сверху. Для конфигураций 2D, 3D-2 and 3D-3 тестовые квадраты были наклонены одинаково по отношению к гипотетическому верхнему источнику света, поэтому IS не изменялась. Для конфигурации 3D-4а тестовый квадрат, лежащий на темно-сером фоне, был наклонен навстречу по отношению к гипотетическому источнику света, поэтому он воспринимался темнее в отличие от тестового квадрата, лежащего на светло-сером фоне, который был наклонен против источника освещения, в силу чего воспринимался светлее. Используя аналогичные рассуждения, альbedo-гипотеза объясняет уменьшение выраженности иллюзии для конфигурации 3D-4б. Изменения выраженности иллюзии для конфигураций 3D-5а, 3D-5б объясняются аналогично.

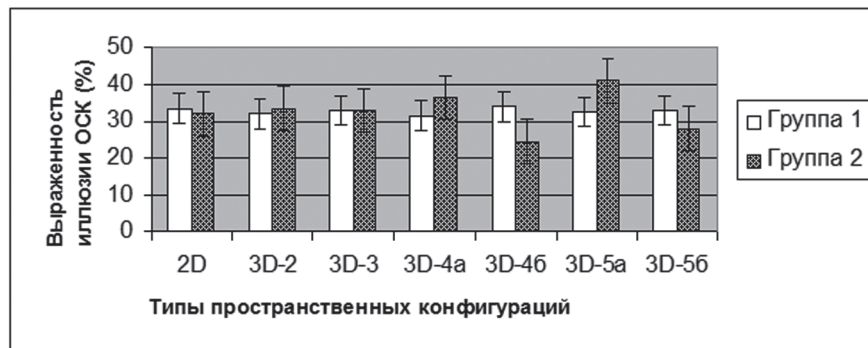


Рис. 4. Выраженность иллюзии ОСК в зависимости от пространственной конфигурации для двух групп испытуемых.

Литература:

- Adelson E.H. *Lightness perception and lightness illusions* // M. Gazzaniga, M.S., ed., *The New Cognitive Neurosciences*, 2nd Ed. Cambridge, MA: MIT Press, 2000. – P. 339-351.
- Coren S. *Brightness contrast as a function of figure - ground relations* // *Journal of Experimental Psychology*. – 1969. – V. 80. – P. 517-524.
- Dalby T. A., Saillant M. L., Wooten B. R. *The relation of lightness and stereoscopic depth in a simple viewing situation* // *Perception & Psychophysics*. – 1995. – V. 57. – P. 318-332.

Выводы

Две современные модели восприятия светлоты – альbedo-гипотеза и гипотеза копланарных отношений были использованы для объяснения полученных нами результатов. Изменения выраженности иллюзии для различных 2D-3D конфигураций хорошо объяснялись в рамках альbedo-гипотезы. Это позволяет предположить, что в 3D сценах воспринимаемая освещенность поверхности является основным параметром для оценки светлоты.

4. Economou E. **An anchoring theory of lightness perception** // *Psychological Review*. – 1999. – V.106. – P. 795-834.
5. Epstein W. **Phenomenal orientation and perceived achromatic color** // *Journal of Psychology*. – 1961. – V. 52. – P. 51-53.
6. Flock H. R., Freedberg E. **Perceived angle of incidence and achromatic surface color**
// *Perception & Psychophysics*. – 1970. – V. 8. – P. 251-256.
7. Gilchrist A.L. **Perceived lightness depends on perceived spatial arrangement** // *Science*. – 1977. – V.195. – P. 185-187.
8. Gilchrist A. L. **When does perceived lightness depend on perceived spatial arrangement?** /
// *Perception & Psychophysics*. – 1980. – V. 28. – P. 527-538.
9. Gilchrist A.L., Kossyfidis C., Bonato F., Agostini T., Cataliotti J., Li X., Spehar B., Annan V. **An anchoring theory of lightness perception**
// *Psychological Review*. – 1999. – V. 106. – P. 795-834.
10. Gogel W.C., Mershon D. H. **Depth adjacency and simultaneous contrast** // *Perception & Psycho- Physics*. – 1969. – V. 5. – P. 13-17.
11. Hering E. **Outlines of theory of the light sense**. Cambridge, MA: **Harvard University Press**.
// 1964 (Translated from the original 1920 publication by L. M. Hurvich&D.Jameson).
12. Howe P. D. **Testing the coplanar ratio hypothesis of lightness perception** // *Perception*. – 2006. – V. 35. – P. 291 – 301.
13. Julesz B. **Foundations of Cyclopean Perception**. // Chicago, IL: Chicago University Press, 1971.
14. Kardos L. **Ding und Schatten [Object and Shadow]** *Zeitschrift fur Psychologie Ergänzungsband*, 23 (translated by D. Todorovic,
edited by A. Gilchrist), 1934.
15. Knill D. C., Kersten D. **Apparent surface curvature affects lightness perception** // *Nature*. – 1991. – V. 351. – P. 228 -230.
16. Land E. H., McCann J. J. **Lightness and retinex theory** // *Journal of the Optical Society of America*. – 1971. – V. 61. – P. 1 – 11.
17. Logvinenko A., Menshikova G. **Trade-off between achromatic colour and perceived illumination as revealed by the use of
pseudoscopic inversion of apparent depth** // *Perception*. – 1994. – V. 23. – P. 1007-1023.
18. Menshikova G., Lunyakova E. **Relationship between achromatic color of a surface and its perceived illumination in the
«wallpaper» illusion: Proc. of 17-th European Conference on visual perception, Eindhoven, Sep. 4-8 1994.** – P. 17.
19. Menshikova G. **The relationship between apparent illumination and lightness in 3-D scene: :Proc. of 29-th European
Conference on Visual Perception, St. Petersburg, Aug. 20-25 2006.** – P. 183.
20. Menshikova G., Nechaeva A. **Does the strength of simultaneous lightness contrast depend on the disparity cue? Proc. of 34-th
European Conference on Visual Perception, Toulouse, France, Aug.28-Sep.1 2011.** – P. 104.
21. Riva G. **Virtual Reality**. In M. Akay (Ed.), **Wiley Encyclopedia of Biomedical Engineering**. – New York: Wiley. 2006.
22. Taya R., Ehrenstein W. H., Cavonius C. R. **Varying the strength of the Munker -White effect by stereoscopic viewing**
// *Perception*. – 1995. – V. 24. – P. 685-694.
23. Wallach H. **The perception of neutral colours** // *Scientific American*. – 1963. – V. 208. – P. 107-116.
24. Wallach H. **On Perception**. // New York: Quadrangle/The New York Times Book Co., 1976.
25. Williams S. M., McCoy A. N., Purves D. **The influence of depicted illumination on brightness**
// *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. – 1998. – V. 95. – P. 13296-13300.
26. Wishart K. A., Frisby J. P., Buckley D. **The role of 3-D surface slope in a lightness/brightness effect**
// *Vision Research*. – 1997. – V. 37. – P. 467-473.
27. Wolff W. **Uë ber die kontrasterregende Wirkung der transformierten Farben**
// *Psychologische Forschung*. – 1933. – V. 18. – P. 90-97.
28. Yee N. **Psychological Research in Virtual Worlds**
// <http://bps-research-digest.blogspot.com/2007/06/psychological-research-in-virtual.html> (дата обращения 12.03.2012).
29. Zaidi Q., Spehar B., Shy M. **Induced effects of backgrounds and foregrounds in three-dimensional configurations: the role of
T-junctions** // *Perception*. – 1997. – V. 26. – P. 395-408.
30. Zinchenko Yu.P., Menshikova G.Ya., Bayakovskiy Yu. M., Chernorizov A.M., Voiskounsky A.E. **Technologies of virtual reality in the
context of World-wide and Russian psychology: methodology, comparison with traditional methods, achievements
and perspectives**
// *Psychology in Russia. State of the Art. Scientific Yearbook* / Ed. by Yu.P. Zinchenko & V.F. Petrenko. – Moscow: Lomonosov
Moscow State University; Russian Psychological Society. – 2010. – P. 11-45.
31. Zinchenko Yu.P., Menshikova G.Ya., Chernorizov A.M., Voiskounsky A.E. **Technologies of virtual reality in psychology sports of
great advances: theory, practice and perspectives**
// *Psychology in Russia: State of the Art. Scientific Yearbook* / Ed. by Yu.P. Zinchenko & V.F. Petrenko. – Moscow: Lomonosov
Moscow State University; Russian Psychological Society, 2011. – P. 129-152.