

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
ИНСТИТУТ ПСИХОЛОГИИ

# ПРОБЛЕМА ЦВЕТА В ПСИХОЛОГИИ



---

МОСКВА  
«НАУКА»  
1993

ВБК 88

П78

Ответственные редакторы  
доктор психологических наук  
А. А. МИТЬКИН  
кандидат психологических наук  
Н. Н. КОРЖ

Рецензенты:  
доктор психологических наук  
Л. П. ГРИГОРЬЕВА,  
доктор психологических наук  
А. Н. ЛЕБЕДЕВ

0303030000-048  
П 042(02)-93 37-91-1

ISBN 5-02-013405-8

© Коллектив авторов, 1993  
© Российская академия наук, 1993

## ВВЕДЕНИЕ

---

Цвет как компонент природного окружения оказывает влияние на формирование человека. Урбанизация отторгла человека от естественной природы, рукотворная среда существенно изменила цветовое окружение. Современная социокультурная ситуация формирует зависимость человека от профессиональной средообразующей деятельности.

В жизненном пространстве человека цвет укоренен в городской культуре, выступает эстетическим эталоном, важным критерием качества в оценивании окружающей среды. Рукотворное цветовое пространство, созданное «в погоне» за модным цветом (сине-голубой), игнорирование специфики психологического воздействия цвета и традиции, предписывающей смысловую и ценностную значимость цветовому образу, порождает элементы агрессивного поведения, приводит к патологическим зрительным эффектам (например, расстройство движений глаз при действии гомогенных и агрессивных полей в городской современной застройке).

Таким образом, цвет проявляется как самостоятельное явление культуры, элемент стиля, образа жизни. В этом контексте язык цвета широк и сложен. Если Вы пожелаете произвести впечатление на окружающих, то какой цвет Вы выбираете утром или вечером, зимой, летом, для театра или вечеринки?!

Постоянное оперирование цветом, цветовые регламентации, следование канонам предполагают активное отношение человека к цвету, что тесно переплетается с восприимчивостью личности к цветовым воздействиям. Индивидуально-психологические качества, проявляющиеся во взаимодействии с внешним миром как устойчивые тенденции поведения, функциональные состояния, предпочтения отражаются на выборе предпочитаемого цвета. Многоуровневая представленность цветового воздействия позволяет осуществлять тонкое тестирование мозговой патологии.

Авторы данного сборника попытались в своих работах частично ответить на некоторые из поставленных вопросов и показать, что только комплексное исследование бытия цвета в жизненном пространстве человека послужит как научному продвижению проблемы, так и выработке обоснованной психобиологической стратегии формирования красочности города. Только такая стратегия позволит ограничить личные пристрастия архитектора и художника, нередко приводящие к тому,

что в погоне за модным цветовым решением исчезает цвет как носитель местной цветовой традиции.

Стимулом к созданию данной книги послужил советско-шведский семинар по теоретическим и экспериментальным проблемам изучения цвета, организованный институтом психологии АН СССР.

В статьях участников семинара, которые составляют ядро данного сборника, анализируется современное состояние цвета как многоаспектной области исследований. С очевидностью определилась тенденция рассматривать перспективы развития этой проблемы через призму разных методологических позиций, иногда противоположных. Историческая ретроспектива демонстрирует тот факт, что современные успехи и неудачи в решении все тех же проблем корнями уходят в прошлое к великим именам И. Ньютона, В. Гёте, Г. Гельмгольца, Э. Геринга. Пришло осознание того, что продвижение в решении теоретических и прикладных задач цвета возможно в направлении комплексного изучения проблемы, включенной в программу целостного исследования человека в системе взаимоотношений с природой и обществом.

## АСПЕКТЫ ЦВЕТА. ЧТО ОНИ ЗНАЧАТ И КАК МОГУТ БЫТЬ ИСПОЛЬЗОВАНЫ?

### 1. ВСТУПЛЕНИЕ

Давайте начнем с эксперимента, наглядно показывающего, что такое цвет! Разрежьте лист зелено-синей бумаги на две половины (рис. 1). Положите одну половинку на лист голубой бумаги, а другую — на лист зеленой бумаги (синий и зеленый листы должны быть больше половинок зелено-синей бумаги). Теперь зададим себе вопрос: «Сколько цветов мы видим?»

Для наблюдателя с нормальным зрением очевидно, что зелено-голубая бумага выглядит более зеленой на голубом фоне, чем на зеленом. Но наблюдатели, которые понимают (или догадываются), что листки меньшего размера являются половинками одного и того же листа, могут сказать: «Да, разумеется, я вижу два различных оттенка зелено-голубого цвета, но это иллюзия, а на самом деле перед нами один и тот же цвет на разном фоне».

В данном случае мы имеем дело с примером одновременного цветового контраста, который является одним из многочисленных феноменов цветовой индукции. Если мы соединим зелено-голубые поля, видимое различие исчезнет. Разъединив их, мы вновь увидим различие цвета. Но наш эксперимент наглядно показывает также неравенство двух цветовых миров. Когда цвета, спонтанно наблюдаемые нами, отличаются от тех, которые мы ожидали увидеть, опираясь на наше знание физических фактов, многие из нас склоняются к тому, чтобы позволить физической реальности повлиять на наше восприятие или признать его иллюзией.

Окрашенная бумага выглядит на различном фоне по-разному. Мы абсолютно уверены в том, что с самой бумагой ничего не произошло. Таким образом, между физическими свойствами бумаги и тем, как она выглядит для нас, не существует прямой зависимости. Если такое происходит с этими достаточно обыкновенными листками бумаги, не может ли то же происходить и с другими окрашенными объектами, находящимися вокруг нас (возьмем, например, диван, стоящий на фоне окрашенной стены). Нам, разумеется, необходимо больше знать о том, что происходит в данном случае

Физики, привыкшие искать причинные зависимости, пытаются идентифицировать цвет с частотой (длиной волны)

и амплитудой (яркостью/светимостью) лучистой энергии, которую мы называем светом. Мы знаем про опыт Ньютона (1730), который поместил стеклянную призму перед небольшим отверстием в затемненном окне и получил на противоположной стене проекцию солнечного спектра в виде многоцветной полоски. В пространстве между призмой и стеной цвета были невидимы до тех пор, пока какая-нибудь случайная пылинка не отражала их. Ньютон заключил, что «лучи не имеют окраски», однако во многих учебниках по физике эксперимент описывается как «разложение луча белого света на различные окрашенные составляющие». Ньютон объясняет это явление так: составляющие солнечного света имеют различную «преломляемость», вследствие того что они по-разному отклоняются и по-разному воздействуют на наши глаза. Теперь мы знаем, что преломляемость связана с длиной волны каждой составляющей, но мы знаем по результатам упомянутого вначале эксперимента и то, что не существует прямой зависимости преломляемости от видимого нами цвета. Художники часто думают о цветах как о пигментах красочной палитры. Для печатника цвет—это краска, отпечатывающаяся на бумаге. Когда мы в повседневном общении описываем окружающие нас объекты как окрашенные, мы используем названия цветов в качестве определений: голубая книга, желтая ручка. Цвет становится свойством объекта.

Физиолог Эвальд Геринг (1874) установил, что цвет является тем, что мы видим, и может быть описан свойствами, которые мы в нем видим [10]. Первая часть данного утверждения—то, что цвет—это перцепт, создаваемый мозгом—в настоящее время принята большинством ученых, но многие из них скептически относятся к возможности анализа цвета как феномена восприятия. Описание явлений так, как они воспринимаются, без попытки анализа их причинных зависимостей, называется феноменологией.

Когда мы по-разному видим зелено-голубую бумагу на различном фоне, это не иллюзия, это иллюстрация того, как работает наше цветовосприятие. В нашем опыте мы имеем три различных физических стимула, но видим четыре различных цвета. Может быть и наоборот—два физических объекта могут выглядеть одинаково, даже если они имеют различные физические свойства. Ниже мы встретимся с этим явлением, называемым «метамеризмом». Почему мы обратили внимание на цвет? Абсолютно ясно, что цветовосприятие вырабатывалось в течение миллионов лет для того, чтобы помочь живым существам обнаружить пищу и защититься от врагов. Когда наиболее главные задачи, связанные с выживанием, были выполнены, люди начали применять цвет в процессе общения и связи, а также для внесения в жизнь положительных эмоций. Примером служат доисторические пещерные рисунки.

Таким образом, применение цвета является давней традицией в искусстве, религии и других формах культуры, которой

до сегодняшнего дня следует графическое искусство (цветная печать), а также другие виды воспроизведения изображений — цветная фотография и телевидение. Цвет является важным фактором в структуре окружающего нас мира. Цветное изображение зачастую считается наиболее приятным для глаза, а добавление различных цветовых оттенков позволяет передавать зрителю более полную информацию.

## 2. ЦВЕТОВОСПРИЯТИЕ

### 2.1. От стимула к перцепту

Зрительным восприятием цвета занимаются многие научные дисциплины, изучающие

- 1) физическую основу цветовосприятия, т. е. феномены освещения, прозрачности, отражения в окружающем нас мире;
- 2) физиологические процессы в зрительной нервной системе;
- 3) психические особенности преобразования нервных сигналов в восприятие цвета.

То, что мы видим как цвет, представляет собой комбинированное воздействие 1) спектрального распределения светового потока из дающего энергию источника света, 2) физических и — или — химических свойств всех материалов, пропускающих или отражающих световой поток (по меньшей мере часть светового потока, переориентированную в сторону глаза); 3) физиологической реакции глаз на световой поток, включающей в себя нервные импульсы, передаваемые в ту часть коры головного мозга, которая отвечает за зрение; 4) переработки нашим мозгом этих сигналов в сочетании с сигналами из соседних областей поля зрения; нашими воспоминаниями о сходных ситуациях, имевших место в прошлом опыте.

Первые два фактора уже измерены и проанализированы физическими методами. Результаты их действия будут рассматриваться как цветовой стимул (2.2). Третий фактор представляет собой сложный процесс, рассматриваемый в физиологических исследованиях и приводящий к тому, что мы называем цветовым перцептом<sup>1</sup>, которое может быть описано как таковое феноменологическими методами. Ощущение цвета всегда одновременно с ощущением света; эти два понятия в основе своей являются синонимами, применение того или другого из них зависит от того, какой из аспектов ощущения мы хотим подчеркнуть. Четвертый фактор включает в себя сложные психологические зависимости, когда перцепты цвета сравниваются друг с другом с целью формирования цветовых образов (gestalts) с различными значениями и их оттенками (см. статью Л. Сивика).

<sup>1</sup> Перцепт — результат процесса восприятия. Этот термин следует использовать вместо термина перцепция, который является синонимом восприятия.

Ученые с различными взглядами выделяют различные аспекты проблемы. Это — причина частой и серьезной путаницы понятий. Слово «цвет» употребляется не только в своем главном значении цветового восприятия, но и для обозначения физического цветового стимула и (в официальной терминологии СЕ<sup>1</sup>) для обозначения стимула, измеренного физическими инструментами и рассчитанного с помощью математических алгоритмов. Рекомендацией применять термин «восприятый цвет» для перцепта цвета и термин «психофизический цвет» для обозначения цветового стимула часто пренебрегают (более удобная альтернатива будет рассматриваться в разделе 3.0). Затрудняет взаимопонимание также использование некоторыми психологами термина «стимул» для обозначения не только световой энергии, попадающей в глаз, но и окрашенных образцов или фильтров, входящих в экспериментальное оборудование.

В публикациях по физике термин «цвет» часто неправильно используется для обозначения электромагнитного излучения с заданной длиной волны или с определенным спектральным составом, а Ньютон, вопреки собственному утверждению, разделил спектр на семь частот, которым он дал названия цветов: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий и фиолетовый. Действительное значение названия «синий» и его положение относительно голубого долгое время служили предметом дискуссий.

Когда воспринимается цвет и от объекта, находящегося перед нами, исходит сигнал, то восприятие может быть мысленно настолько тесно связано с данным физическим объектом, что мы считаем «цвет» одним из его признаков. Это не должно противоречить идее о том, что, например, красный цвет карандаша является результатом ментального процесса. Но когда мы говорим о красителях, красках, как о «цветах», мы просто признаемся в недостаточном богатстве нашего языка.

Без света не существует и цвет. Мы уже установили, что термины «цветовой стимул» и «световой стимул» близки по значению. Верно ли это также и для цвета и света, т. е. не является ли свет тоже перцептом (результатом восприятия)? Или цвет — лишь особый аспект восприятия света? Обе эти возможности свидетельствуют о том, что свет — это понятие, связанное с восприятием, и многие феноменологи защищают ту точку зрения, что это понятие, как и понятие цвета, необходимо использовать исключительно как таковое.

Третья альтернатива возникла из стремления выделить «свет» как видимое излучение<sup>2</sup> (или светящееся излучение) из электромагнитной энергии в целом. Если с этой целью

<sup>1</sup> Русское сокращение: МКО.

<sup>2</sup> Излучение — физическое понятие того, что излучается в этом процессе.



использовать слово «свет», то оно может обозначать или всю энергию, находящуюся в пределах электромагнитного спектра (приблизительно от 380 до 780 нм), которую способен воспринимать глаз человека, или эту же энергию в пределах чувствительности глаза к различным частям спектра. В последнем случае «красный свет» должен быть слабее «зеленого света», имеющего одинаковую с ним физическую интенсивность, поскольку глаз менее чувствителен к «красной» части спектра, чем к «зеленой».

И длина волны и преломляемость являются физическими признаками лучистой энергии, а цвет—это понятие психологическое. Поэтому мы должны понимать термин «красный свет» как зрительное восприятие, которое обычно возбуждается под действием лучистой энергии в «красной» части спектра. Понятие «красный свет» является более чувственным, чем физическим.

К настоящему моменту изготовлено много таблиц, определяющих названия различных цветов в зависимости от определенной длины волны. Эти названия часто используются в повседневной речи. Тем не менее идентичные физические стимулы могут вызывать различные цветовые ощущения (как было показано в эксперименте, описанном в начале статьи). Не существует строгой зависимости между физическим цветовым стимулом и результирующим мозговым восприятием до тех пор, пока условия наблюдения не будут учтены чрезвычайно точно.

Термин «свет» ни при каких обстоятельствах не может быть использован для обозначения лучистой энергии за пределами видимого спектра; необходимо избегать таких терминов, как «ультрафиолетовый свет» или «инфракрасный свет»—сам признак «ультрафиолетовый» свидетельствует о том, что речь не может идти о свете.

## 2.2. Цветовой стимул

### *Поток излучения*

Физическое явление, заставляющее реагировать нервные рецепторы органа чувств или, на научном языке, стимулирующее их реакцию в виде нервных импульсов, которые затем преобразуются в ощущение цвета, называется стимулом. В физическом смысле этот стимул описывается как поток электромагнитной энергии, но лишь относительно узкая часть спектра этого потока (380—780 нм) способна стимулировать зрение. Цветовой стимул, таким образом, является и световым стимулом.

Слово «стимул» в переводе с латинского обозначает прут, которым римский крестьянин «стимулировал» своего осла двигаться. Таким образом, физиологи и психологи используют

термин «стимул» для обозначения какого-либо физического явления, воздействующего на орган чувств, вырабатывающий нервную реакцию, перерабатываемую мозгом в восприятие.

Цветовой стимул редко бывает монохроматическим, т. е. только одной длины волны. Даже если мы смотрим в спектроскоп, на глаз воздействует стимул, состоящий из излучения более или менее узкой части спектра (в зависимости от точности и оптических свойств инструмента). Мы можем определить ширину спектра, но поскольку интенсивность его «проникающей» части изменяется на ее границах не резко, а постепенно, более правильным было бы применить термин «полунасыщенный диапазон». В более общем случае при рассмотрении отражающих поверхностей различного типа стимул может состоять из компонентов, относящихся к большинству участков видимого спектра, хотя и в различной пропорции.

Цвета, являющиеся результатом действия физических цветковых стимулов, обычно выглядят по-разному при различном волновом составе стимула. Однако цвет зависит также и от целого ряда других условий, таких, как уровень адаптации глаза, структуры и степени сложности поля зрения, и т. д. Некоторые из этих эффектов имеют свои названия. Эффект Гельмгольца—Кольрауша представляет собой изменение функции светоотдачи в зависимости от адаптации. Эффект Бетцольд—Брюке состоит в изменении цвета при изменении яркости стимула и сохранении его относительного спектрального состава. Количество возможных комбинаций монохроматических стимулов (независимо от того, принимается ли ширина их диапазона за 1 нм или меньше), очевидно, значительно больше количества различных цветов, которое приблизительно оценивается в 10 млн. Из этого следует, что любой воспринятый цвет, может быть генерирован большим числом стимулов с различным спектральным составом (метамеризм). Так, ощущение желтого цвета может быть получено под действием либо монохроматического излучения с длиной волны около 576 нм, или сложного стимула, содержащего смесь излучения с длиной волн примерно более 500 нм (цветная фотография), либо сочетанием излучения с длиной волны, соответствующей «зеленому» или «красному» цветам, при этом «желтая» часть спектра полностью отсутствует.

Хотя мы предположили, что электромагнитное излучение—единственный возбудитель «ощущения цвета», мы можем «видеть» цвет и без непосредственной физической причины, например, во сне, под влиянием наркотиков и т. п. В абсолютно темном помещении мы видим перед глазами разноцветное мерцание, словно наше зрение вырабатывает в отсутствие внешних стимулов какие-то случайные реакции. Цветовой стимул определен как адекватный стимул восприятия цвета или света, но он—не единственно возможный.

Каждому из человеческих чувств соответствует свой стимул: зрительный, слуховой, осязательный, вкусовой или обонятельный. Цвет—одно из ощущений, вырабатываемых зрением, которое дает нам также ощущения света и формы.

Ощущения цвета и света тесно связаны между собой, без света не существует и цвет; все ощущения, связанные со светом, могут быть описаны с применением цветовых понятий. Форма не только видима, мы можем ощущать ее и кончиками пальцев. Ощущение формы—часто результат совместного действия зрения и осязания. Есть люди, которые чувствуют определенные связи между воспринятыми ими цветами и звуками музыки.

### *Источники света*

Излучение, называемое нами светом, исходит из физического источника, преобразующего какую-либо форму энергии в излучение, которое по меньшей мере отчасти является световым. Наиболее крупным источником света является солнце, излучающее из своей нагретой до  $5800^{\circ}\text{K}$  газовой атмосферы энергию, образующуюся в результате термоядерных реакций в его недрах. Солнечный свет подвергается влиянию атмосферы Земли, поскольку некоторые присутствующие в ней газы избирательно поглощают излучение определенного диапазона. Чем дальше идут лучи через атмосферу, тем больше она поглощает его коротковолновых компонентов и тем ниже становится цветовая температура. У поверхности земли она составляет обычно около  $6500^{\circ}\text{K}$ .

Цветовая температура—физическое понятие, связанное с распределением спектральной мощности потока электромагнитного излучения, являющегося физическим аспектом всех световых стимулов. Все нагретые тела (тепловые излучатели) при определенной температуре (около  $900^{\circ}$ ) становятся источниками света, и спектральный состав в пределах видимого диапазона делает их стимулами определенного цвета в зависимости от их температуры (цвета, соответствующего данной температуре).

Первым источником света, созданным человеком, было пламя костра, а сегодня важнейшим излучателем тепла является лампа накаливания с цветовой температурой в пределах  $2800$ — $3200^{\circ}\text{K}$ . Другими источниками света являются различные типы флюоресцентных трубок и газоразрядных ламп с более или менее прерывистым или даже монохроматическим спектром.

### *Цветовые объекты*

Когда какой-либо объект освещается источником света, он поглощает часть энергии. Оставшаяся ее часть отражается или пропускается объектом, который, как только мы на него посмотрим, становится световым или цветовым стимулом.

Коэффициенты поглощения, прозрачности и отражения измеряются в процентах, и их сумма всегда должна составлять 100% при любой длине волны электромагнитного диапазона.

Если коэффициент поглощения материала объекта одинаков на протяжении всего видимого диапазона, то говорят, что он неизбирателен, а сам объект представляется нам серым, или в случае, когда коэффициент составляет около 100% (а точнее, когда он более 80%), объект кажется нам белым. Как отраженный (или пропущенный) стимул, так и результирующее цветовое ощущение называются ахроматическими, или нейтральными.

Если коэффициент отражения изменяется на протяжении видимого диапазона, то объект может выглядеть (хотя и не обязательно) как окрашенный, т. е. «не серый». В этом случае стимул и ощущение называются хроматическими. Это еще один пример двойственности понятия «цвет». Хотя ученые, специализирующиеся в области цвета, включают белый, серый и черный в разряд цветовых ощущений, повседневный язык различает «окрашенные» (хроматические) и «неокрашенные» (ахроматические) объекты.

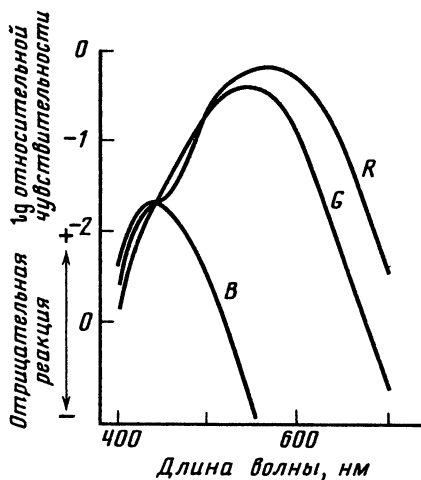
Излучение определенной длины волны, поглощенное поверхностью объекта, иногда может быть повторно излучено объектом на другой (более длинной) волне. Это явление называется флюоресценцией. Если длина волны излучения находится в пределах видимого диапазона, то коэффициент спектрального отражения может превышать 100%.

### 2.3. Нервная реакция

Трехрецепторная теория цветного зрения, впервые предложенная Г. Пальмером (1777) [40], основывалась, возможно, на искусстве печати в три цвета (практиковавшейся в Китае в XII в. и примененной в Западной Европе М. Харрисом на 500 лет позднее). Эта теория рассматривалась Т. Юнгом (1802) [55] и была разработана Х. Гельмгольцем (1856) [9] — так называемая трихроматическая теория цветового зрения Юнга — Гельмгольца. Предполагается, что на сетчатке имеется три типа рецепторов, каждый из которых имеет спектральную чувствительность к одной трети видимого спектра. Предполагается, что они реагируют на цветовые стимулы, посылая сигналы в мозг. Трихроматическая теория оказалась полезной в качестве основы для различных процессов воспроизведения цвета и была развита с помощью законов Гроссмана в метод колориметрии МКО. Довольно давно было установлено, что сетчатка содержит также специальный вид рецепторов для сумеречного зрения при низком уровне освещенности, когда «цветовые рецепторы» не могут реагировать.

За свою форму восприимчивые к дневному свету цветовые рецепторы были названы колбочками, а рецепторы сумеречного

Рис. 2. Спектральные кривые Смита и Покорного. Они очень близки к кривым относительной спектральной чувствительности красно-зелено- и синепоглощающих фотопигментов человеческой сетчатки



освещения палочками. Дневное зрение человека называется фотопическим, а сумеречное — скотопическим.

Геринг в своей теории цвета [10] связывал феноменологический анализ появления цвета с физиологической системой антагонистических химических реакций в сетчатке. На основании первой части

его теории (без учета стимулов, вызывающих ощущение) была разработана современная *Натуральная цветовая система (NCS)*. Но остальная часть его теории была переработана с учетом новейших исследований в физиологии.

Ни теория Юнга—Гельмгольца, ни теория Геринга не могут полностью объяснить, как сигналы преобразуются в мысленный образ объекта. Трихроматическая теория и теория Геринга, пытавшиеся объяснить это, были в конце концов объединены в «теорию зон» [32, 39, 44]. Согласно этой теории, приемная часть зрительной системы имеет трихроматическую структуру типа Юнга—Гельмгольца, стимулируемую в системе МКО, а выход в мозг организован по цветовой схеме Геринга в целом подобно *Натуральной цветовой системе*. Теория зон получила солидное экспериментальное подтверждение после электрофизиологических опытов Светихина [48], Е. Мак-Никола [30], в ходе которых были обнаружены горизонтальные клетки в сетчатке глаз рыбы, соединяющиеся с различными системами колбочек и передающими сигналы, описываемые теорией Геринга. Позже стало возможным определение функций спектрального рецептора в человеческом глазу [46] (рис. 2). Результаты наблюдений [14] и экспериментов по называнию цветов [3] также подтвердили уникальность цветовых оттенков.

Когда Э. Лэнд [26] разрабатывал фотокамеру «Поляроид» для изготовления моментальных снимков, он ставил традиционные эксперименты по трехцветной проекции. Однажды, когда с его проектора случайно упал зеленый фильтр, он с удивлением установил, что, несмотря на это, он все еще видит полноценное цветное изображение. Продолжая экспериментировать, он убрал синий фильтр, и изображение осталось достаточно качественным. По-видимому, глазу не обязательно получать от изображения излучение с таким

же или даже подобным спектральным составом, как от исходного объекта. Существенную роль играют только относительные различия спектральных составов различных частей объекта. Не будучи физиологом, Лэнд сформулировал свои заключения в виде огрубленной теории, согласно которой цветное зрение состоит из двух фаз: поступления информации с сетчатки и преобразования ее на участке коры головного мозга, отвечающем за зрение. Используя слова «retina» (сетчатка) и «cortex» (кора головного мозга) он назвал свою теорию теорией ретинекса [26].

В настоящее время мы знаем о функциях чувствительных рецепторов и приблизительно понимаем, как они связаны с горизонтальными биполярными клетками, в свою очередь связанными с ганглиями. Горизонтальные клетки, как предполагал Лэнд, могут служить для взаимного сравнения смежных частей картины, образующейся на сетчатке. В горизонтальных клетках также объединяются сигналы рецепторов (это может происходить и в других горизонтальных клетках): красный и зеленый объединяются в новый желтый сигнал, а все они — в сигнал освещенности; сигналы также сравниваются друг с другом: красный — с зеленым, голубой — с желтым, светлое — с темным; затем они поступают по аксонам ганглий, из которых состоит зрительный нерв, ведущий от глаза к зрительному участку коры головного мозга.

Кодирование сигналов в сетчатке несколько напоминает описанное теорией Геринга. Так как понятие о нем твердо укоренилось среди ученых, нам следует предположить, что в коре головного мозга происходит другое преобразование. В таком случае теория двух зон фон Криза должна стать теорией трех зон, чтобы больше соответствовать теории ретинекса Лэнда. Проведенные Т. Визелем и Д. Хьюбелем исследования приоткрыли физическую структуру мозга, окончательное преобразование в которой происходит с использованием информации не только из других частей поля зрения, но также и хранящейся в памяти, отвечающей за такие явления, как постоянство цвета, одновременный цветовой контраст и др. [51]. Кроме того, в настоящее время раскрываются связи между цветным зрением и генной структурой хромосом человека, объясняющие наследственные законы недостаточного цветного зрения.

Теория цвета Геринга в целом принята современными исследователями по цвету, а также ведущими колориметристами.

Отдельно взятые, теории Юнга — Гельмгольца и Геринга не давали удовлетворительного объяснения многим важным явлениям цветного видения. Однако, будучи слитыми в единую теорию, известную под названием теории «зон», они объясняют многие из этих явлений [54, с. 583].

«Теория противоположных цветов Геринга получила широкое признание как дающая наиболее достоверное описание

преобразования цвета в зрительном нерве и коре головного мозга [19, с. 836].

«Цветовые клетки ... объединены в контрастирующие пары по их реакции на красный и зеленый, а также желтый и голубой цвета. Это без сомнения предполагает, что информация о цвете может передаваться на зрительный участок коры в соответствии с теорией противоположных цветов Геринга» [53, с. 46].

Физиологическая структура сетчатки, по-видимому, очень сложна. Кроме различных видов нервных клеток, описанных выше, необходимы также кровеносные сосуды, снабжающие сетчатку энергией, а также другие ткани, удерживающие все клетки в правильном положении. Добавим, что чувствительные к свету окончания нейронов обращены ко дну глазного яблока, т. е. в сторону, противоположную зрачку, так что световые лучи, падающие через зрачок, проходят через их сеть, перед тем как подействовать на колбочки и палочки. Если сравнить глаз с камерой, то можно понять, что оптическое качество изображения в глазу будет очень низким.

#### 2.4. Восприятие цвета

Сигналы нейронов, переданные в виде цепочек электрических импульсов по зрительному нерву, еще не являются цветом. Та часть мозга, где происходит их окончательная обработка, называется зрительной зоной коры головного мозга. Она размещается в задней части мозга. И там сигналы претерпевают значительные изменения.

Одной из задач является улучшение оптического качества изображения от довольно неопределенных фрагментов, выдаваемых глазом до той четкой картины окружающего мира, которую мы «видим». Это требует значительного количества сравнений и усреднений по всему полю зрения, т. е. использования прежних впечатлений, сохраненных в памяти. Не только маленький ребенок, но и слепой, который вновь обрел зрение, должен упражняться в течение длительного времени, пока нервные сигналы от глаз не будут скоординированы для получения зрительного образа.

Другой задачей является обработка цвета. В настоящее время считается, что последний этап цепи преобразований трихроматических нейронных сигналов в соответствующие цветовые ощущения, а также большая часть сопоставлений различных участков поля зрения и сравнение с прошлыми впечатлениями происходят в коре головного мозга. Предположение о наличии таких сравнений необходимо, чтобы объяснить такие зрительные явления как одновременный последовательный цветовой контраст. Постоянство цвета (например, когда апельсин выглядит оранжевым независимо от того, освещен ли он ярким солнечным светом или красноватым

пламенем свечи) является другим феноменом, требующим учета различий спектрального состава объекта и фона в большей степени, чем определение абсолютного значения коэффициента спектрального отражения объекта.

Но иногда оценка бывает неправильной. На том участке сетчатки, где зрительный нерв соединяется с глазным яблоком, нет ни колбочек, ни палочек. Здесь, на расстоянии примерно 15° от оси глаза находится «слепое пятно», но мы редко осознаем это, потому что мозг восполняет дефект изображения за счет информации, поступающей с соседних участков. Обычно это дает положительный результат, но бывали случаи, когда мозг водителя автомашины воспроизводил на месте слепого пятна пустой участок дороги, в то время как оно закрывало автомобиль, движущийся наперерез.

То же самое может происходить и с цветами. Стабильность цвета должна компенсировать отклонения в спектральном составе освещения. Но если мы по каким-то причинам ошибочно представляем себе физическую природу того, что мы видим, мы можем получить абсолютно неправильный образ. Фотограф, занимающийся цветной фотографией, может описать лишь малую часть того, что находится перед его камерой. Если мы четко не видим, какие объекты освещены прямыми солнечными лучами, а какие находятся в тени и освещаются только голубым небом, мы часто видим последние как окрашенные интенсивным голубым цветом, который мгновенно изменяется на белый, как только мы осознаем свою ошибку. Здесь действует правило: «Мы видим то, что ожидаем увидеть».

Из вышесказанного можно сделать заключение о значительной роли окружения, в котором мы видим тот или иной цвет.

Все цвета, воспринимаемые принадлежащими какому-либо объекту (участку), видимому во взаимосвязи с другими объектами, называются относительными цветами. Только к относительным цветам могут быть отнесены определения «светлый и темный». Цвет какого-либо участка, видимый изолированно от других цветов, называется неотносительным цветом.

Д. Кац [20] определил комплекс аспектов общего визуального опыта. Из них наиболее широко используются следующие:

цвет объекта воспринимается как принадлежащий объекту,  
цвет поверхности воспринимается как принадлежащий поверхности объекта,

объемный цвет воспринимается принадлежащим пространству,

цвет аппертурный воспринимается как заполняющий отверстие в экране и не имеет определенной пространственной локализации по глубине,

в пространстве, где нет различных объектов, видны пленочные цвета.



К вышесказанному добавим, что цвет источника света — это тот цвет, который мы воспринимаем как признак этого света, в то время как цвет освещения является свойством потока излучения от скрытого источника, освещающего какие-либо объекты. Итак, светящийся цвет воспринимается, как относящийся к участку, представляющемуся источником или зеркальным отражателем света. Флюоресцентные краски также являются светящимися. Если относительный цвет воспринимается как светящийся при одновременном контрасте, не будучи источником света или флюоресцентным светом, он иногда называется флюоресцентным [8].

При любом исследовании цвета необходимо хорошо осознавать существующий тип видимого цвета. Колориметрическая система МКО была изначально разработана для цвета светящихся объектов, но затем было установлено, что система годится и для цветов поверхности, хотя и при использовании несколько иной процедуры определения. Натуральная цветовая система, без сомнения, годится для определения большинства типов, однако до сих пор она была изучена только в том, что касалось цветов поверхностей; что касается других типов, то здесь еще требуются фундаментальные исследования. То же самое можно сказать и о цветовых системах Манселла и ДИН [31, 44].

Часто поднимался вопрос о том, все ли позвоночные — или хотя бы все люди — видят свет одинаково. Обозначает ли, например, термин «красный» одинаковое для всех зрительное впечатление? Только человек и некоторые виды обезьян, по-видимому, имеют полное трихроматическое зрение, а кроме них — некоторые виды рыб и лягушек, а также некоторые виды рыб и насекомых. Большинство позвоночных невосприимчивы к цвету или, в лучшем случае, обладают дихроматическим зрением. Было установлено, что у некоторых видов, обитающих в Старом и Новом Свете, развились с момента географического разделения сред их обитания много лет назад различные рецепторные системы. Это свидетельствует о том, что трихроматическое зрение появилось на относительно позднем этапе эволюции.

Вместе с тем некоторая часть людей (8% мужчин и 1% женщин) имеет большие или меньшие отклонения цветовосприятия.

### **3. ИЗМЕРЕНИЕ ЦВЕТА**

#### **3.1. Как измеряется цвет**

Восприятие цвета — психологическое понятие и измеряется с помощью ментального процесса психометрии с использованием зрения в качестве инструмента.

Цветовой стимул — физическое понятие, и его необходимо измерять с применением физического способа колориметрии.

При этом используются физические инструменты и психофизические методы анализа полученных измерений.

Для физиков и технических специалистов всегда проще измерить физический стимул, вызывающий ощущение. Получаемые колориметрические показатели относятся к цветовым стимулам и не описывают цветовосприятие в феноменологическом смысле. Несмотря на это, они широко применяются, как если бы они служили для измерения цветовосприятия. Но еще по эксперименту, описанному в начале статьи, мы узнали что между стимулом и восприятием нет непосредственной связи или что эта связь зависит от значительного числа условий. Если один и тот же стимул может вызвать различные ощущения, как в таком случае мы сможем измерить цветовые стимулы, если хотим охарактеризовать восприятие цвета?

С тех пор как были усовершенствованы экспериментальные методы психометрической оценки цвета, а также оборудование для связанного с ней измерения стимулов оказалось возможным выяснить взаимозависимость психометрических цветовых шкал и таблиц физических стимулов с достаточно высокой точностью. Эти психофизические зависимости очень сложны и в большинстве случаев нелинейны, но благодаря использованию ЭВМ мы можем рассчитать приблизительные величины цветовых ощущений.

Психофизические и психометрические методы не взаимозаменяемы, они дополняют друг друга. Инструментальная колориметрия имеет большую скорость и точность, однако обязательными условиями ее успеха являются стандартный осветительный прибор и «стандартный» наблюдатель (средний показатель для нескольких «реальных» наблюдателей). Психометрические измерения могут быть сделаны в любой произвольной ситуации, однако они индивидуальны и сложны в проведении. Необходимо наличие нескольких наблюдателей, на основании показаний которых выводятся усредненные данные и подсчитывается их точность.

### 3.2. Психометрика

Называние цветов — вербальный метод качественного их описания, однако лишь 10—20 цветов точно определяются без дополнительных ключей — таких, как форма и т. д. Поэтому нужен более точный метод описания цветов. Готовы ли мы их измерить?

Часто утверждается, что измерения можно производить только с помощью физических инструментов, пригодных, однако, лишь для измерения физических явлений, а отнюдь не понятий типа цвета, относящихся к деятельности мозга. Но как физические явления измеряются при помощи физических инструментов, так явления, связанные с деятельностью мозга, могут быть измерены при помощи соответствующих инст-

рументов. Такими «инструментами» служат человеческие ощущения, и производимые с их помощью измерения называются психометрическими (от слов «психологический» и «измерение»).

Физики часто ставят под сомнение существование или по меньшей мере полезность психометрии. На самом ли деле является она измерением? Согласно Оксфордскому словарю, измерением называется определение количества или протяженности ... путем сравнения с установленной единицей. Коль скоро мы имеем дело с явлениями, определяемыми посредством умственной деятельности, мы можем мысленными методами разрабатывать объективные шкалы для результатов этой деятельности. Мы увидим ниже, что в мире цвета определенно происходят такие явления и, следовательно, можно создать исчерпывающую систему измерения цветовых ощущений.

Своим первым психометрическим опытом автор обязан профессору Гарвардского университета С. Стивенсу. Он дал мне поддержать небольшой камень и предложил мысленно определить его средний вес. Потом он дал мне другой камень и предложил определить его вес в отношении к весу первого камня. «Только что вы создали психометрическую шкалу»,— сказал профессор Стивенс. Далее мы увидим, как этот метод был успешно приложен к Натуральной цветовой системе Геринга.

Хотя психометрические измерения в отдельных случаях могут дать достаточно хорошие результаты, они не слишком точны, и данные, полученные различными наблюдателями, могут не иметь достаточного сходства. Даже при использовании результатов двадцати наблюдателей усредненные их показатели могут иметь неточность  $\pm 5\%$ . Вместе с тем такие психометрические измерения могут проводиться при меняющихся условиях наблюдения, когда обычные измерения цветового стимула невозможны из-за отсутствия стандартного осветителя и стандартного наблюдателя. НЦС доказала свою полезность в исследованиях, в частности явления индукции.

Термин «психометрический» применяется (например, в словаре МКО) также для определения переменных валентности цвета, преобразованных так, чтобы они приблизительно воспроизводили шкалу ощущений, даже если не были проведены точные психометрические эксперименты.

### 3.3. Колориметрия

#### *Валентность цвета*

Колориметрия есть техника измерения физическими методами качественных и количественных физических характеристик лучистой энергии, используемой в качестве цветового стимула, анализ спектрального распределения его мощности, стимулирующего цветное зрение человека с целью оценки яркости цветового стимула.

Колориметрия — не измерение цветов, а измерение цветовых стимулов. Цвет, будучи психологическим понятием, должен измеряться методами психометрии. Желательно (однако труднодостижимо) сделать так, чтобы результат дал по меньшей мере некоторое представление о виде цветового ощущения, которое предположительно должен возбудить стимул.

Окрашенные объекты создаются и применяются нами с целью посылки в наши глаза цветовых стимулов, дающих определенные цветовые ощущения, когда мы смотрим на эти объекты. Для решения этой задачи изготовителю объектов еще в процессе производства необходимо проверить свою продукцию. Поэтому колориметрия, хотя она и занимается измерением не цветов, а цветовых стимулов, также заслуживает детального рассмотрения в ходе изучения цвета.

Физические характеристики светового потока, попадающего в глаз, т. е. данные о светимости, отражении или пропускании излучения различных участков спектра или колориметрические показатели, находятся в зависимости от спектрального состава излучения источника света (включая, например, свечение экрана) или, если речь идет об отражении или пропускании излучения от источника излучения, помноженного на спектральную характеристику материала. Затем, чувствительность органов зрения зависит от многих факторов, таких, как угол падения лучей, степень адаптации, явления индукции, и др. Если колориметрия проводится без учета этих переменных, результаты измерения не будут поддаваться объективному сравнению.

Таким образом, чтобы результаты колориметрии имели смысл, они должны быть связаны с определенным наблюдателем и определенным источником света. Кроме того, необходимо строго учитывать физические характеристики оборудования.

Термин «цветовая валентность» — новый в английском языке. Это перевод немецкого слова «Farbvalenz», предложенного профессором М. Рихтером, для обозначения колориметрических показателей после их анализа с применением обычных алгоритмов МКО. Стандартный английский термин (в словаре МКО) — «психофизический цвет» — противопоставляется «ощущаемому (воспринимаемому) цвету», служащему для обозначения цветового восприятия. Оба термина чрезвычайно неудачны, поскольку они указывают, что «цвет» имеет двойственный характер и существует вне наблюдателя. Стимулы равной цветовой валентности возбуждают равные цветовые ощущения, но валентность не описывает визуальных явлений.

### *Синтез цветового стимула*

«Сочетание цветов» — еще одно понятие, неправильно применяемое в теории цвета и в технологии производства красителей.

Когда два цветовых стимула или более смешиваются таким образом, что они воздействуют на сетчатку одновременно в одном и том же месте, или в двух соседних местах, или быстро сменяют друг друга, они представляют аддитивное соединение цветовых стимулов, в результате чего образуется единое цветовое ощущение, элементы которого нельзя различить или идентифицировать. Практическими примерами таких соединений являются живопись пуантилистов или телевизионный экран.

Наглядный пример аддитивного цветового стимула — это темный экран (черный цвет), на который проецируются три первичных пучка света (красный, зеленый и синий), причем цвета налагаются один на другой. Если все три проектора работают на полную мощность, экран выглядит белым при условии, что в поле зрения нет более ярких объектов. Нейтральный экран телемонитора имеет не черный, а несколько сероватый цвет. На работающем экране компонентами смеси стимулов являются красные, зеленые и синие элементы. Если ни один из элементов не активирован, экран под действием индукции выглядит черным. Полная активность всех трех элементов придает экрану белый цвет, если это позволяет освещение.

Спектральный состав аддитивного соединения стимулов может быть рассчитан математически с высокой точностью путем простого сложения спектральных компонентов (закон Эбни) [1].

Частичное аддитивное соединение цветовых стимулов происходит, если общее количество компонентов ограничено и определено физическими условиями. Типичным примером является диск Максвелла, на котором некоторое число окрашенных образцов занимает секторы по всей поверхности диска. Когда диск быстро вращается, цвета отдельных секторов сливаются в один цвет, интенсивность и светимость которого не могут превысить среднего для всех компонентов показателя.

Если накладывать один на другой слои материала с селективной пропускной способностью, как, например, в цветном диапозитиве, каждый слой поглощает излучение с определенной длиной волны в соответствии со своими спектральными пропускными характеристиками. Если белый экран освещается проектором с желтым, зеленым и красным фильтрами различной плотности, появляется широкая гамма новых цветов, заканчивающаяся черным при очень высокой плотности всех трех фильтров.

Общий эффект действия двух или более фильтров, часто называется «субтрактивной цветовой смесью».

При цветной печати с применением нескольких (трех, четырех и более) цветовых пластин окрашенные точки располагаются рядом друг с другом (если они невелики) или (если они достаточно велики) перекрывают друг друга, при

этом происходит мультипликативное сокращение. В общей картине каждая из комбинаций создает еще один компонент аддитивного соединения. Таким образом, мы получаем сложную комбинацию аддитивных и мультипликативных стимулов, впервые теоретически рассмотренную Х. Нойгебауером [37]. С тех пор как появились компьютеры, способные рассчитать (для каждой точки изображения) линейные системы из одиннадцати и более уравнений, стала возможной коррекция офсетных пластин, что существенно снизило стоимость цветной печати.

При смешивании красок или пигментов математические расчеты становятся еще более сложными. Смешивание красящего пигмента с черным или белым красителем дает заметное изменение цвета. Если известны основные оптические постоянные всех компонентов, то с помощью уравнений Кубелки—Мунка могут быть рассчитаны рецепты смесей с желаемым эффектом.

### *Законы Гроссмана*

Современная колориметрия основана на законах Гроссмана для аддитивных соединений цветовых стимулов. Переведенные в современные понятия, они гласят, что внешний вид цветового стимула может быть изменен путем изменения одного или более из трех параметров: 1) доминирующей длины волны, 2) освещенности, 3) спектральной чистоты.

Из этого был сделан слишком поспешный вывод о наличии только трех ощущаемых переменных свойств цвета: оттенка, освещенности и насыщенности.

Плавное изменение одного из компонентов, соединения стимулов вызывает плавное изменение цвета соединения;

стимулы, имеющие одну цветовую валентность (т. е. одну и ту же преобладающую длину волны, яркость и чистоту), вызывают одинаковые эффекты в соединениях независимо от их спектрального состава;

два стимула равной цветовой валентности, объединенные с двумя другими стимулами равной цветовой валентности, порождают соединения стимулов также равной валентности; равные части стимулов, имеющих равную цветовую валентность, будут также иметь равную цветовую валентность.

Законы Гроссмана имеют некоторые важные следствия: любых трех первичных стимулов достаточно для сочетания с любым заданным стимулом посредством «аддитивного соединения стимулов». Это основа измерения цветовых стимулов, в частности колориметрической системы МКО. Это также свидетельство того, что трех первичных красителей, или люминофоров экрана, достаточно для воспроизведения цвета; сочетания цветовых стимулов, полученные с помощью одного комплекса первичных элементов, могут быть матема-

ически преобразованы в сочетании с другим комплексом первичных составляющих, если последние определены относительно первого компонента.

Законы Гроссмана сделали возможной разработку колориметрии, вначале в качестве временной замены недостающего звена между физической и перцептивной фазами цветного зрения. Она могла бы быть использована в качестве «черного ящика», пока не будут раскрыты детали промежуточных нервных процессов. Сейчас она открывает путь, позволяющий избежать отклонения в видении цвета, связанные с индивидуальными особенностями и изменениями окружающей среды [12, 13].

### 3.4. Согласование цветов

Одним из путей фундаментальных взаимоотношений между стимулом и его видением является помещение двух физически различных стимулов перед глазами наблюдателя, поле зрения которого разделено, и поставить перед наблюдателем задачу изменять их спектральный состав до тех пор, пока они не совпадут (т. е. не будут выглядеть одинаково), или, наоборот, изменять спектральный состав совпадающих ранее стимулов так, чтобы между ними было минимально заметное различие. Для достижения большей точности и во избежание посторонних воздействий стимулы представляются в виде апертурных цветов на темном фоне с точными условиями адаптации наблюдателя. Эта операция называется согласованием цветов.

Обычно один стимул делается монохромным последовательно отобранном путем небольших шагов из всех частей видимого спектра, а другие являются соединением трех «первичных» стимулов (монохроматических или сложных). Различные наборы первичных стимулов могут быть замещены по отдельности и в целом новыми первичными стимулами, преобразованными из первых путем линейного преобразования в соответствии с законами Гроссмана.

Когда в конце 20-х годов Дж. Гилд [7] и В. Райт [53] ставили свои фундаментальные эксперименты по согласованию цветов с целью определения функции человеческого глаза, теория Юнга—Гельмгольца о существовании трех видов рецепторов в сетчатке находила широкую поддержку, но не было еще данных о спектральной чувствительности этих рецепторов. Выбор эталонных цветов был поэтому произвольным. Оба монохроматических цветовых потока в одной половине поля наблюдения должны были быть согласованы наблюдателем с аддитивным сочетанием стимулов в другой половине. Для получения этого смешанного стимула Гилд применял трехполосный колориметр, а Райт—три узкие полосы с длиной волны 650, 460 и 350 нм из большого монохроматора. В каждом эксперименте принимали участие около 10 наблюда-

гелей. После оба результата преобразовывались в общий комплект новых первичных стимулов  $R$  (700 нм),  $G$  (546,1 нм) и  $B$  (435,8 нм). Они были сочтены хорошо совпадающими.

Хотя все наблюдатели прошли проверку нормальности цветового зрения, в ходе эксперимента у них обнаружили существенные индивидуальные различия, которые необходимо было усреднить. Вид воспринимаемых цветов не подвергался анализу, глаза играли роль только «нулевого прибора». При использовании колориметрических данных следует также помнить, что условия наблюдения в ходе основных экспериментов были далеки от представленных в обычной жизни.

Существуют три функции согласования цветов, по одной на каждый из эталонных стимулов, называемые  $\bar{r}(\lambda)$ ,  $\bar{b}(\lambda)$ ,  $\bar{g}(\lambda)$ . Каждая из них имеет часть отрицательных значений. Но как может аддитивное соединение стимулов содержать отрицательное количество компонентов? Объяснение в том, что невозможно согласовать чистый монохроматический стимул с соединением из трех реальных первичных стимулов. Но если мы пойдем на хитрость—передвинем один из компонентов на другую сторону поля согласования, согласовав таким образом соединение одного из первичных стимулов (который имеет отрицательный знак) и монохроматического с двумя другими первичными стимулами, мы всегда можем получить требуемое согласование. Чтобы избавиться от негативных значений в таблицах наблюдателей, функции  $\bar{r}(\lambda)$ ,  $b(\lambda)$  и  $g(\lambda)$  еще раз преобразуются в таблицы позитивных гипотетических цветов, согласованных с функциями  $\bar{X}(\lambda)$ ,  $\bar{Y}(\lambda)$  и  $\bar{Z}(\lambda)$ , определяющими размер нового комплекта эталонных стимулов, называемых  $(XYZ)$ , необходимых для согласования каждого монохроматического стимула в видимом спектре. Эти эталонные стимулы являются «предполагаемыми», т. е. они не могут быть реализованы физически и подобраны так, что представляют собой яркость (или коэффициент яркости) стимула.

Математические соотношения двух комплектов эталонных стимулов являются следующими:

$$X = 2,7689R + 1,7517G + 1,1302B$$

$$Y = \quad R + 4,5907G + 0,0601B$$

$$Z = \quad \quad 0,0565G + 5,5943B$$

### 3.5. Колориметрическая система МКО. Основные принципы

Данные, представленные Дж. Гилдом и В. Райтом, а также комплекс алгоритмов для анализа данных по цветовой валентности были рекомендованы в 1931 г. в качестве колориметрической системы МКО.

Основной принцип колориметрии сводится к тому, что световая энергия произвольного цветового стимула может



быть видима как рассеянная по большому числу составляющих с узким диапазоном (1,15 или 10 нм) и резкими границами. Исходный стимул в таком случае эквивалентен аддитивному цветовому соединению всех составляющих. Если помножить количество энергии в пределах каждой длины волны на каждую из функций согласования трех цветов, то можно получить три группы результатов, которые складываются друг с другом в значения трех стимулов.

Система МКО была разработана в первую очередь для нужд инженеров-осветителей и предназначалась для измерения и расчета излучения источников света. При небольших поправках данный метод оказался также полезным для измерения спектральных свойств прозрачных и отражающих материалов. В течение долгого времени эта область оставалась основной областью использования колориметрической системы МКО, пока в последние годы она не стала применяться для измерения световых потоков, излучаемых различными участками монитора компьютера.

### *Стандартный наблюдатель*

В 1924 г. МКО рекомендовала функцию эффективности спектральной яркости  $V(\lambda)$  фотопического зрения (с освещенностью поля минимум  $10 \text{ кд/м}^2$ , при котором активны колбочки) для стандартного фотометрического наблюдателя МКО. Для низких уровней освещенности (менее  $0,1 \text{ кд/м}^2$ , скотопическое зрение с использованием палочек) функция  $V(\lambda)$  заменяется функцией  $V'(\lambda)$ , разработанной в 1951 г. Для промежуточных уровней освещения (мезопическое зрение) релевантной функцией будет взвешенное среднее функций  $V(\lambda)$  и  $V'(\lambda)$ .

В колориметрии два типа стандартных наблюдателя. В экспериментах Дж. Гилда и П. Райта учитывались данные для чисто фотопического зрения, т. е. действовали только колбочки глаз наблюдателя. Это было одним из условий совместимости данных с уже существующей функцией яркостной эффективности МКО для дневного света. Для этого наблюдатель должен использовать только центральную область сетчатки — ямку (примерно  $2^\circ$ ), где отсутствуют палочки. Эти условия были дополнены [7, 52, 53], которые были рекомендованы МКО в 1931 г. в качестве функций подравнивания цветов для стандартного колориметрического наблюдателя.

Однако на практике лишь некоторые из окрашенных объектов вокруг нас имеют столь малый размер. Для получения данных, применимых для больших полей зрения, провели эксперименты с наблюдателем с полем зрения  $10^\circ$ . Наблюдатель в этом случае должен был воспринимать сочетание цветов рецепторами-палочками, что было более трудным заданием. Полученные данные по подравниванию цветов для

поля зрения в  $10^\circ$  были рекомендованы для стандартного наблюдателя МКО 1964, являющего собой альтернативу наблюдателю с полем зрения  $2^\circ$ .

Подравнивание цветов — психофизический процесс, установленный раз и навсегда, но когда довольно неточные данные визуальных наблюдений заменяются усредненными и сглаженными данными стандартного наблюдателя, вся процедура измерений и расчетов переходит в области физики и математики. Однако это создает род иллюзии: стандартизованные данные позволяют нам делать повторные измерения для «усредненного» наблюдателя, который, однако, в большей или меньшей степени отличается от «индивидуального».

Кроме того, индивидуумы, плохо воспринимающие или совсем не воспринимающие цвет, имеют существенно иное цветовое зрение. Мы также знаем, что зрение различных животных имеет спектральную чувствительность, отличную от человеческой, термин «свет» будет иметь для них немного другое значение.

### *Стандартный источник света*

В экспериментах с отражающими или прозрачными образцами спектральная функция цветового стимула, попадающего в глаз, является, по волновому составу, продуктом спектральных компонентов освещающего светового потока и функции отражения и прозрачности образца. Чтобы сделать возможным сравнение данных, МКО рекомендовала набор стандартных осветителей. В 1931 г. набор состоял из трех осветителей: *A* — лампа накаливания, *B* — дневной свет, включающий прямой солнечный свет (малоиспользуемый и в настоящее время считающийся устаревшим) и *C* — «северное небо» — дневное освещение с исключением прямого солнечного света, в 1976 г. последний получил официальную замену — *D65*, однако он широко используется до сих пор.

Осветитель *A* легко получить, используя лампу накаливания с цветовой температурой  $2850^\circ\text{K}$ . Осветители *B* и *C* можно легко сделать из осветителя *A*, снабженного двойной кюветой, содержащей специальные жидкости. В настоящее время кювета заменена стеклянным фильтром. Осветитель *C* имеет согласованную цветовую температуру приблизительно  $6800^\circ\text{K}$ , определенную только в пределах видимого спектра.

Когда возникла необходимость в измерении флюоресцентных образцов, стал нужен осветитель, излучающий стандартную дозу ультрафиолета. С использованием новых данных по спектральному составу дневного света в различных районах мира был создан новый набор осветителей дневного света для согласованных цветовых температур  $5500\text{K}$  (*D55*),  $6500\text{K}$  (*D65*) и  $7500\text{K}$  (*D75*) с установленной долей ультрафиолетового излучения в диапазоне ниже  $300\text{ нм}$ . Из них

предпочтительнее был излучатель D65, если обстоятельства не требовали выбрать другой тип. К сожалению, не было дано рекомендаций по физической реализации осветителей серии D, но считается, что хорошим вариантом является использование излучения ксеноновой дуговой лампы, пропущенное сквозь слабый фильтр.

В теоретических расчетах (но лишь изредка — в практических целях) гипотетический источник света с одинаковой спектральной плотностью энергии по всему видимому спектру называется спектром равной энергии и обозначается как осветитель E.

Кроме рекомендуемых в настоящее время осветителей A и D65 существует серия F, в которую включены некоторые из широко применяемых флюоресцентных трубок.

### *Инструмент*

Инструменты для измерения цветового стимула могут быть изготовлены с высокой степенью точности, однако изготовители слишком часто забывают о том, что даже небольшие отклонения в геометрической форме и других характеристиках могут вызвать существенные различия цветовых валентностей.

Существуют инструменты двух основных типов: колориметры и спектрофотометры. Колориметры обычно имеют красный, зеленый и синий фильтры соответственно трем функциям согласования цветов. Коротковолновое ответвление кривой  $x(\lambda)$  учитывается путем добавления к показаниям с красного фильтра, либо определенной части показаний с синего фильтра, либо результатов измерений, сделанных при помощи специального синего фильтра.

Существуют также колориметры, предназначенные в основном для измерения в прозрачных средах.

Спектрофотометр — универсальный инструмент измерения спектральных функций. С технической точки зрения спектрофотометр является не чем иным, как спектрорадиометром, приспособленным для прямого сопоставления образца с некоторым эталоном. Для спектрального рассеивания потока лучей, позволяющего делать измерения при дискретной установке длины волны, он снабжен монохроматором со стеклянной призмой или решеткой в качестве рассеивающего элемента. Применение решетки дает то преимущество, что разложенный спектр имеет линейные различия по длинам волн. Для повышения чистоты спектра и уменьшения вероятности отклонения лучей из-за наличия пылевых частиц и отражения внутренними поверхностями обычно применяется установка двух призм или решеток последовательно одна за другой. Для измерения линейного спектра источников света длина волны должна регулироваться с шагом 1 нм или меньше. Для измерения отражающих образцов можно использовать

регулировку с шагом 5 нм. Желательно, чтобы ширина полосы была равна шагу регулировки.

МКО также дает рекомендации по геометрическим условиям освещения и сбору отраженного или пропущенного света. Различия в геометрическом расположении дают различия в результатах измерений. К сожалению, эти правила недостаточно строги и недостаточно точно выполняются изготовителями инструментов, поэтому нет гарантии получения идентичных результатов на различных инструментах даже после тщательной калибровки с приложением определенного вида «переводных» эталонов.

Существуют два основных типа геометрических условий освещения: направленный и сферический. В первом случае образец освещается под углом  $45^\circ$ , а фотоэлемент, собирающий отраженные лучи, расположен перпендикулярно поверхности образца или под небольшим углом во избежание отражения фотоэлемента глянцевитой поверхностью образца. В этом случае очень просто с высокой точностью получить требуемую геометрию освещения, особенно при использовании гладких поверхностей. Глянцевитые образцы отражают большую часть энергии в противоположном направлении под углом  $45^\circ$  и дают очень низкие показатели. Но у образцов со сложной структурой поверхности (например, текстиля) при различных углах падения лучей получаются совершенно различные результаты. В некоторых инструментах этого удается избежать посредством освещения образца через световоды под разными азимутальными углами или применения кольцевого осветителя.

При использовании геометрии освещения сферического типа образец закрывает отверстие в интегрирующей фотометрической сфере и освещается под углом  $8^\circ$  к нормам. Сфера, поверхность которой покрыта белым материалом с высокими отражающими свойствами, собирает все отраженные лучи, а фотоэлемент производит измерения в точке сферы, заслоненной перегородкой от прямых лучей с поверхности образца (обратная траектория световых лучей также может быть учтена). Сфера обычно снабжается так называемой «бликовой ловушкой» — отверстием в том месте, где на ее поверхность падает зеркальное отражение с образца. Но поскольку индикатриса отражения многих образцов с полуглянцевой поверхностью не следует закону зеркального отражения, блик такого образца может тем не менее оставаться на поверхности сферы, и «исключение блика» не является полным. Поэтому рекомендуется закрывать «бликовую ловушку» белым колпачком, включая таким образом блик в результат измерения. Из этого можно сделать вывод, что даже самые «черные» образцы имеют показатель отражения около 3,8%, что, возможно, хорошо согласуется с реальным опытом, поскольку большинство темных объектов вокруг нас отражает некоторое количество света, попавшего на них.

Обычный способ калибровки колориметрического инструмента состоит в частой (не менее двух раз в день) проверке фотометрических данных с помощью каких-либо рабочих эталонов, которые, в свою очередь, регулярно калибруются по официальным эталонам. В качестве рабочих эталонов чаще всего применяются черные и белые пластинки со спектральными отражательными функциями, позволяющими использовать их на инструменте данного типа, но если его конструкция позволяет использовать черное отверстие, то этот способ оказывается наилучшим для определения нулевой точки фотометрической шкалы. Многие национальные лаборатории стандартизации выпускают наборы калиброванных окрашенных эталонов.

### Расчеты

Приводим формулу расчета трехкомпонентных показателей:

$$X = k \sum \beta(\lambda) S(\lambda) x(\lambda),$$

$$Y = k \sum \beta(\lambda) S(\lambda) y(\lambda),$$

$$Z = k \sum \beta(\lambda) S(\lambda) z(\lambda),$$

где спектральная функция образца обозначена как  $\beta$ , источника освещения  $S$ , а  $x$ ,  $y$ ,  $z$  обозначают соответствующие функции согласования цветов. Коэффициент нормализации  $k$  подобран так, чтобы для абсолютно белого диффузора  $y=100$ . Суммирование должно проводиться для всего видимого спектра.

Для источников света и светящихся цветовых стимулов, рассчитанных без учета какой-либо белой исходной точки, функция  $S(\lambda)$  при приведении в фотометрических единицах трехкомпонентных показателей не учитывается, т. е. в соответствии с условиями преобразования эталонных стимулов из  $RGB$  в  $XYZ$  трехкомпонентный показатель  $Y$  будет обозначать яркость стимула.

При измерении стимулов, даваемых прозрачными и отражающими образцами, расчеты становятся более сложными, несмотря на применение компьютеров. В данном случае стимул является результатом распределения энергии спектра освещающего светового потока и спектральных характеристик освещаемого объекта. Иногда этот комбинированный эффект — это все, что нам нужно измерить. В этом случае мы используем спектрорадиометр, а расчеты делаем как для источника света.

Если мы хотим измерить сам образец независимо от его освещенности, то необходимо скорректировать данные об источнике света. В большинстве случаев это происходит автоматически при начальной калибровке фотометрической шкалы. Можно использовать в нашем инструменте лампу любого типа, если она дает достаточно энергии по всем диапазонам. Полученные данные служат спектральными характеристиками образца.

Обычно цветовая валентность образца рассчитывается для определенного источника освещения, функция спектральной энергии которого должна также быть помножена на результаты измерений. Затем обычно составляются специальные таблицы, где приведены данные по функциям источника света и согласования цветов. Эти таблицы называются «функциями взвешивания». В них приводятся данные по всем рекомендуемым МКО стандартным наблюдателям и источникам освещения. Они составлены таким образом, что сумма результатов расчета  $Y$  всегда равна 100, так что трехкомпонентный показатель в спецификации цветовой валентности будет являться коэффициентом освещенности. Таблицы включены в программное обеспечение компьютеров, которыми в настоящее время оборудовано большинство колориметрических инструментов.

Необходимо следить за тем, чтобы функции взвешивания были скоординированы со спектральным диапазоном, в котором проводятся измерения и волновыми интервалами между точками измерений. МКО рекомендует использовать диапазон от 380 до 780 нм, и для получения точных результатов абсолютных измерений наблюдение следует проводить в его пределах. Снижение верхней границы до 720 нм лишь в редких случаях может дать неотрицательные последствия, однако часто практикуемая в настоящее время спектрометрия в пределах от 400 до 700 нм рекомендуется только для сравнения образца с каким-либо эталоном, например, при контроле промышленной продукции.

Волновые интервалы между точками входа равны в официальных стандартах МКО для колориметрических наблюдателей и источников освещения одному нм (МКО 002 и МКО 001. Вена, 1986). В издании МКО № 152 (Вена, 1986) проведены также таблицы с интервалом 5 нм, который также приемлем в колориметрии с учетом того факта, что ширина диапазона спектра каждого показателя составляет порядка 5 нм [13]. Интервалы большего размера (10 нм, 20 нм) не включены в рекомендации МКО, но могут быть использованы в узкодиапазонной спектрофотометрии.

Перевод таблицы с интервалами 1 нм в таблицу с интервалами 5 нм не есть простой выбор каждой пятой точки входа, начиная с первой. Необходимо провести полную нормализацию для приведения суммы показателей ( $X+Y+Z$ ) к значению 100. При сокращении функций на любом конце спектра, соответствующие показатели не следует опускать, их необходимо включить в первую и последнюю из оставшихся строк таблицы.

Трехкомпонентные показатели могут быть рассмотрены как векторы в пространстве  $XYZ$ , по меньшей мере для источника света. Когда показатель  $Y$  нормализуется так, чтобы представлять из себя коэффициент яркости (для отражающих

и прозрачных образцов), то принято заменять трехкомпонентные показатели на координаты цветности:

$$x = X / (X + Y + Z),$$

$$y = Y / (X + Y + Z),$$

$$z = Z / (X + Y + Z).$$

Трехкомпонентные показатели и координаты цветности составляют, будучи взятыми вместе, цветовую валентность образца, всегда соотнесенную с определенным стандартным наблюдателем, а для несветящихся стимулов — также и с определенным источником света. Координаты цветности отображаются на плоской диаграмме цветности с осями координат  $x$  и  $y$ . Так как  $x + y + z = 1$ , график функции  $z = 0$  представляет прямую линию, проходящую через точки  $(1; 0)$  и  $(0; 1)$ . Получающийся таким образом треугольник часто называется треугольником Максвелла.

Величина  $Y$ , являющаяся третьей переменной, необходимой для определения цветового стимула, наносится под прямым углом к плоскости  $XY$ , предпочтительнее всего через нулевую точку.

На диаграмме цветности гамма реальных цветовых стимулов ограничивается положением спектра, т. е. цветностями монохроматических спектральных световых потоков, образующими подковообразную кривую. Все цветовые стимулы как результат аддитивного соединения монохроматических стимулов будут представлены точками внутри границ спектра.

Центр треугольника Максвелла ( $x = 0,33$ ;  $y = 0,33$ ) является местом положения спектра равных энергий. Другие источники освещения будут иметь другие точки цветности, расположенные вблизи так называемого локуса Планка, т. е. ряды цветностей для всех излучателей типа черного тела с различной температурой.

Существуют различные способы определения местоположения цветовой валентности на диаграмме цветности: с использованием либо декартовых координат  $(x, y)$ , либо полярных. Прямая линия проводится через точку осветителя  $(X_n; Y_n)$  и точку текущей цветовой валентности и дальше в направлении так, чтобы она соприкасалась с местом спектра в точке  $(X_d; Y_d)$ . Если  $X, Y$  и  $(X_d, Y_d)$  расположены на одной и той же стороне  $(X_n, Y_n)$ , то длина волны, соответствующая  $(X_d, Y_d)$ , называется доминирующей длиной волны цветовой валентности. Если  $(X, Y)$  и  $(X_d, Y_d)$  расположены на противоположных сторонах  $(X_n, Y_n)$ , то в этом случае доминирующая длина волны приводится как дополнительная к соответствующей  $(X_d, Y_d)$  и обозначается значками «—» до или «с» после показателя длины волны. Доминирующая длина волны часто используется как колориметрическое соответствие воспринимаемому оттенку цвета, но это только

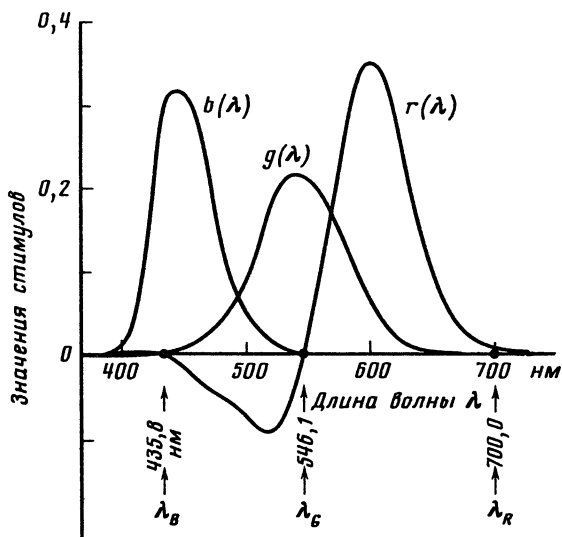
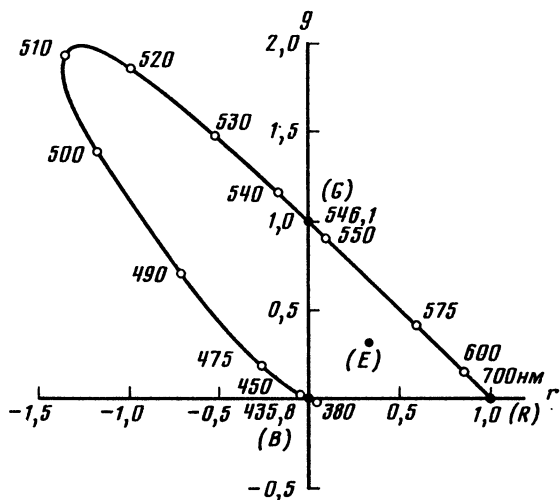


Рис. 3. (R, G, B)-система:  $\bar{r}(\lambda)$ ,  $\bar{g}(\lambda)$ ,  $\bar{b}(\lambda)$  — функции измерения цвета;  $(r, \bar{g})$  — диаграмма цветности



приблизительно верно. Отношение расстояния от  $(X_n, Y_n)$  до  $(X, Y)$  к расстоянию до  $(X_d, Y_d)$  называется спектральной чистотой (или чистотой возбуждения):

$$P_e = (Y - Y_n) / (Y_d - Y_n) \quad \text{или} \quad P_e = (X - X_n) / (X_d - X_n).$$

Некоторые спектральные функции отражения представляют теоретический интерес. Если допустить, что имеется коэффициент освещенности с заданным уровнем, то наиболее высокая спектральная частота будет получена, если не имеется других значений отражения, кроме 0 и 100% с одним или




**Рис. 1.** 3 или 4 цвета? Здесь лишь три различных стимула, однако вы увидите 4 различных цвета как следствие одновременного цветового контраста

**Рис. 4.** Цветовая окружность и треугольник используются для графической иллюстрации обозначений цветов NCS

К статье  
А. А. Миткина  
Т. М. Перцовой

Рис. 1. Иллюстрация  
к работе В. Кандинского  
«О духовном в искусстве»

Рис. 3. В. Кандинский  
«Красное пятно»



двумя переходами между ними. Такие стимулы называются оптимальными. Для каждой доминирующей длины волны существует один такой стимул, в котором переходные длины волн дополняют друг друга, и этот стимул называется максимальным. Эти стимулы изучались в работах [39, 43, 44].

### Преобразования

Являясь главным образом математическим понятием, введенным по результатам физических измерений по психофизическим соображениям, цветовая валентность может быть использована в дальнейших теоретических расчетах, характеризуя все время только стандартного колориметрического наблюдателя. Например, на диаграмме цветности (называемой также треугольником Максвелла) цветовые валентности подчиняются закону центра тяжести, заимствованному из физики.

Так как колориметрия основана на согласовании цветов, расчет цветовых валентностей позволяет сказать, будут ли какие-либо два стимула давать одинаковые ощущения или нет, но он ничего не говорит о том, как они выглядят.

При контроле промышленной продукции часто бывает нужно измерить цветовые различия как по различным направлениям от заданной точки стимула, так и в различных участках пространства стимула. На оригинальной диаграмме цветности МКО равные видимые различия представлены так называемыми «эллипсами МакАдама», имеющими различные размер, эксцентриситет и расположение. Предпринималось много попыток разработать уравнения преобразования, которые бы моделировали воспринимаемые различия, т. е. превращали бы эти эллипсы в круги равного размера, но до сих пор результаты были недостаточно удовлетворительны. Такие преобразования часто основываются на неверном предположении, что  $ind:s$  следует законам аддитивности и пифагоровым. В 1976 г. МКО рекомендовала две формулы преобразования, до тех пор пока не будет найдено новое решение. Преобразование CIELUV предназначено в особенности для ситуаций, где пригодна диаграмма цветности, например при изучении светящихся цветов. Первая часть преобразования состоит в том, чтобы задать начальную форму диаграмме цветности

$$U' = 4X / (X + 15Y + 3Z)$$

$$V' = 9Y / (X + 15Y + 3Z)$$

с целью придать эллипсам МакАдама более (но не совсем) круглую форму. (Вначале эти координаты назывались  $UV$ , причем уравнение для  $V$  имело в числителе коэффициент 6 вместо 9).

Диаграмма ( $U'V'$ ) может быть использована в существующей форме, но, когда становятся важными различия

в освещенности, шкала  $Y$  преобразуется в шкалу яркости, которая затем используется для определения различий по цветности:

$$L^* = 116(Y/Y_n)^{1/3} - 16$$

$$U^* = 13 L^* (U' - U_{n'})$$

$$V^* = 13 L^* (V' - V_{n'})$$

Индекс  $n'$  обозначает ахроматический стимул самого источника света.

Система CIELAB применяется главным образом для поверхностных цветов. Ее предтечей является «пространство цветовой валентности» (1922) Адамса. Адамс хотел создать переход от колориметрических измерений к описанию цветов, подобно системе противоположных цветов Геринга. С того времени было создано много формул данного типа. Современная формула гласит:

$$L^* = (\text{так же, как в CIELUV})$$

$$a^* = 500 [(X/X_n)^{1/3} - (Y/Y_n)^{1/3}]$$

$$b^* = 200 [(Y/Y_n)^{1/3} - (Z/Z_n)^{1/3}].$$

Для очень темных цветов с коэффициентом яркости менее 1% существует специальная линейная аппроксимация к нулевой точке.

Как для CIELUV, так и для CIELAB, разработано уравнение цветового различия пифагорейского типа, дающее величину  $CRDE$ . До тех пор пока уравнения применяются на «микроуровне для расчета небольших цветовых различий, они остаются приемлимыми, но более крупные цветовые различия нельзя рассматривать как сложенные из более мелких различий.

Оба комплекса уравнений могут быть включены в программу компьютера колориметров простого образца, чтобы координаты по системам CIELUV и CIELAB определялись непосредственно после измерения. CIELAB также ошибочно применяется в качестве системы «определения внешнего вида цвета», не соответствуя перцептивным характеристикам. Положительная ось  $a^*$  может иметь некоторое сходство с визуальным параметром желтого, но остальные три луча крестообразной диаграммы  $a^*/b^*$  существенно отклоняются (до  $30^\circ$  на диаграмме в полярной системе координат) от зрительных ощущений, которым они якобы соответствуют.

Решение МКО от 1976 г. включало также рекомендацию продолжить поиск единого и наилучшего преобразования валентностей МКО. Работа в этом направлении ведется в Англии и Японии. Хотя были разработаны первичные формулы в соответствии с параметрами системы Манселла, новые исследования ориентированы больше на пространство NCS.

## *Применение*

Будучи основанной на экспериментах согласования стимулов, система МКО прекрасно подходит для решения многих задач, когда важно знать, вызовут ли два стимула идентичные цветовые ощущения, например при контроле качества окрашенных продуктов. Поэтому часто упускается из виду, что система МКО была разработана для экспериментальных ситуаций, в которых картина цветов очень отлична от той, которую мы наблюдаем в каждодневной жизни, что эта система никогда не предназначалась для описания внешней картины цвета и что она представляет среднего (стандартного) наблюдателя МКО, существенно отличающегося от индивидуальных наблюдателей.

Важным преимуществом колориметрической системы МКО является то, что в ней используются стандартизированные функции для спектральной характеристики как «стандартного» человеческого глаза, так и комплекса обычных источников света. Это позволяет нам получать объективные и точные характеристики цветовых стимулов, что дает, в свою очередь, возможность сравнивать результаты, полученные в различных лабораториях, и производить сверку промышленной продукции с эталонными образцами.

## *Метамеризм*

Так как число возможных сочетаний монохромных компонентов в стимуле значительно превышает число различных цветовых ощущений, то, следовательно, каждое ощущение может быть вызвано большим количеством стимулов с различными спектральными составами. Такие стимулы называются метамерами (это понятие употребляется только во множественном числе) и характеризуются их спектральными функциями; при сравнении со стандартным наблюдателем и стандартным источником освещения они дают идентичные трехкомпонентные показатели. Как только распределение спектра одного из сравнительных факторов (наблюдателя или источника света) изменяется, метамеризм исчезает.

Метамеризм не могут иметь только оптимальные и максимальные стимулы с идеализированными спектральными функциями.

Практическая важность метамеризма состоит в возможности согласования окрашенных материалов друг с другом. Например, чтобы получить одинаковый цвет ткани, пластмассы и кожи в большинстве случаев необходимо применять различные красители и пигменты. Поскольку эти пигменты скорее всего имеют различные спектральные кривые, образцы будут метамерами. Но этот метамеризм будет иметь место в единственной оптической ситуации; в других случаях материалы

будут выглядеть в большей или меньшей степени различными по цвету. Задачей лица, занимающегося окраской, является выбор таких оттенков, которые дали бы минимальные различия между материалами в разных зрительных ситуациях. Например, на предметы одежды люди могут смотреть как при дневном свете, так и при освещении лампами накаливания или флюоресцентными трубками.

#### **4. СИСТЕМА ЦВЕТОВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ. ОБЩИЕ СООБРАЖЕНИЯ**

Процесс цветового восприятия позволяет различать около 10 млн цветовых оттенков. Чтобы описать и свести их в цветовую систему, необходим ряд основных принципов:

- 1) ясное и четкое определение того, что нужно включить в последовательность,
- 2) логическая структура системы,
- 3) ряд четко сформулированных изменений,
- 4) метод градации.

Большинство цветовых систем демонстрируется с помощью цветовых атласов, а также как рабочий материал в работе дизайнеров.

##### **4.1. Что же входит в цветовую систему?**

###### **Системы внешнего вида цвета**

Если мы примем определение цвета как объекта, то последовательность цветовой системы должна состояться в соответствии с визуально наблюдаемыми качествами цвета.

Для различных концепций цвета будут нужны различные отличительные свойства восприятия и переменные величины, а также различные принципы структурирования. Для всех систем цветовой последовательности стремятся использовать нечто вроде «равного размещения». В основу такого структурирования могут быть положены цветовые различия [31] или цветовое сходство [17, 21, 49].

В системе цветовых различий, сохраняя две переменные величины без изменений и двигаясь вдоль третьей из одной узловой точки к другой, воспринимаемое различие цветового образца всегда будет оставаться одним и тем же.

В системе цветового сходства узловые точки представлены равномерными пропорциональными ступеньками цветовых подобию относительно воспринимаемого цвета. Например, в шкале черного цвета НЦС уровни черноты (0, 10, 20, 30 и т. д.) даны как процентное сходство или подобие черному цвету.

Различные принципы градации составляют значительные общие различия между системами цвета, особенно это относится к градации оттенков, но, когда сравниваются неболь-

шие куски цветового пространства, различия в градации становятся незначительными.

Подлинную систему цветового пространства можно получить путем феноменологического анализа воспринимаемых цветов и нет необходимости основываться на физических стимулах цвета. Фактически, если систему цветового пространства нужно в общем применить для произвольной ситуации наблюдения, ее не следует привязывать к каким-либо физическим явлениям, предшествующим восприятию.

Это будет рассмотрено более подробно в связи с НЦС.

Если мы хотим проиллюстрировать нашу систему цветового пространства на примерах в цветовом атласе, то нужно отобрать примеры, чтобы представить трехмерный набор узловых точек в соответствии с принципами системы. Такой отбор должен происходить с помощью визуального наблюдения при определенных физических условиях. Отобранные образцы будут определяться их цветовой валентностью только для данной ситуации.

Если основные принципы системы определялись с помощью феноменологического анализа (как в НЦС), то употребимость этих определений никак не страдает от ограничений в обоснованности цветовых образцов. Но большинство систем цветового пространства (Munsell, DIN, Coloroid) определяются таблицами цветовой валентности и не дается никаких инструкций к тому, как описывать цвета, увиденные в других ситуациях.

Все системы цветового пространства, разработанные до сих пор, ограничиваются лишь цветом поверхности. Для других видов цветового пространства требуется дальнейшее исследование.

### *Системы цветовых стимулов*

Инженеры, занимающиеся световой техникой, всегда интересовались световым излучением, действующим как внешний раздражитель для визуального восприятия. После того как в 1924 г. было дано определение функции CIEV, они обратили внимание на дополнительную информацию, описывающую излучение как цветовой стимул.

Для того как полностью было осознано сложное взаимоотношение между физическим стимулом и восприятием, считалось, что физическое измерение возбуждения будет в равной мере относиться и к восприятию и тем самым к пространству света и цвета.

Цветометрическая система МКО— абстрактная система, основанная на смеси дополнительного цветового воздействия. На основании эксперимента по нахождению соответствия система МКО должна показать, когда два стимула могут дать одни и те же цвета.

Многие художники разработали свою индивидуальную систему, в основе которой лежат ощущения, связанные с тем, как пигменты на их палитре должны быть использованы для получения необходимого эффекта на полотне.

Опытным путем художник изучает сложные способы взаимодействия на полотне, и определяет «цвет» больше с помощью своих пигментов, чем восприятием наблюдателя. Точно так же красильщик приобретает навык в подборе красок и чернил в нужных пропорциях для получения желаемого результата.

В промышленности, где цветные материалы производятся за счет смешивания красок и пигментов, есть необходимость в системе пигментной смеси, где краски или пигменты смешиваются в простых числовых отношениях. Основы даются фактическим технологическим процессом.

Новая форма пигментных систем, которая будет играть весьма существенную роль в ближайшем будущем, заключается в том, как соотносить люминофор цветных мониторов с графиками видео и компьютера и как соотносить физические сигналы монитора с воспринимаемыми цветами.

Названия цветов в этих системах исторически или функционально связаны с используемыми материалами. Они могут соответствовать или не соответствовать наблюдаемому цвету материала или конечного продукта. Например, циан первоначально являл собой голубовато-зеленый органический краситель, но сейчас используется для пигментов, где, по-видимому, они ближе к чисто голубому цвету.

Такие системы полезны в рамках конкретной отрасли промышленности, но так как они строятся по разным основаниям, то они не могут использоваться за пределами своей отрасли. Когда производитель цветных материалов или цветовых образов хочет контактировать с заказчиками или со своими коллегами в других отраслях, подобная система будет малополезна, если заказчик не желает изучить новую цветовую систему для каждого нового изделия, которое он покупает. Им нужен способ описания цвета с точки зрения не технологии изготовления, а внешнего вида цвета.

Иногда заявляют, что, чтобы принять цветовую систему, ее надо «осознать» вместе с цветовыми образцами. Конечно же, это абсурдно.

### **4.2. Структура**

Структура системы цветовой последовательности включает и выбор переменных и геометрическую модель, в которой эти переменные иллюстрируются.

Для большинства цветовых систем набор цилиндрических координат, таких, как оттенок, освещенность или темнота,



а также насыщенность (глубина оттенка), цветность были выбраны без дальнейшего доказательства или определения. Но более внимательное изучение показывает, что эти концепции не так самоочевидны, что их определения неправильны или вводят в заблуждение и что возможны другие переменные.

«Узловые точки» в цветовых системах и цветовые образцы в соответствующем атласе обычно должны быть в соответствии с восприятием равномерно распределены в как можно большем количестве направлений, но система НЦС строится на равной градации сходств к набору воображаемых опорных цветов.

Требуемое равномерное распределение во всех направлениях не может быть достигнуто цилиндрическими координатами, поскольку расстояния между смежными плоскостями оттенков сокращается в направлении серой оси. Таким образом, система OSA—UCS строится на прямоугольных (декартовых) координатах без концепции оттенков. Отклонения от нормы CIELUV и CIELAB цветометрической системы CIE могут быть представлены как прямоугольными, так и цилиндрическими координатами.

### 4.3. Опорные точки

#### *Определение ощущением*

Система естественного цвета (NCS) определена ощущением в том смысле, что используется шесть элементарных цветов в качестве основы для описания всех остальных цветов. Элементарные цвета известны всем видящим их с нормальным цветовым зрением и могут быть без сомнений определены, если можно так сказать, без ссылки на физические сигналы или цветовые образцы.

Элементарные цвета—это в основном мысленная концепция, недостижимая для производства физических цветовых образцов. Однако обширные наблюдения хроматических образцов с наиболее возможной хроматичностью показали выбор элементарных оттенков с высокой точностью практически всеми наблюдателями. А. Хард и Г. Тоннквист проделали этот эксперимент при строгом соблюдении условий с двумя группами наблюдателей; 40 шведов и 90 китайцев. Был получен один и тот же результат. То, как наблюдатели потом использовали элементарные цветовые концепты при градации других цветов, указывает, без сомнения, на то, что они врожденные.

В системе NCS все определения непосредственно относятся к визуально распознаваемым свойствам цветового восприятия, и NCS—это основательный набор правил, помогающий выработать логическим путем систему обозначений для любого цветового восприятия независимо от вызывающего его физического стимула. Атлас NCS—иллюстрация цветовой системы

обозначений, которая справедлива только при дневном свете. Цветовые образцы определяются цветовой валентностью, давая взаимоотношения между цветовыми пространствами NCS и CIE для тех же дневных условий, но они никак не определяют цветовую систему, называемую NCS.

Выстроенная на основе восприятия система NCS—единственная система с легко определяемыми и воспроизводимыми опорными точками, и ее легко может воспроизвести любой специалист в области цвета.

Эти системы разрабатываются с помощью перцептивных экспериментов, но так как нет естественных и легко узнаваемых опорных элементов, то они выявляются с помощью цветовой валентности для отобранных раздражителей. Сегодня системы Munsell, DIN, Coloroid и OSA—USC определяются с помощью таблиц цветовой валентности CIE для раздражителей, соответствующих узловым точкам перцептивного пространства. Что же касается других возможных комбинаций излучающего источника и наблюдателя, то нет ни одной четко разработанной системы. В любой из них используются черный и белый, определяемые в соответствии с НЦС. Обычно таблицы цветовой валентности экстраполируются на поверхность треугольника МакАдама.

Чтобы воспроизвести одну такую систему, если все данные потеряны или если нет спектрофотометрии определения цветовой валентности, необходимо повторить все эксперименты, если, конечно, кто-либо помнит процедуру, и даже тогда будет весьма сложно получить единицы цветовой гаммы и узловые точки.

#### 4.4. Шкалирование

Важную роль, как принято считать, играет однородное пространство, однако системы, разработанные в соответствии с этим критерием, показывают большие различия. Сравните, например, шкалы оттенков в системе Манселла и системе DIN.

Шкала системы NCS, выраженная в процентах от сходства с элементарными цветами, может привести к тому, что равные интервалы единиц NCS будут выглядеть равными при сравнении между квадрантами, но в пределах каждого квадранта размещение кажется равномерным. С точки зрения дизайна положение цвета относительно элементарных опор играет большую роль, чем равные расстояния вдоль цветового пространства. Но для обработки визуально допустимых отклонений при управлении производством формула цветового отличия, основанная непосредственно на валентности раздражителя, может быть более пригодной.

Использование процентной шкалы—это весьма произвольное дело; последовательное разделение между смежными элементарными цветами может быть лучше с теоретической

точки зрения, но менее удобно для практического использования. Различие между абстрактными и конкретными системами очень важно, равно как и тот факт, что любая система может быть проиллюстрирована цветовыми образцами. Иногда признаются лишь конкретные цветовые системы.

## 5. ДЕСКРИПТИВНЫЕ ЦВЕТОВЫЕ СИСТЕМЫ

### 5.1. История вопроса

В этой главе мы будем иметь дело с системами, где явление цвета описано в терминах визуальных признаков, присущих цвету. Если цветовой образец конкретизирован с позиций и системы обозначений, и цветовой валентности СЕ, то это лишь для того, чтобы проиллюстрировать отношение между двумя пространствами, цветовая же валентность ни в коей мере не определяет систему.

Выражаясь обыденным языком, внешний вид цвета описывается несколькими самостоятельными названиями цветов и их комбинациями. Количество таких словесных описаний может быть увеличено за счет добавлений одного или двух определений. Точность, с которой такие названия могут описать цвет, различна в разных языках и разных культурах.

Вербальные описания цвета обычно относятся к системному группированию цветов или пигментов, позволяющему получать цветовые перцепты.

Э. Геринг (1874) продемонстрировал существование шести простых (элементарных) цветов — черный, белый, желтый, красный, синий, зеленый, каждый из которых не имел сходства ни с одним из оставшихся пяти. Не было доказательств наличия именно шести цветов, разве что за исключением того, что никто не мог описать седьмой цвет, который бы не напоминал указанные шесть цветов.

Элементарные цвета являются цветовыми перцептами, которым можно дать ясные словесные определения без ссылок на какие-либо физические цветовые стимулы. Как ментальные концепты, они присущи всем наблюдателям с нормальным зрением. Геринг использовал эти элементарные цвета как краугольные камни в «естественной системе цветовых ощущений», где произвольный цвет может быть описан вербально со ссылкой на элементарные цвета. Он также предложил физиологическую теорию для цветового зрения с использованием фоточувствительного вещества, ассимилируемого или диссимилируемого раздражителями для оппонентных цветов. Эта часть его теории не выдержала критики.

С теорией Геринга яростно боролись специалисты в области цвета, которые отдавали предпочтение трихроматической теории Юнга—Гельмгольца, основанной на концепции раздражителя-рецептора и легко применимой к концепту стимул-рецеп-

тор и к технологии воспроизведения цвета. Наконец, было предложено Г. фон Криесом, Е. Шредингером и А. Мюллером, вместо вопроса «Гельмгольц или Геринг?» ответить «и Гельмгольц и Геринг» с помощью зонной теории цветового видения [25, 52, 44].

Физиологические эксперименты с глазами рыбы Г. Светихина, Е. Мак-Никола и других подтвердили зонную теорию, даже если они и не поддерживали физиологическую часть геринговской теории [30, 48]. Эксперименты с наименованием цветов Р. Бойнтон и наблюдения Л. Харвича также подтвердили основополагающую сущность элементарных цветов Геринга [3, 14]. И наконец, В. Смит и Г. Покорны измерили спектральную чувствительность пигментов сетчатки в человеческом глазу [41, 46].

Сейчас общепризнано, что первая фаза цветного зрения включает в себе трехрецепторный механизм в сетчатке и что нейронные сигналы определенным образом трансформируются мозгом в схему оппонентного цвета.

Четыре элементарных оттенка Геринга почти повсеместно признаны как поверхности в цветовом пространстве, в отношении к которым можно описывать другие оттенки. Но элементарные цвета как отдельные точки в этом пространстве не так охотно приняты.

Преимущества системы естественного цвета при вербальном описании воспринимаемых цветов, при объективном анализе комбинаций цвета и как инструмент в цветовом дизайне впервые были поняты шведским физиком Т. Йохансоном, который в 1930 г. внедрил в Швеции идеи Геринга, где они нашли яркое применение как рациональный способ цветового общения [18]. В 1952 г. архитектор С. Хессельгрэн опубликовал первый цветовой атлас, основанный на системе натурального цвета [11, 12].

В 1964 г. Шведская академия технических наук основала Шведский центр по изучению цвета, где небольшая группа ученых под руководством А. Харда, Г. Тоннквиста и Л. Сивика разработала существующую систему натурального (естественного) цвета NCS. Были проведены исследования, охватывающие различные области науки и разработана фундаментальная структура системы, при этом авторы во многих случаях возвращались к первоначальным идеям Геринга. С помощью многочисленных психометрических экспериментов были исследованы психофизические отношения между NCS и расстояниями CIE и был получен цветовой атлас [15—17, 49, 50].

Система цветовой последовательности, названная NCS, была принята в качестве шведского стандарта цветового обозначения в 1979 г.— в то же время был опубликован новый цветовой атлас с 1412 цветовыми образцами как отдельный стандартный документ. Потом были предложены другие стандарты с таблицами определений CIE (для конкретных условий), в одной

из которых давались номинальные и измеренные величины для всех цветовых образцов в атласе, а в другом определялись (на микрофише) координаты CIE для примерно 16 800 точек в пространстве NCS.

В 1989 г. вышло второе издание цветового атласа NCS, теперь уже с 1526 цветовыми образцами.

## 5.2. Наименование цветов

Б. Берлин и П. Кэй показали, что во всех культурах есть несколько основных названий, присущих всем языкам, которые расположены в одинаковой последовательности. Первые слова—названия цветов, существующие в примитивном языке,— это черный и белый или аналогичная пара, например, темный—светлый [2]. Когда язык развивается и включает также хроматические цвета, то первым всегда будет красный. Следующие два названия—желтый и зеленый, но в различной последовательности, однако шестым цветом всегда будет синий. Затем следует группа из пяти названий для промежуточных цветов: серый (между черным и белым), оранжевый (между желтым и красным), фиолетовый (между красным и синим), розовый (бледно-красный в сторону белого) и коричневый (темно-оранжевый в сторону черного).

Первые шесть названий цветов совпадают с элементарными цветами у Геринга, но в то время, как Геринг использовал их для очень точных определений шести отдельных уникальных точек в цветовом пространстве, те же слова у Берлина и Кэя относятся к тому, что они называют основными цветовыми категориями, т. е. широкая шкала цветов, где, например, желтизна—это доминирующее определение цветового восприятия. В обычной речи мы используем названия цветов и приблизительно и в точном смысле, давая возможность контексту объяснить, что мы имеем в виду. Слова оранжевый, серый, лиловый, фиолетовый и коричневый всегда приблизительно, хотя вызывают мало сомнений относительно их внешнего проявления.

Между желтым и красным может быть целая гамма промежуточных оттенков, таких, как оранжево-желтый, желтовато-оранжевый, оранжевый, красновато-оранжевый и оранжево-красный. В других же частях круга оттенков у нас нет таких возможностей без названия промежуточных оттенков.

Красновато-синий называют фиолетовый или лиловый. Синевато-красный можно назвать багровым или—в технологии репродукции—фуксин (красная анилиновая краска). В Римской империи багровый цвет получали с помощью органической краски из багровой раковины, цвет различался в зависимости от географического положения и, по-видимому, был близок к чисто красному. В системе Манселла фиолетовый (багровый) является основным оттенком между красным и си-

ним. А так как облик синего у Манселла сдвинут в сторону зеленого, то этот фиолетовый будет ближе к синему, чем к красному. Таким образом, даже, если большинство наблюдателей могут судить, насколько цвет синий и насколько красный, нет безошибочного названия для данного цвета.

Для сине-зеленых оттенков есть такие названия, как бирюзовый, индиго или циановый, но ни одно из этих названий не передает точно оттенок. Вряд ли здесь помогут слова «зеленовато-синий» и «голубовато-зеленый». То же самое относится и к желто-зеленому.

Иногда мы говорим «цвет зеленых листьев», чтобы обозначить промежуточный цвет между зеленым и желтым, хотя мы знаем, как сильно могут различаться по цвету листья в природе.

Количество цветов, которые мы можем точно описать одним определением, невелико — у нас есть около пятнадцати обозначений оттенков, которые можно объединить с такими определениями, как светлый, темный, слабый, средний, сильный, живой, бледный, глубокий (темный). Но так как не все полностью исключают друг друга, то число словесных обозначений цвета будет в пределах шестидесяти.

Если цветовые названия используются для цветового кода, включая сигналы и цвета безопасности, то количество применимых описаний еще более сократится. В цветовом коде очень важно, чтобы словесное описание было понято правильно. «Нельзя ехать на красный свет!», «В случае пожара ищите выход с зеленым указателем!», «Достаньте мне синюю коробку!». Все это сокращает количество принимаемых цветов, и в большинстве кодовых систем цвета, рекомендуемых в первую очередь, — это одиннадцать основных цветовых категорий. На предприятиях и в общественных помещениях опасные участки помечены полосками желтого и черного цвета, огнетушители — красным, а безопасные выходы — зеленым (по крайней мере в соответствии с международными стандартами). На географических картах синим обозначается водная поверхность, зеленым поля и леса, коричневым горы, белым ледники. Это другой пример информативного цветового кода. Если требуется более одиннадцати цветов, нельзя доверяться лишь словесному описанию, а нужен дополнительный ключ, например символические рисунки, которые также очень нужны людям с нарушенным цветовым зрением.

Названия пигментов или хорошо известных цветных материалов, добываемых в природе, также используются для обозначения внешнего вида цвета. Названия типа индиго или пурпур уже упоминавшиеся, а также охра, умбра, бирюза и т. д. Другую группу составляют названия, которые получили синтетически произведенные красители, как, например, циан или фуксин. Для всех этих цветов внешний вид сильно отличается от источника материала и его технического использования.

Есть также много названий для промышленного использования, которые более или менее причудливы и не дают представления о том, как выглядит цвет.

Наименование цветов называли самой естественной из естественных систем, хотя мы видим ее ограниченность.

### 5.3. **Натуральная цветовая система**

#### *Постулат Геринга*

Еще до Геринга стимул и перцепт всегда вносили путаницу в исследования цвета. Огромная часть работ была ориентирована на стимулы, когда Геринг сформулировал свой постулат, в котором говорилось, что «с тем чтобы мы в уме воспроизвели любой цвет с определенной четкостью, нам прежде всего нужно не обращать внимание на причины и условия возникновения. Для систематизации цветов единственное, что имеет значение,— это сам цвет. Ни качественные, ни количественные физические свойства излучения не будут относиться к делу» [10, с. 169].

Другими словами: цвет, это не световые лучи, которые попадают в наши глаза и заставляют нас видеть цвет. Цвет не является физическим объектом, из которого исходят световые лучи, отражаются или передаются в направлении глаз. Цвет, это не химический пигмент, которым красится объект, и не вещество, из которого он сделан. Цвет—это то, что мы видим и можем описать с помощью свойств, которые мы в нем видим.

#### *Элементарные цвета*

Два хроматических элементарных цвета: белый ( $W$ ) и черный ( $S$ ) в одинаковой степени признается каждой второй цветовой системой. В большинстве случаев они определяются как «идеально белый» и «идеально черный» цвета, которые мы легко представляем и используем как конечные точки серой шкалы. Геринг описывает серую шкалу, как биполярную, где, идя от белого к черному, белизна уменьшается в той же пропорции, в какой увеличивается чернота, сумма при этом остается постоянной.

Существует общее мнение о существовании четырех хроматических концептов: желтый ( $Y$ ), красный ( $R$ ), синий ( $B$ ) и зеленый ( $G$ ) по крайней мере в смысле «уникальности» оттенков с определениями типа: «Вон желтый, который ни зеленоватый, ни красноватый».

Таким путем мы можем определить четыре оттеночные плоскости, но существование единого элементарного цвета в каждой из данных плоскостей с дополнительным определением типа «ни беловатый, ни черноватый», еще не принято

повсеместно, частично из-за того, что ни один стимул для данных перцептов не может быть воспроизведен реальными пигментами. Тем, кто не проводил экспериментов, трудно принять, что эти шесть элементарных цветов присущи всем людям с нормальным цветовым зрением и что все остальные можно описать путем нахождения сходства.

Хроматические элементарные цвета (желтый, красный, синий, зеленый) делят цветовой круг на четыре сектора. Принято, а во многих случаях и полезно — хотя и не обязательно — располагать элементарные цвета под углом справа друг от друга, разделяя цветовой круг на четыре квадранта. Внутри каждого квадранта промежуточные оттенки образуют биполярную шкалу цветов, аналогичную серой (при движении от желтого к красному, уменьшающаяся желтизна соответствует увеличивающейся красноте). Промежуточные цвета напоминают два элементарных цвета, например желтый и красный.

Поскольку красный и зеленый расположены друг против друга, на цветовом круге не может быть цвета и красноватого, и зеленоватого одновременно (и никакого синеватого и желтоватого). Мы не можем нарисовать биполярные шкалы между противоположными хроматическими элементарными цветами на цветовом круге, т. е. между желтым и синим или между красным и зеленым.

Такие несоседствующие элементарные цвета называются оппонентными. И поэтому система Геринга была названа «оппонентная цветовая теория». Тем не менее белый и черный не образуют оппонентную пару — они оба присутствуют в дополняющем виде во всех серых по биполярной шкале от *W* до *S*.

В ряде цветов качественный характер заметно меняется, когда элементарный цвет пройден (например, от зеленовато-желтого к красновато-желтому). Такое же, но менее резкое изменение происходит, когда проходят среднюю точку каждого квадранта (например, когда преобладание желтого в оранжевом цвете сменяется преобладанием красноватого). Эти изменения ощущаются довольно сильно и поэтому играют важную роль в дизайне, где два или более цветов наблюдаются вместе.

### *Элементарные определения*

Сходство с элементарным цветом описывается соответствующим элементарным определением, названным белизна (*W*), чернота (*S*), желтизна (*Y*), краснота (*R*), синева (*B*) или зелень (*G*). Определения (признаки), обозначенные маленькими буквами, — это визуальные качества цветового образца в первоначальном наблюдении, когда один цвет должен быть определен без сознательного сравнения с другими цветами.

1. Ахроматический цвет напоминает только белый и черный, его элементарные признаки — белизна и чернота (или один из них).



2. Произвольный (хроматический) цвет напоминает белый или черный и один или два из четырех хроматических элементарных цветов, его элементарными признаками будут белизна, чернота, желтизна, синева, краснота либо зелень.

3. Если у хроматического цвета нет сходства с белым или черным, то он полный хроматический цвет ( $C$ ) и напоминает только один или два из четырех хроматических элементарных цветов. Для полного хроматического цвета и чернота и белизна равны нулю, и есть два хроматических признака, сумма которых равна 100. Хроматический элементарный цвет—это полный хроматический цвет, где один элементарный признак равен 100, а все остальные—нулю.  $C$  идет для полного хроматического цвета любого оттенка, который должен быть определен отдельно.

Выше мы определили цвет как пропорцию визуального содержания смежных элементарных цветов. Мы также видим, что это еще означает и то, что цвета одного и того же оттенка имеют одинаковую пропорцию между его двумя хроматическими признаками. Если хоть один признак  $> 0$ , то цвет имеет хроматический элементарный цвет.

Полные хроматические цвета могут быть представлены графически в виде цветового круга с хроматическими элементарными цветами  $Y$ ,  $R$ ,  $B$ ,  $G$  на концах прямоугольных осей. Белый  $W$  и черный  $S$  будут оба находиться в центре, а серая шкала будет в виде оси вертикально плоскости круга.

Все это говорит о том, что модель цветового пространства—это двойной конус вокруг серой оси с полными хроматическими цветами вокруг по окружности. Вертикальный сектор через ось конуса дает ромбическую фигуру, представляющую все цвета двух противоположных цветов. Половина этого ромба с белым  $W$ , черным  $S$  и полным хроматическим цветом  $C$  по углам образуют цветовой треугольник.

Геринг не предлагал никаких определенных принципов шкалы, но иногда использовал метод последовательного разделения. В современной системе NCS все расстояния между системными элементарными цветами произвольно разбиты на 100 единиц шкалы, и таким образом все элементарные определения получили значения от 0 до 100. Таким образом, сумма хроматических признаков любого цвета  $F$  будет независимо от его расположения в цветовом пространстве всегда равна 100:

$$F = W + S + Y + R + B + G.$$

### *Производные переменные*

Несколько цветовых переменных (тон, хроматичность, насыщенность или интенсивность), часто используемые в других цветовых системах, отсутствуют среди элементарных признаков.

Все цвета с одинаковой пропорцией между их визуальным содержанием смежных элементарных цветов определяются как имеющие одинаковый тон, т. е. оттенок,— это отношение между двумя хроматическими признаками цвета. В кругу тонов тон представлен углом. В современной NCS этот угол дается на  $100^\circ$  шкале в пределах каждого квадранта, увеличиваясь по часовой стрелке.

Общее количество хроматичности ( $c$ ) в цвете определяется как сумма количеств его хроматических элементарных признаков:

$$c = y + r + b + g,$$

откуда следует

$$F = w + s + c = 100.$$

Теперь мы можем написать алгебраическое выражение тона:

$$\Phi_{yr} = r / (r + y) \cdot 100 = r / c \cdot 100$$

$$\Phi_{rb} = b / (b + r) \cdot 100 = b / c \cdot 100$$

$$\Phi_{bg} = g / (g + b) \cdot 100 = g / c \cdot 100$$

$$\Phi_{gy} = y / (y + g) \cdot 100 = y / c \cdot 100.$$

Таким образом, мы объединили хроматические элементарные признаки в два производных признака:

тон как отношение двух хроматических признаков,

хроматичность как сумма двух хроматических признаков.

Почему переходим на тон (оттенки) и хроматичность, если система основана на элементарных признаках? Когда мы описываем какой-либо один цвет, то ищем в нем содержание красноты, синевы и т. д., а элементарные признаки— это естественные характеристики. Но когда мы сравниваем цвета друг с другом, то в большей степени ищем различия в отношении между хроматическими признаками в их сумме. Цветовой атлас чаще всего используют для сравнения с данным образцом и тем самым очень легко его организуют в соответствии с цветовым тоном и хроматичностью.

### *Система обозначений*

Цветовой тон (оттенок) и хроматичность применяются для обозначений NCS. Из начальных элементарных признаков только чернота ( $s$ ) используется в обозначении. Это получается из значений черноты, хроматичности и оттенка  $s$ ,  $C$  и  $\Phi$  обозначаются двумя числами, каждое для значения целого числа от 00 до 99. Числа оттенков окружены заглавными буквами для окружающих элементарных цветов. Это выглядит следующим образом:

SSCC—АФФВ.

Из уравнения  $w + s + c = 100$  следует, что

$$w = 100 - (s + c),$$

так что значение белизны будет избыточной информацией. Элементарные цвета обозначаются только их заглавными буквами.

Система обозначений NCS не только проста для понимания, но также дает описание цвета, доказывая, что вполне законное дело — вербальное описание цвета. Физические инструменты не нужны: человеческий мозг действует как инструмент.

Цветовая окружность и цветовой треугольник можно использовать для графической иллюстрации обозначений цветов NCS. Цвет наносится на окружность, в то время как чернота и хроматичность показаны точкой в треугольнике. При желании значение хроматичности можно обозначить длиной вектора радиуса в цветовой окружности, но это делается редко.

В цветовом треугольнике можно начертить различные ряды линий, иллюстрирующие постоянные величины некоторых переменных. Линии равной черноты ( $s$ ) параллельны стороне треугольника  $w - c$  ( $s = 0$ ). Линии равной белизны параллельны  $s - c$  ( $w = 0$ ). Глубина цвета и хроматичность будут проиллюстрированы линиями, параллельными серой шкале  $w - s$  ( $c = 0$ ), насыщенность ( $m$ ) с помощью сходящихся линий через черную точку  $s$ .  $m$  будет 0 на  $w - s$  и 100 на  $s - c$ .

Больше чем в какой-либо другой цветовой системе, система обозначений NCS мощный инструмент в описании внешнего вида цвета, тем более если он дополняется графическими символами окружности и треугольника. Проверено, что люди, не имевшие до того опыта в определении цвета, быстро учатся видеть цвет с помощью системы обозначений.

### *Вторичные переменные*

Даже если некоторые эксперименты с равными цветовыми различиями указывают на четырехмерное риманово пространство, в большинстве случаев принято, что цвет можно описать в трехмерном и евклидовом пространстве. Из этого было сделано заключение, что и у цвета тоже только три переменных. Т. Йохансон [18] показал, что их намного больше, например ясность (противоположное от темноты), глубина (противоположное от белизны), и что насыщенность и яркость цвета это две переменные с совершенно различными определениями — факт, который признается Словарем CIE, но который игнорируется в американском английском языке.

В английском языке «lightness» («светлота») часто используют как синоним «brightness» («яркость»), хотя два этих понятия должны иметь разные дефиниции. Правильное значение слова «brightness» воспринимается как понятие, коррелирующее с фотометрическим термином, означающим светимость, который

в отношении цвета чаще всего используется для светящихся красок со шкалой от пороговой до ослепляющей яркости, а термин «lightness» относится к несветящимся отражающим объектам со шкалой светлости от черного до белого. Тем не менее термин «brightness» меньше используется в таких сочетаниях, как brightred (ярко красный), где указывается на значительное хроматическое содержание в цвете. Наверное, именно поэтому многие исследователи утверждают, что высокохроматические цвета имеют большую яркость, чем соответствует их коррелированный светимости (Д. Джадд применяет даже такой термин, как «ярко черный»).

Термин «lightness» («светлота»), широко используемый во многих цветовых системах, не служит основным признаком цвета того же уровня, что и шесть элементарных признаков. Он не является синонимом белизне и антонимом черноте. Предварительное изучение до проведения основных психометрических экспериментов в Швеции по взаимоотношению NCS и CIE, показало, что наивные наблюдатели сталкиваются с трудностями при оценке светлоты, но более удачно справляются с понятием чистоты цвета («clearness»), которое как мы попытаемся показать, является синонимом понятию, противоположному черноте.

В учебниках, особенно американских, слова «chroma» («насыщенность цвета»), «chromaticness» («хроматичность») и «saturation» («насыщение») используются как синонимы, но все больше и больше признается, что:

«chroma», как в системе Манселла,—разница в цвете по нейтральной оси (серой шкалы) цветового пространства, измеренная в некоторых психометрических единицах, «chromaticness» («хроматичность»), как в NCS,—сходство цвета с полным хроматическим цветом того же оттенка, «saturation» («насыщенность»), как в системе DIN, также определяется, как переменная ( $m$ ) в NCS—пропорция между хроматичностью и светлотой («chromaticness» and «lightness»).

Комбинация признаков, определяющих точку в цветовом треугольнике NCS (например, чернота и хроматичность или белизна и хроматичность), называется нюанс цвета. Когда цвета из различных плоскостей цвета сравниваются друг с другом, то видно, что, например, желтые цвета светлее, чем синий или красный цвета. В дизайне светлота может быть средством акцентирования самого рисунка, но она не может оказать пользу в подборе цветовых комбинаций, принятых для глаза. Цвета же с одинаковым нюансом имеют «нечто общее», и эта концепция очень важна в работе дизайнера. (По своей функции это совпадает с «Gleichwertigkeit» для комбинации насыщения и темноты в системе DIN).

Отношение между хроматичностью и белизной цвета определяет его насыщение. Постоянное насыщение—это характеристики «теневого серий», т. е. когда распределение спек-

ральной энергии раздражителя, полученного от объекта, пропорционально сокращается за счет тени или другой количественно изменяемой освещенности. Таким образом, ни оттенки, ни хроматичность/насыщение не считаются основными признаками характеристики внешнего вида отдельно воспринимаемого цвета, тем не менее они полезны для описаний цветовых различий в сложных рисунках и важны в практической работе с NCS.

#### 5.4. «Абсолютное» визуальное определение

Нам не нужен цветовой атлас или колориметрические спецификации для определения и описания воспринимаемого цвета. С помощью NCS восприятие произвольного цвета можно описать только посредством воспринимаемых качеств независимо от раздражителей, которыми оно вызвано. Это можно сделать при любой освещенности, при любом окружении, при любом адаптивном состоянии наблюдателя, но обязательно со ссылкой на элементарные неизменные цветовые восприятия. Тренированный наблюдатель всегда может придать новые обозначения образцам в соответствии с общими правилами системы. Это можно использовать, например, для описания индуцированных цветов в исключительных ситуациях для изучения последовательных образов и т. д., даже если опыт показал, что образцы NCS могут использоваться в допустимых пределах во всех видах дневного света.

Конечно, такие процедуры проводить нудно, так как нужны показания нескольких наблюдателей, и на основании их суждений выводятся средние значения. Статистическая достоверность таких подсчетов, полученных от 20 наблюдателей, без каких-либо физических ссылок на элементарные цвета, будет равна  $\pm 5$  единиц NCS.

В NCS средние величины получены, когда было установлено отношение между пространствами CIE и NCS, но только для одной группы наблюдаемых условий. Неточность при «абсолютной» обработке обозначений NCS в произвольных ситуациях должна быть взвешена и сопоставлена с возможностью совсем не делать такие обработки.

К тому же разработка цветового атласа включает подсчет средних значений по какому-либо количеству наблюдений.

Прямые психометрические суждения не предлагаются в качестве обычной процедуры цветовой спецификации. Когда вполне приемлемо использовать уже существующие средние величины, проиллюстрированные цветовыми образцами NCS, где не годятся обычные методы, решением проблемы измерения может быть прямая психометрия.

NCS не имеет равного распределения в том плане, что воспринимаемые различия в цвете между смежными плоскостями цвета, например, в ступенях 10 единиц NCS, должны быть одинаково большими. Такие «ступенчатые» цвета могут

оказаться намного больше, например, в зелено-желтом квадранте, чем в красно-синем. Это следствие определения элементарных признаков как степени сходства с соответствующим элементарным цветом. Однако при практическом применении системы это никаких неудобств не вызывало. Несколько пользователей NCS говорят о том, что бессмысленно сравнивать величины разницы цвета, когда эти разницы принадлежат различным квадрантам. Аналогичные изменения, но не так заметно, происходят, когда один цвет в схеме движется через цвет среднего квадранта.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Abney W.* The sensitiveness of the retina to light and colour // *Philos. Trans.* 1897. Vol. 190. P. 137.
2. *Berlin B., Kay P.* Basic color terms: Their universality and evolution. Berkeley, 1969.
3. *Boyton R., Gordon J.* Bezold-Brücke hue shift measured by color-naming technique // *J. Opt. Soc. Amer.* 1965. Vol. 55. P. 78—86.
4. *Evans R.* The preception of color. N.Y., 1974.
5. *Gerritsen F.* Theory and practice of color. N.Y., 1950.
6. *Granit R.* Sensory mechanisms of the retina. L., 1947.
7. *Guild J.* The colorimetric properties of the spectrum // *Philos. Trans. Roy. Soc. London A.* 1931. Vol. 230. P. 149—156.
8. *Harris M.* The natural system of colours. Leicester—Fields. N.Y., 1963.
9. *Helmholts H. von.* Handbuch der physiologischen Optik. Hamburg, 1909.
10. *Hering E.* Zur Lehre vom Lichtsinne // *Sitzungsber. Kaiser. Akad. Wiss. Natur. Cl. Math.-natur. Kl. Abt. III.* 1874. Bd. 70. S. 169—204.
11. *Hesselgren S.* Hesselgrens colour atlas. Stockholm, 1952.
12. *Hesselgren S.* Subjective color standartization. Stockholm, 1954.
13. *Hunt R. W. G., Pointer M. R.* A colour appearance transform for the CIE 1931 Standard colorimetric observer // *Color Res. Appl.* 1985. Vol. 10. P. 165—179.
14. *Hurvich L. M., Jameson D.* Some quantitative aspects of an opponent-colors theory // *J. Opt. Soc. Amer.* 1955. Vol. 45. P. 602—616.
15. *Hard A.* Philosophy of the Hering-Johansson natural colour system // *Proc. Intern. colour meet. Lucerne, 1965.* P. 357—366.
16. *Hard A.* Qualitative attributes of colour perception // *Proc. Intern. colour meet. "Colour 69". Stockholm, 1969.* P. 351—366.
17. *Hard A., Sivik L.* NCS—Natural colour system: A swedish. standard. for colour notation // *Color Res. Appl.* 1981. Vol. 4. P. 129—138.
18. *Johansson T.* Characteristic properties of color and colour combinations // *Rev. opt.* 1949. Vol. 28. P. 241—246.
19. *Judd D. B.* Basic correlation of the visual stimulu // *Handbook of experimental psychology.* N.Y., 1965. P. 836.
20. *Katz D.* The world of colour. L., 1935.
21. *Kelly K. L.* Central notations for the revised ISCC—NBS color-name blocks // *J. Res. NBS.* 1958. Vol. 61. P. 431—487.
22. *Kelly K. L., Judd D. B.* Color: Universal languages and dictionary and names. Wash. (D.C.), 1976.
23. *Kornerup A., Wanscher J. H.* Methuen handbook of colour. L., 1963.
24. *Kornerup A.* The colour system in methuen handbook of colour. // *JOCCA.* 1964. Vol. 17. P. 955—970.
25. *Kries J. von.* Die Gesichtsempfindungen, Nagels Handbuch der Physiologie des Menschen. Braunschweig, 1905. Bd. 3.
26. *Land E.* Color vision and the natural image // *Proc. Nat. Acad. Sci. USA.* 1959. Vol. 45, N 115. P. 636.

27. *Luther R.* Aus dem Gebiet der Fabreizmetrik // *Ztschr. techn. Phys.* 1927. Bd. 8. S. 540.
28. *MacAdam D. L.* The theory of the maximum visual efficiency of colored materials // *J. Opt. Soc. Amer.* 1935. Vol. 25. P. 249—252.
29. *MacAdam D. L.* Uniform color scales // *Ibid.* 1974. Vol. 64, N 33. P. 1691—1702.
30. *MacNichol E. J., Svaetichin G.* Electric responses from the isolated retinas of fishes // *Amer. J. Ophthalmol.* 1958. Vol. 46, N 3, pt 2. P. 26—46.
31. *Munsell A.* A Color notation. B., 1905.
32. *Müller A.* Schweizer Farbenatlas, Chromos. Winterthur, 1945.
33. *Nayatani Y., Hashimoto K., Takahama K., Sobakagi H.* Analysing the natural color system's color-order system by using a non-linear color-appearance model // *Color Res. Appl.* 1989. Vol. 14, N 6. P. 69—78.
34. *Nemcsics A.* COLOROID color system // *Ibid.* 1980. Vol. 5. P. 113—120.
35. *Nemcsics A.* Experimental determination of aesthetically uniform psychometric scales of the COLOROID color system // *Magyar pszicol. szemle.* 1982. Vol. 38. P. 40—60.
36. *Nickerson D., Newhall S. M.* A psychological color solid // *J. Opt. Soc. Amer.* 1943. Vol. 33. P. 419—422.
37. *Nickerson D.* History of the Munsell color system. Company and foundation // *Color Res. Appl.* 1976. Vol. 1. P. 7—10. P. 69—70.
38. *Nickerson D.* OSA Uniform color scale samples: A unique set // *Ibid.* 1981. Vol. 6. P. 7—33.
39. *Ostwald W.* The color primer. N.Y., 1969.
40. *Palmer G.* Theory of colors and vision. L., 1977.
41. *Pokorny J., Smith V. C.* Cone rations and perceptual opponent system // *Farbe.* 1987. Bd. 34. S. 53—57.
42. *Richter M.* Das System der DIN-Farbenkarte // *Ibid.* 1953. Bd. 1. S. 85—98.
43. *Rösch S.* Die Kennzeichnung der Farben // *Phys. Ztschr.* 1928. Bd. 29. S. 89—91.
44. *Schrödinger E.* Die Gesichtsempfindungen // *Lehrbuch der Physik.* Braunschweig, 1926. Bd. 2. S. 98—105.
45. *Sivik L.* Studies of color meaning // *Man-Environ. Syst.* 1975. Vol. 9. P. 155—160.
46. *Smith V., Pokorny J.* Spectral sensitivity of color blind observers and the cone pigments // *Vis. Res.* 1972. Vol. 12. P. 2059—2071.
47. *Steen P.* Experiments with estimations of perceptive qualitative color attributes // *Proc. Intern. Color Meet. "Color 69".* Stockholm, 1969. P. 369—376.
48. *Svaetichin G.* Spectral responses from single cones // *Acta physiol. scand. Suppl.* 1956. Vol. 39. P. 17—46.
49. *Tonnquist G.* A comparison between symmetrical and equispaced hue circles // *Farbe.* 1965. Bd. 4. S. 376—388.
50. *Tonnquist G., Heng Li.* The application of colour video displays to colour research // *Displays.* 1989. N 7. P. 171—180.
51. *Wiesel T. N., Hubel D. H.* Spatial and chromatic interactions in the lateral geniculate body of the rhesus monkey // *J. Neurophysiol.* 1966. Vol. 29. P. 1115—1156.
52. *Wright W. D.* A re-determination of the mixture curves of the spectrum // *Trans. Opt. Soc.* 1928. Vol. 30. P. 141—164.
53. *Wright W. D.* The measurement of colour. L., 1969.
54. *Wyszecki G., Stiles W. S.* Color Science. N.Y., 1982.
55. *Young Th.* On the theory of light and colours // *Philos. Trans. Roy. Soc.* 1902. P. 12—48.

## К ТЕОРИИ ЦВЕТА В ЕВКЛИДОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Здесь рассматривается теория евклидова цветового пространства, впервые проанализированная в более раннем исследовании [1]. В отличие от раннего подхода здесь используется специальное преобразование инструментального цветового пространства, названное сферическим. Сферическое преобразование позволяет определить спектральные характеристики приемника цвета и координаты цвета произвольного спектрального состава. Более глубоким основанием для перехода к евклидовому пространству является возможность рассматривать инструментальное пространство как область евклидова пространства с заданной в ней римановой метрикой.

В линейной теории, основанной на опытах сложения цветовых стимулов Т. Юнга (1802), цвет определяется радиусом-вектором  $\bar{r}(B, R, G)$  точки  $M(B, R, G)$  в цветовом пространстве с координатами  $B, R, G$  [2]. В качестве  $B, R, G$  используются инструментальные координаты, пропорциональные яркостям трех потоков, образующих цвет в опыте сложения цветов. Без ограничения эти координаты можно считать прямоугольными или косоугольными координатами цветового пространства. Существует бесчисленное число инструментальных координат. Каждая система координат определяется выбором трех основных цветов в опыте сложения\*. Например, это могут быть цвета с длинами волн  $R_0$  (700 нм),  $G_0$  (546,1 нм),  $B_0$  (435,8), принятые международной осветительной комиссией, или цвета с какими-либо другими длинами волн, или вообще не монохроматические цвета. Основные цвета  $B_0, R_0, G_0$  имеют координаты  $(B_0, 0, 0), (0, R_0, 0), (0, 0, G_0)$ , где числа  $B_0, R_0, G_0$  зависят от выбранных единиц измерения яркости красного, зеленого и синего цветов. Эти тройки чисел можно считать координатами базисных векторов декартовой инструментальной системы координат. Все цвета определяются в этой системе координат, которая после выбора основных цветов и единиц яркости определена и единственна.

Яркость цвета в опыте сложения цветов является линейной функцией координат

$$L = L_R R + L_G G + L_B B, \quad (1)$$

\* В случае прямоугольной системы координат все основные цвета получаются преобразованием с ортогональной матрицей.



где  $L_R$ ,  $L_G$ ,  $L_B$  — постоянные, зависящие от выбора единиц измерения яркости основных цветов. Величина  $L_R R$  в (1) равна фотометрической яркости потока красного цвета. Представление яркости на «выходе» приемника цвета в виде (1) является важнейшим следствием опыта сложения цветов. В связи с выражением (1) имеется некоторая особенность определения цвета в существующей теории. Согласно этой теории каждому цвету соответствует радиус-вектор  $\vec{r}$ . Собственно цвет (цветность) определяется направлением радиуса вектора. Однако длина этого вектора не связана с какой-либо физической величиной, характеризующей цвет. Такой физической величиной является яркость цвета. Однако яркость  $L$  не пропорциональна длине вектора  $\vec{r}(B, R, G)$ . Эта особенность в определении цвета приводит к ненормированному цветовому пространству. Такое пространство в соответствии с опытами Т. Юнга является линейным векторным пространством. В нем определены операции сложения векторов и умножения на число, которым соответствуют сложение цветов и изменение яркости без изменения цвета.

## ЕВКЛИДОВО ЦВЕТОВОЕ ПРОСТРАНСТВО

Преимущество нормированного цветового пространства — в возможности измерять расстояние между двумя точками, соответствующими различным цветам. Цветовое различие в таком цветовом пространстве полагается равным геометрическому «расстоянию» или норме. В частности, в евклидовом пространстве цветовое различие равно евклидовому расстоянию или просто длине отрезка, соединяющего точки  $M_1$ ,  $M_2$ , соответствующие двум цветам. В работе [1] евклидово пространство было определено дедуктивно и затем определялась его связь с основными экспериментами по цвету. Наиболее трудной частью такого определения следует считать яркостную интерпретацию евклидова расстояния. Такая интерпретация существенным образом отличает рассмотренное евклидово пространство от эмпирических евклидовых пространств, известных в литературе [2]. Последние не имеют какой-либо интерпретации расстояния, и поэтому их можно считать чисто эмпирическими. Такие цветовые пространства не являются евклидовыми в строгом смысле. Их можно было бы назвать «квазиевклидовыми», или приближенно евклидовыми. Можно сколь угодно долго строить эмпирические пространства. Однако вопрос существования евклидова цветового пространства в точном смысле останется при этом невыясненным. Поэтому мною был выбран другой путь.

Рассмотрим евклидово цветовое пространство, определенное в работе [1], и обозначаемое в дальнейшем  $\Omega$ . Прямоугольными декартовыми координатами точки (цвета)  $M$  являются

числа  $X, Y, Z$ . Принятые здесь обозначения координат евклидова пространства не следует путать с обозначениями координат МКО-31.

Радиус-вектор  $\vec{q}(XYZ)$  точки  $M$  в евклидовом пространстве имеет длину

$$L = (X^2 + Y^2 + Z^2)^{1/2}, \quad (2)$$

которая интерпретируется как яркость цвета  $L$ , соответствующего точке  $M$ . Величина яркости определяется выражением (1). Цветовое различие между цветами  $M_0(X_0, Y_0, Z_0)$ ,  $M(X, Y, Z)$  в пространстве  $\Omega$  положим равным длине отрезка  $M_0M$

$$\Delta s^2 = (X - X_0)^2 + (Y - Y_0)^2 + (Z - Z_0)^2. \quad (3)$$

Выражение (2) можно рассматривать как частный случай (3), когда точка  $M_0$  совпадает с началом координат.

Для цветов одинаковой цветности и разной яркости точки, соответствующие этим цветам, лежат на одном луче, выходящем из начала координат. В этом случае в соответствии с (3) имеем

$$\Delta s = \Delta r,$$

где  $\Delta r$  — приращение длины радиуса-вектора при переходе от одной точки к другой.

Для цветов разной цветности и одинаковой яркости, точки, соответствующие этим цветам, лежат на сфере радиуса  $L$  на разных лучах, выходящих из начала координат. При этом величина  $\Delta s$  будет отлична от нуля. В этом случае  $\Delta s$  определяет чисто цветовое различие.

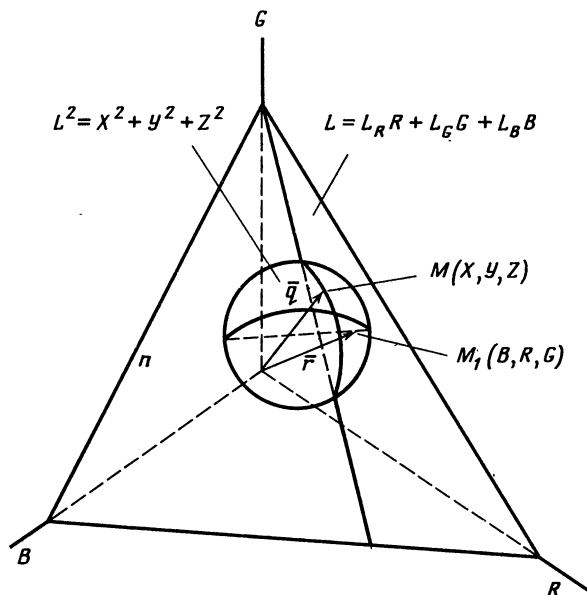
Величина  $\Delta s$  в (3) имеет размерность яркости. Чтобы в этом убедиться, достаточно рассмотреть сферу радиуса  $\Delta s$  с центром в точке  $M_0$ . Яркость цвета, соответствующего дальней точке, лежащей на пересечении луча  $OM_0$  со сферой, равна  $L_0 + \Delta s$ .

Величина  $\Delta s$  является евклидовой нормой цветового пространства. Следовательно, два цвета совпадают тогда, и только тогда, когда  $\Delta s = 0$ .

Евклидово цветовое пространство  $\Omega$  по определению однородно, так как расстояние в нем равно цветовому различию. В этом смысле пространство  $\Omega$  отличается от других пространств. Например, пространство Манселла сохраняет свою однородность только вдоль направлений, параллельных осям координат, но не обладает полной изотропностью [2].

Чтобы понять структуру пространства  $\Omega$ , рассмотрим его связь с инструментальным пространством  $(B, R, G)$ . Покажем, что пространство  $\Omega$  можно рассматривать как отображение в себя инструментального пространства. Такое отображение называется здесь сферическим. Чтобы построить сферическое отображение, рассмотрим точку  $M_1(B, R, G)$ , соответствующую

Рис. 1. Координаты евклидова пространства  $\Omega$



цвету яркости  $L$  в инструментальном пространстве рис. 1. Согласно (1), точка  $M_1$  лежит в плоскости  $\Pi$  (1), определяемой яркостью  $L$ . В соответствии с (2) точке  $M_1$  должна соответствовать точка  $M(X, Y, Z)$  в евклидовом пространстве, лежащая на сфере радиуса  $L$  (рис. 1).

Таким образом, возникает задача отображения плоскости (1) на сферу (2). Эта задача имеет бесконечное множество решений. Например, известно отображение точек сферы при помощи луча, выходящего из ее полюса и пересекающего экваториальную плоскость (стереографическая проекция). Можно предложить также различные другие способы такого отображения. Единственным ограничением сферического отображения может быть «центральный» характер такого отображения. Действительно, если радиус сферы должен быть равен яркости  $L$ , то при уменьшении  $L$  радиус должен уменьшаться и обратиться в ноль при  $L=0$ . Отсюда следует, что проекция плоскости на сферу должна осуществляться из центра сферы. Это соображение исключает некоторые преобразования и, в частности, стереографическую проекцию. Для отображения плоскости на сферу необходимо найти связь между координатами точек  $M_1$  и  $M$  плоскости и сферы. Рассмотрим вначале наиболее простой случай, когда обе точки расположены на луче  $OM$ , выходящем из начала координат рис. 1. Тогда для радиуса-вектора  $\bar{q}(X, Y, Z)$  точки на сфере, согласно рис. 1, можно записать выражение

$$\bar{q} = L \frac{\bar{r}}{r} = L \bar{e}, \quad (4)$$

где  $\bar{r}(B, R, G)$ —радиус-вектор точки  $M_1$  и  $r$ —его длина,  
 $r^2 = B^2 + R^2 + G^2$ .

Единичный вектор  $\bar{e}$  направлен по лучу  $OM$ . Следовательно, вектор  $\bar{q}$  совпадает по направлению с вектором  $\bar{r}$ , и его длина равна  $L$ . Координаты вектора  $\bar{q}$  на основании (4) равны

$$X = L \frac{B}{r}, \quad Y = L \frac{R}{r}, \quad Z = L \frac{G}{r}. \quad (5)$$

Из выражений (4), (5) следует, что вектор  $\bar{q}$  может также быть представлен в виде

$$\bar{q} = L \text{Grad } r \equiv L \nabla r, \quad (4')$$

где  $\text{Grad } r \equiv \nabla r$ —вектор-градиент длины  $r$  радиуса-вектора. В координатной форме вектор-градиент имеет вид

$$\text{Grad } r = r'_B i + r'_R j + r'_G k,$$

где  $r'_B, r'_R, r'_G$ —частные производные функции  $r$  по соответствующим переменным и  $i, j, k$ —единичные орты по осям координат.

Выражение (4') определяет градиентное векторное поле в цветовом пространстве.

Рассмотрим существование обратного преобразования. Можно заметить, что для каждой плоскости  $L \neq 0$  (1) имеется соответствующая сфера радиуса  $L$ , на которую отображается эта плоскость. Плоскость для  $L = 0$ , определяемая уравнением

$$L_B B + L_R R + L_G G = 0, \quad (*)$$

отображается согласно (4) в точку  $X = Y = Z = 0$ . Таким образом, для точек плоскости (\*) имеется нарушение однозначности отображения. Однако это нарушение не имеет значения, так как области реальных цветов принадлежит лишь одна точка плоскости (\*), а именно точка  $B = R = G = 0$ . Это нетрудно заметить, если перейти к координатам цветности. Тогда плоскости (\*) будет соответствовать алихна—прямая нулевой яркости. Таким образом, если принять, что точка  $B = R = G = 0$  переходит при отображении в точку  $X = Y = Z = 0$ , т. е. остается неподвижной, то в области реальных цветов отображение (\*) является обратимым. Отдельные листы-плоскости (1) отображение (4) переводит в концентрические сферы (2). При этом из области определения вектор-функция  $\bar{q}$  исключаются все точки плоскости (\*), кроме начала координат. Обратное преобразование имеет координаты  $B, R, G$ , равные

$$B = L \frac{X}{L_B X + L_R Y + L_G Z}. \quad (5')$$

Две другие координаты получаются при замене  $X$  в числителе (5') соответственно на  $Y$  и  $Z$ .

Используя сферическое преобразование (5), можно определить координаты монохроматических цветов в евклидовом пространстве для постоянной энергетической яркости. При этом условия координаты  $B$ ,  $R$ ,  $G$  в (5) будут равны функциям сложения цветов  $\bar{b}(\lambda)$ ,  $\bar{r}(\lambda)$ ,  $\bar{g}(\lambda)$ , яркость  $L$  будет равна функции световой эффективности  $V(\lambda)$  [3]. Окончательно, полагая в (5)

$$B = \bar{b}(\lambda), \quad R = \bar{r}(\lambda), \quad G = \bar{g}(\lambda),$$

и

$$L = V_0(\lambda) = L_B \bar{b}(\lambda) + L_R \bar{r}(\lambda) + L_G \bar{g}(\lambda),$$

получим

$$X(\lambda) = V_0(\lambda) \frac{\bar{b}(\lambda)}{r(\lambda)}, \quad Y(\lambda) = V_0(\lambda) \frac{\bar{r}(\lambda)}{r(\lambda)}, \quad Z(\lambda) = V_0(\lambda) \frac{\bar{g}(\lambda)}{r(\lambda)},$$

$$r^2(\lambda) = \bar{b}^2(\lambda) + \bar{r}^2(\lambda) + \bar{g}^2(\lambda). \quad (6)$$

Для функции световой эффективности на основании (6) имеем

$$V_0^2(\lambda) = X^2(\lambda) + Y^2(\lambda) + Z^2(\lambda), \quad (7)$$

что находится в соответствии с определением яркости (2).

Можно получить другое выражение спектральных характеристик приемника цвета, если использовать в (5) вместо функций сложения нормированные функции

$$b^*(\lambda) = L_B \bar{b}(\lambda), \quad r^*(\lambda) = L_R \bar{r}(\lambda), \quad g^*(\lambda) = L_G \bar{g}(\lambda), \quad (8)$$

в которых коэффициенты яркости могут выбираться в обычном соотношении, принятом в колориметрии, а именно [3]

$$L_B : L_R : L_G = 0,0601 : 1 : 4,5907.$$

В отличие от функций сложения цветов, являющихся координатами монохроматических стимулов, функции (8) равны яркостям трех потоков: красного, зеленого, голубого, составляющих данный цвет в опыте сложения. Яркости цветов выражены в одних единицах.

Функция относительной световой эффективности на основании (8) представляется в виде

$$V_0(\lambda) = b^*(\lambda) + r^*(\lambda) + g^*(\lambda).$$

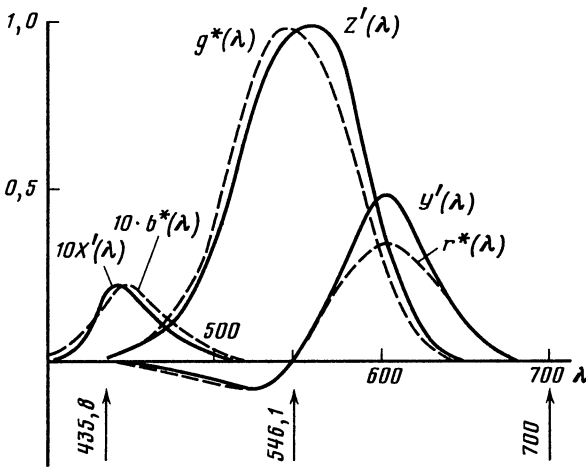
Спектральные характеристики были вычислены по функциям (8), для которых использовались стандартные основные цвета

$$R_0 (700 \text{ нм}), \quad G_0 (546,1 \text{ нм}), \quad B_0 (435,8 \text{ нм}).$$

Характеристики показаны на рис. 2, где пунктиром изображены также функции  $b^*(\lambda)$ ,  $r^*(\lambda)$ ,  $g^*(\lambda)$ . Ввиду малости значений функций  $X(\lambda)$ ,  $b^*(\lambda)$  по сравнению с другими характеристиками они показаны на рис. 2 увеличенными в 10 раз.

Наиболее важной и интересной особенностью характеристик  $X(\lambda)$ ,  $Y(\lambda)$ ,  $Z(\lambda)$  на рис. 2 является их близость к функциям

Рис. 2. Спектральные характеристики приемника в евклидовом пространстве и нормированные функции сложения цветов



$b^*(\lambda)$ ,  $r^*(\lambda)$ ,  $g^*(\lambda)$ . Действительно, нули соответствующих функций значения, при которых они обращаются в ноль, отмеченные на рис. 2 стрелками, совпадают.

Близки также значения  $\lambda$ , при которых соответствующие функции достигают наибольшего и наименьшего значений, хотя имеются небольшие различия значений длины волны, при которых функции  $Z(\lambda)$  и  $g^*(\lambda)$  имеют максимумы. Несколько различаются также максимальные значения функций  $Y(\lambda)$  и  $r^*(\lambda)$ .

Что может означать близость соответствующих характеристик на рис. 2 к функциям  $b^*(\lambda)$ ,  $r^*(\lambda)$ ,  $g^*(\lambda)$ ? Это может указывать на то, что нормированные функции сложения (8) можно считать заданными в евклидовом пространстве  $\Omega$ ?

Таким образом появляется некоторая возможность интерпретировать функции сложения — основные характеристики зрительного анализатора, которые до сих пор не локализованы в структурах сетчатки. Знакопеременность функций (8) позволяет предположить, что они относятся к структурам сетчатки, расположенным непосредственно за фоторецепторами. Это могут быть горизонтальные или биполярные клетки. Окончательное подтверждение этой гипотезы можно получить после анализа световых сигналов в евклидовом пространстве.

Чтобы убедиться в универсальности сферического преобразования (5), рассмотрим определение координат цвета произвольного спектрального состава. Можно заметить, что выражение (5) остается верным для цвета произвольного спектрального состава, определяемого вектором  $\bar{r}(B, R, G)$ . Для такого цвета величина яркости  $L$  в (1) определяется известным выражением [2]

$$L = \int V(\lambda) \phi(\lambda) d\lambda = K \int V_0(\lambda) \phi(\lambda) d\lambda, \quad (9)$$

где  $\varphi(\lambda)$  — функция спектральной плотности энергетической яркости сложного цвета;  $V(\lambda)$  — функция световой эффективности, равная  $KV_0(\lambda)$ , где  $V_0(\lambda)$  — функция относительной световой эффективности и  $K$  — коэффициент максимальной световой эффективности.

Координаты сложного цвета с функцией спектральной плотности  $\varphi(\lambda)$ , как известно, имеют вид [3]:

$$\begin{aligned} B &= \int \bar{b}(\lambda) \varphi(\lambda) d\lambda, \\ G &= \int \bar{g}(\lambda) \varphi(\lambda) d\lambda, \\ R &= \int \bar{r}(\lambda) \varphi(\lambda) d\lambda. \end{aligned} \quad (10)$$

Используя для координат вектора  $\bar{q}(X, Y, Z)$  выражения (5), получим согласно (10)

$$\begin{aligned} X &= \frac{L}{r} \int \bar{b}(\lambda) \varphi(\lambda) d\lambda, \\ Y &= \frac{L}{r} \int \bar{r}(\lambda) \varphi(\lambda) d\lambda, \\ Z &= \frac{L}{r} \int \bar{g}(\lambda) \varphi(\lambda) d\lambda. \end{aligned} \quad (11)$$

Длина вектора  $\bar{r}$  равна

$$\bar{r}^2 = B^2 + R^2 + G^2.$$

В частности, для координат равноэнергетического цвета, полагая  $\varphi(\lambda) \equiv 1$ , будем иметь на основании (9, 11)

$$X_E = V_E = Z_E = \frac{1}{\sqrt{3}} \int V(\lambda) d\lambda.$$

При этом предполагается, что функции сложения цветов нормированы и удовлетворяют условию

$$\int \bar{b}(\lambda) d\lambda = \int \bar{r}(\lambda) d\lambda = \int \bar{g}(\lambda) d\lambda = 1.$$

Таким образом координаты белого цвета в евклидовом, как в инструментальном, пространстве равны. Неподвижная прямая, проходящая через начало координат (точку нулевой яркости) и точку  $X_E, Y_E, Z_E$ , является местом расположения белого, черного, а также серых цветов.

Нетрудно заметить, что преобразование (4) является сферическим отображением частного вида. Однако на основании выражения (4) можно выяснить структуру общего сферического преобразования.

На основании равенства (4) замечаем, что преобразование остается сферическим (т. е. отображающим плоскость на сферу), если к обеим частям равенства (4) применить преоб-

разование, перемещающее точки по поверхности сферы. Обозначая это преобразование через  $A$  на основании (4), получим

$$\bar{q}' = A\bar{q} = A\left(L\frac{\bar{r}}{r}\right), \quad (12)$$

где  $A$  — преобразование, переводящее точки сферы в точки этой же сферы, т. е. преобразование, задающее движение по ее поверхности. Нетрудно видеть, что длина вектора  $\bar{q}'$  в (12) при таком выборе  $A$  остается постоянной и равной  $L$ . Однако преобразование (12) более общее по сравнению с преобразованием (4), так как включает в себя произвольные движения по поверхности сферы. Можно видеть, что (12) включает два последовательных преобразования: перемещение точки из плоскости (4) на поверхность сферы и произвольное движение точек по поверхности сферы, определяемое операцией  $A$ .

Рассмотрим дальнейшее обобщение выражения (12). В инструментальном пространстве яркость не обязательно может определяться линейным выражением (1). Это может быть произвольная неотрицательная функция  $L^*(B, R, G)$  инструментальных координат. В этом случае уравнение  $L^* = \text{const}$  определяет поверхность постоянной яркости в инструментальном пространстве. С помощью сферического преобразования эта поверхность постоянной яркости может быть отображена на поверхность сферы. В этом случае сферическое преобразование принимает вид

$$\bar{q}' = A\left(L^*\frac{\bar{r}}{r}\right). \quad (13)$$

Функция  $L^*(B, R, G)$  будет называться шкалой яркости. Это понятие окажется полезным в дальнейшем.

Наконец, необходимо упомянуть еще об одной возможной форме представления общего сферического отображения. По аналогии с выражением (4) можно записать

$$\bar{q}' = L^*\bar{P}, \quad \bar{P} = \bar{P}(B, R, G) — \quad (14)$$

произвольная вектор-функция единичной длины  $|\bar{P}| = 1$ . Нетрудно видеть, что преобразование (14) отображает точки плоскости (1) на поверхность сферы радиуса  $L^*$  совершенно произвольным образом. Из (4) непосредственно следует, что вектор  $\bar{q}'(X', Y', Z')$  может быть выражен в сферических координатах.

$$X' = L^* \sin \varepsilon \cos \eta,$$

$$Y' = L^* \sin \varepsilon \sin \eta,$$

$$Z' = L^* \cos \varepsilon,$$

где  $\varepsilon, \eta$  — широта и долгота точки  $M'(X', Y', Z')$  и  $L^* = |\bar{q}'|$ .



Возвратимся теперь к сферическому преобразованию, определяемому выражением (12). Класс преобразований  $A$ , отображающих поверхность сферы в себя, достаточно широк. Остановимся на одном частном виде преобразования  $A$  в (12), которое позволяет определить «оппонентные» координаты [2] в евклидовом пространстве. Одним из возможных операторов, задающих движение по поверхности сферы, является поворот системы координат  $(X, Y, Z)$ . В этом случае  $A$  в (12) — это ортонормированная матрица. Тогда в соответствии с (12) можно записать

$$\bar{q}' = A \left( L \frac{\bar{r}}{r} \right) = \frac{L}{r} A \bar{r}, \quad (15)$$

где

$$A = \| a_{ij} \|, \quad i, j = 1, 2, 3.$$

Векторы-столбцы (строки) матрицы  $A$  ортогональны и нормированы. Поворот системы координат относительно начала является трехпараметрическим преобразованием. Положение штрихованной системы  $(X', Y', Z')$  относительно системы  $(X, Y, Z)$  полностью определяется тремя углами. Следовательно, поворот системы координат позволяет отобразить заданную точку плоскости в любую точку сферы. Выражению (15) соответствуют три скалярных уравнения

$$\begin{aligned} X' &= \frac{L}{r} (a_{11} B + a_{12} R + a_{13} G), \\ Y' &= \frac{L}{r} (a_{21} B + a_{22} R + a_{23} G), \\ Z' &= \frac{L}{r} (a_{31} B + a_{32} R + a_{33} G). \end{aligned} \quad (15')$$

Задавая матрицу  $A$  и положив

$$L = V(\lambda), \quad B = \bar{b}(\lambda), \quad R = \bar{r}(\lambda), \quad G = \bar{g}(\lambda),$$

можно также, как в случае (4), получить спектральные характеристики приемника цвета. Такие характеристики были вычислены на основании (15') для матрицы  $A$  следующего вида

$$A = \left\| \begin{array}{ccc} -\frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 \\ \frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{6}} & -\sqrt{\frac{2}{3}} \\ \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \end{array} \right\|.$$

Эта матрица интересна тем, что задает такое вращение координат, при котором ось  $OZ'$  штрихованной системы совпадает с осью серых цветов определенной раньше в евклидовом пространстве. Спектральные характеристики приемника для этой матрицы показаны на рис. 2а. (См. с. 72). Знакопеременные характеристики  $X'(\lambda)$ ,  $Y'(\lambda)$  отличаются от характеристик  $X(\lambda)$ ,  $Y(\lambda)$  на рис. 2, в то время как характеристика  $Z'(\lambda)$  в основном подобна кривой  $Z(\lambda)$ . Координаты  $X'(\lambda)$ ,  $Y'(\lambda)$  по своему виду напоминают геринговские оппонентные характеристики [2]. Для преобразования (12) можно, как и в случае преобразования (5), вычислить основные характеристики цвета в евклидовом пространстве, в частности определить координаты цвета произвольного спектрального состава, координаты суммы двух цветов и т. д. Эти координаты будут нелинейными функциями инструментальных координат  $B, R, G$  в силу нелинейности евклидова пространства.

## ДАЛЬНЕЙШИЕ ОСНОВАНИЯ ДЛЯ ПЕРЕХОДА К ЕВКЛИДОВУ ЦВЕТОВОМУ ПРОСТРАНСТВУ

Рассмотрим более глубокие основания для перехода к евклидову цветовому пространству. Одним из таких оснований является возможность определения инструментального пространства как области евклидова пространства с заданной римановой метрикой.

Обратимся к определению цветовых различий в евклидовом пространстве. Цветовое различие в нем равно евклидовому расстоянию между точками  $M_0, M$ , определяющими цвета, или просто длине отрезка  $M_0M$ . Расстояние между двумя бесконечно близкими цветами в евклидовом пространстве в соответствии с (3) равно дифференциалу  $ds$

$$ds^2 = dX^2 + dY^2 + dZ^2. \quad (16)$$

Это выражение — линейный элемент евклидова пространства [3]. Если перейти к приращениям переменных в (16), то можно получить уравнение пороговой поверхности в евклидовом пространстве [3]. Это уравнение имеет вид

$$\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2 = \Delta S_0^2 = \text{const.}$$

Оно определяет сферу радиуса  $\Delta S_0$ . Таким образом евклидово пространство обладает локальной однородностью в следующем смысле: одинаковым расстояниям в цветовом пространстве соответствуют равные цветовые различия.

Евклидово пространство позволяет определить также расстояние в инструментальном пространстве ( $B, R, G$ ). В соответствии с принятой интерпретацией расстояния цветовое различие между цветами  $M_0$  и  $M$  в евклидовом про-

пространстве равно длине отрезка  $M_0M$  (3). Согласно (4, 13), координаты  $B, R, G$  являются криволинейными координатами евклидова пространства [2]. Исходя из этого, цветовое различие между цветами  $M'_0, M'$  в инструментальном пространстве можно положить равным длине отрезка  $M_0M$  в евклидовом пространстве. Точки  $M_0, M$  отрезка являются образами точек  $M'_0, M'$  и определяются на основании (4, 13).

Такое определение цветового различия в инструментальном пространстве согласуется с возможностью его вычисления с помощью интеграла, определяющего длину отрезка  $M_0M$  в криволинейных координатах. Этот интеграл можно записать в виде [2]

$$\Delta S = \int dS = \int_0^t \left( \sum_{i,j} G_{ij} \frac{dw_i}{dt} \frac{dw_j}{dt} \right)^{1/2} dt. \quad (17)$$

Здесь линейный элемент пространства  $dS$  в криволинейных координатах определяется выражением [3]

$$dS = \left( \sum_{i,j} G_{ij} dw_i dw_j \right)^{1/2}. \quad (18)$$

$$W_1 = B, \quad w_2 = R, \quad W_3 = G$$

и

$$W_i = W_i(t), \quad t \in (0, t)$$

— параметрические уравнения кривой  $M_0'M'$  в криволинейных координатах.

Коэффициенты  $G_{ij}$  квадратичной формы (18) вычисляются на основании (4, 13) и имеют вид

$$q_{ij} = (\bar{q}_i, \bar{q}_j),$$

где в правой части стоит скалярное произведение частных производных вектор-функции  $\bar{q}$  ( $B, R, G$ ), (4), (13) по переменным  $W_i$ ,  $i=1, 2, 3$ .

Длина отрезка  $M_0M$  в евклидовом пространстве также может быть определена интегралом вида (17). В этом частном случае он принимает вид

$$\Delta S = \int_0^t \left\{ \left( \frac{dX}{dt} \right)^2 + \left( \frac{dY}{dt} \right)^2 + \left( \frac{dZ}{dt} \right)^2 \right\}^{1/2} dt. \quad (19)$$

Производные под знаком интеграла вычисляются на основании параметрических уравнений прямой

$$\frac{X-X_0}{a} = \frac{Y-Y_0}{b} = \frac{Z-Z_0}{c} = t, \quad t \in (0, t).$$

Нетрудно заметить, что интеграл (19) равен величине  $\Delta S$ ; определяемой выражением (3).

Однако не следует спешить с вычислением интеграла (17), определяющим расстояние в инструментальном пространстве.

Для вычисления расстояния в инструментальном пространстве  $(B, R, G)$  надо перейти к евклидовым координатам цветов на основании выражений (4) и затем вычислить длину отрезка  $M_0M$  (3). Вычисление расстояния становится возможным благодаря тому, что инструментальное пространство — область евклидова пространства с заданной в ней римановой метрикой. Это еще одно подтверждение полезности рассмотренного евклидова пространства.

В заключение вычислим расстояние, определяемое интегралом (17), между цветами, имеющими координаты:

$$\begin{aligned} B_1 &= 1, & R_1 &= 2, & G_1 &= 3, \\ B_2 &= 2, & R_2 &= 3, & G_2 &= 4. \end{aligned} \quad (18)$$

Вычисляя фотометрические яркости на основании (1), получим

$$L_1 = 15,83, \quad L_2 = 21,48. \quad (19)$$

На основании сферического преобразования (4) определяем координаты этих цветов в евклидовом пространстве. Используя (18) и (19), получим

$$\begin{aligned} X_1 &= 4,23, & Y_1 &= 8,46, & Z_1 &= 12,69, \\ X_2 &= 7,98, & Y_2 &= 11,97, & Z_2 &= 15,95. \end{aligned} \quad (20)$$

Окончательно на основании (20) получим

$$\Delta S = 6,08.$$

### Выводы

В работе исследовано евклидово цветовое пространство с яркостной интерпретацией расстояния, рассмотренное впервые мною в 1987 г. Показано, что такое цветовое пространство можно получить как отображение в себя (сферическое отображение) инструментального пространства традиционной теории.

Ортогональные системы координат евклидова пространства позволяют измерять цвет произвольного спектрального состава с высокой точностью, а также определять расстояния между цветами. Показано, что инструментальное цветовое пространство в рамках традиционной теории можно рассматривать как область евклидова пространства с заданной в ней римановой метрикой.

Это позволяет определять расстояния в пространстве  $(B, R, G)$ .

Евклидово цветовое пространство может использоваться для разработки новой колориметрической системы измерения цвета, а также для создания цветовых стандартов и эталонов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Леонов Ю. П.* Теория цвета в евклидовом пространстве // Статистические проблемы управления / Под ред. Л. А. Тальксниса. Вильнюс, 1987. Вып. 80. С. 135—151.
2. *Новиков С. П., Фоменко А. Т.* Элементы дифференциальной геометрии и топологии. М., 1987.
3. *Wyszecki G., Stiles W.* Color science. N. Y., 1982.

## ЕВКЛИДОВО ЦВЕТОВОЕ ПРОСТРАНСТВО. ОППОНЕНТНЫЕ КООРДИНАТЫ

В работе автора (с. 54—67 данный сб.) исследовано сферическое преобразование координат, приводящее к евклидовому цветовому пространству. Как было показано в предыдущей статье, выбор различных отображений из класса сферических соответствует разным координатным системам в евклидовом пространстве. В этой работе исследуется сферическое преобразование, приводящее к оппонентным координатам.

Рассмотрим сферическое преобразование (см. с. 57) определяемое выражением

$$\bar{q}' = \frac{L}{r} A \bar{r}, \quad \bar{q}'(X', Y', Z'), \quad (1)$$

где  $\bar{r}(B, R, G)$  — радиус-вектор точки  $M_1$  в инструментальном цветовом пространстве и  $r$  — его длина;  $L$  — фотометрическая яркость цвета с координатами  $B, R, G$ ;  $A$  — матрица поворота системы координат в евклидовом пространстве;  $A = \|a_{ij}\|$ ,  $i, j = 1, 2, 3$ .

Заметим, что выражение (1) определяет отображение инструментального пространства, при котором точки, лежащие в плоскости

$$L = \text{const}, \quad L = L_B B + L_R R + L_G G \quad (2)$$

отображаются на сферу радиуса  $L$

$$(X')^2 + (Y')^2 + (Z')^2 = L^2.$$

Действительно, выражение (1) можно представить в виде двух последовательных преобразований

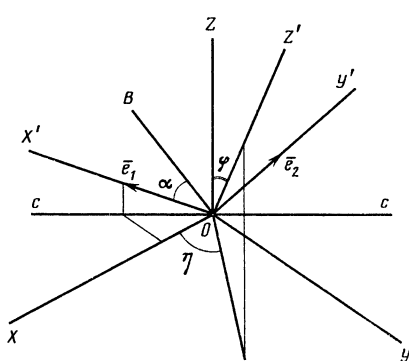


Рис. 1. Системы координат

$$\bar{q} = L \frac{\bar{r}}{r}, \quad \bar{q}' = A \bar{q} = \frac{L}{r} A \bar{r}. \quad (3)$$

Первому преобразованию соответствует перемещение точки вдоль луча из плоскости на поверхность сферы, второму — перемещение точки по поверхности сферы.

Рассмотрим теперь штрихованную систему координат, повернутую относительно системы  $(XYZ)$  таким образом, что ось  $OZ'$  системы  $(X'Y'Z')$  имеет заданное положение в

пространстве, определяемое углами  $\varphi$ ,  $\eta$  — широты и долготы (рис. 1). Единичный вектор  $\bar{e}$ , направленный по оси  $OZ'$ , имеет в системе  $(XYZ)$  координаты

$$\bar{e}(\sin \varphi \cos \eta, \sin \varphi \sin \eta, \cos \varphi).$$

Поворот системы координат  $(X'Y'Z')$  относительно системы  $(XYZ)$  определяется матрицей направляющих косинусов углов, которая в нашем случае может быть представлена в виде матрицы.

	$X$	$Y$	$Z$
$X'$	$a$	$b$	$c$
$Y'$	$d$	$e$	$h$
$Z'$	$\sin \varphi \cos \eta$	$\sin \varphi \sin \eta$	$\cos \varphi$

Например, величина  $a$  равна направляющему косинусу угла между осями  $OX$  и  $OX'$  и т. д. В последней строке стоят направляющие косинусы оси  $OZ'$ , или единичного вектора  $\bar{e}$ .

Таким образом матрица поворота имеет следующий вид:

$$A = \begin{vmatrix} a & b & c \\ d & e & h \\ \sin \varphi \cos \eta & \sin \varphi \sin \eta & \cos \varphi \end{vmatrix}. \quad (4)$$

Коэффициенты первых двух строк матрицы не могут выбираться произвольно, если задано направление оси  $OZ'$ . Имеется всего один параметр, определяющий значения всех коэффициентов первых двух строк. Действительно, условия ортогональности и нормированности строк (столбцов) матрицы дают пять уравнений для шести коэффициентов первых двух строк. Параметром, определяющим коэффициенты  $a, b, c, d, e, h$  матрицы, можно считать угол поворота  $\alpha$  координатной плоскости  $X'OY'$  вокруг оси  $OZ'$ . На рис. 1 угол  $\alpha$  отсчитывается от следа  $OB$  плоскости  $ZOZ'$  на координатной плоскости  $X'OY'$ . Прямая  $cc$  является линией пересечения координатных плоскостей  $X'OY'$  и  $XOY$ . Если ось  $OZ'$  неподвижна в пространстве, то прямая  $cc$  также остается неподвижной. Можно вращать плоскость  $X'OY'$  вокруг оси  $OZ'$ . В этом состоит единственная степень свободы выбора коэффициентов первых двух строк матрицы  $A$ .

Таким образом, имеется однопараметрическое семейство матриц  $A$ , зависящее от параметра  $\alpha$ . В соответствии с геометрическим смыслом матрицы поворота коэффициенты  $a, b, c$  равны координатам единичного вектора  $\bar{e}_1$  рис. 1, направленного по оси  $OX'$ . Аналогично коэффициенты  $d, e, h$  второй строки матрицы равны координатам единичного вектора  $\bar{e}_2$ , направленного по оси  $OY'$ . Вычисляя в соответствии с рис. 1 координаты векторов  $\bar{e}_1, \bar{e}_2$  в системе  $XYZ$ , получим следующую матрицу

$$A = \begin{vmatrix} (\sin \alpha \sin \eta - \cos \alpha \cos \eta \cos \varphi) & (-\sin \alpha \cos \eta - \cos \alpha \sin \eta \cos \varphi) & \cos \alpha \sin \varphi \\ (-\cos \alpha \sin \eta - \sin \alpha \cos \eta \cos \varphi) & (\cos \alpha \cos \eta - \sin \alpha \sin \eta \cos \varphi) & \sin \alpha \sin \varphi \\ \sin \varphi \cos \eta & \sin \varphi \sin \eta & \cos \varphi \end{vmatrix}. \quad (5)$$

Матрица направляющих косинусов является ортонормированной. Можно непосредственно убедиться в этом для матрицы (5), ее строки (столбцы) ортогональны и нормированы. В общем случае семейство матриц (5) поворота одной системы координат относительно другой зависит от трех параметров  $\alpha$ ,  $\eta$ ,  $\varphi$ . Однако интересно рассмотреть один частный случай, когда ось  $OZ'$  направлена по прямой серых (ахроматических) цветов в евклидовом пространстве. Как в инструментальном пространстве  $B, R, G$ , ахроматический цвет в евклидовом пространстве имеет равные координаты

$$X' = Y' = Z'.$$

Следовательно, в этом частном случае  $\cos \varphi = \frac{1}{\sqrt{3}}$ ,  $\cos \eta = \frac{1}{\sqrt{2}}$

и матрица (5) принимает вид

$$A = \begin{vmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \sin \alpha - \frac{1}{\sqrt{6}} \cos \alpha & \left( -\frac{1}{\sqrt{2}} \sin \alpha - \frac{1}{\sqrt{6}} \cos \alpha \right) & \sqrt{\frac{2}{3}} \cos \alpha \\ -\frac{1}{\sqrt{2}} \cos \alpha - \frac{1}{\sqrt{6}} \sin \alpha & \left( \frac{1}{\sqrt{2}} \cos \alpha - \frac{1}{\sqrt{6}} \sin \alpha \right) & \sqrt{\frac{2}{3}} \sin \alpha \\ \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \end{vmatrix}. \quad (6)$$

Вычисляя  $A$  для значений параметра  $\alpha = -\frac{\pi}{2}$ ,  $0$ ,  $\frac{\pi}{2}$ , получим

$$A = \begin{vmatrix} \alpha = -\frac{\pi}{2} & & \alpha = 0 \\ -\frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 \\ \frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{6}} & -\sqrt{\frac{2}{3}} \\ \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \end{vmatrix} \quad A = \begin{vmatrix} -\frac{1}{\sqrt{6}} & -\frac{1}{\sqrt{6}} & \sqrt{\frac{2}{3}} \\ -\frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 \\ \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \end{vmatrix} \quad \alpha = \frac{\pi}{2} \quad (7)$$

$$A = \begin{vmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} & 0 \\ -\frac{1}{\sqrt{6}} & -\frac{1}{\sqrt{6}} & \sqrt{\frac{2}{3}} \\ \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \end{vmatrix}.$$



Теперь можно получить спектральные характеристики приемника в штрихованной системе координат  $X'(\lambda)$ ,  $Y'(\lambda)$ ,  $Z'(\lambda)$ , которые одновременно являются координатами спектральных цветов в евклидовом пространстве при постоянной энергетической яркости источника [1]. Для этого следует положить в (1) координаты  $B$ ,  $R$ ,  $G$  равными функциям сложения цветов

$$B = \bar{b}(\lambda), \quad R = \bar{r}(\lambda), \quad G = \bar{g}(\lambda),$$

яркость  $L$  равной функции световой эффективности

$$L = V_0(\lambda), \quad V_0(555) = 1$$

и выбрать какую-либо матрицу из семейства (6). После этого уравнения (1) в скалярной форме принимает вид

$$\begin{aligned} X'(\lambda) &= \frac{V_0(\lambda)}{r(\lambda)} (a\bar{b}(\lambda) + b\bar{r}(\lambda) + e\bar{g}(\lambda)), \\ Y'(\lambda) &= \frac{V_0(\lambda)}{r(\lambda)} (d\bar{b}(\lambda) + e\bar{r}(\lambda) + h\bar{g}(\lambda)), \\ Z'(\lambda) &= \frac{V_0(\lambda)}{\sqrt{3}r(\lambda)} (\bar{b}(\lambda) + \bar{r}(\lambda) + \bar{g}(\lambda)). \end{aligned} \quad (8)$$

На основании этих уравнений были вычислены спектральные характеристики приемника  $X'(\lambda)$ ,  $Y'(\lambda)$ ,  $Z'(\lambda)$  для матриц  $A$  при значениях параметра  $\alpha = -\frac{\pi}{2}$ ,  $0$ . Функции сложения

цветов  $\bar{b}(\lambda)$ ,  $\bar{r}(\lambda)$ ,  $\bar{g}(\lambda)$  и функция световой эффективности, входящие в (8), заимствованы из работы [2]. Спектральные характеристики показаны на рис. 2а, 2б.

Рассматривая кривые для различных матриц, можно заметить, что характеристики  $X'(\lambda)$ ,  $Y'(\lambda)$  во всех случаях являются знакопеременными. Амплитуды и фазы этих функций изменяются в зависимости от значения параметра  $\alpha$ . Характеристика  $Z'(\lambda)$  не зависит от параметра  $\alpha$ .

Таким образом, в евклидовом пространстве существует бесконечное число прямоугольных оппонентных координатных систем, которые можно получить на основании (1) и (5). Каждая система координат соответствует определенной матрице, выбранной из семейства матриц (5). Измерение цвета возможно в любой координатной системе.

Точность измерения в таких системах координат будет по крайней мере не ниже точности измерения цвета в инструментальной системе ( $B$ ,  $R$ ,  $G$ ). Однако точность измерения в евклидовом пространстве может быть более высокой за счет его однородности [1]. Это относится также к измерению расстояний в евклидовом пространстве, что невозможно сделать в инструментальном пространстве [1].

Теперь отклонимся от чисто колориметрических задач цвета, и попытаемся понять, с какими экспериментальными данными могут быть связаны кривые на рис. 2.

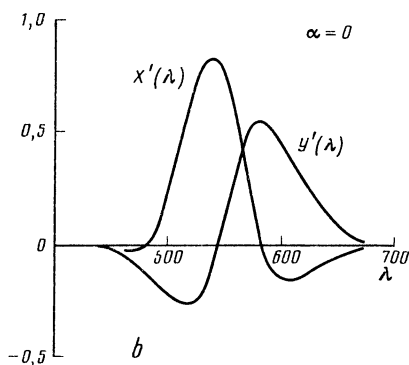
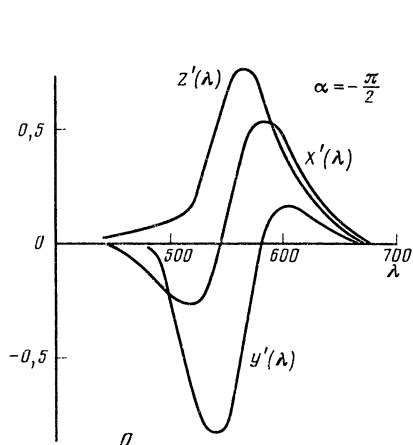


Рис. 2. Спектральные характеристики в оппонентных координатах:

a — для  $\alpha = -\frac{\pi}{2}$ ; b — для  $\alpha = 0$

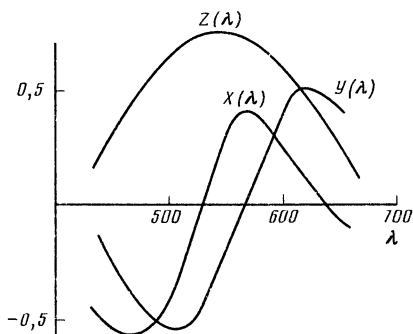


Рис. 3. Реакции горизонтальных клеток сетчатки

Здесь обнаруживается связь, которую трудно предвидеть а priori. Кривые на рис. 2 напоминают нам в первом приближении реакции горизонтальных клеток сетчатки, которые были впервые получены Г. Светихиным и Е. МакНихолом на изолированной сетчатке рыб (1958). Эти реакции показаны на рис. 3\*. Они получены при постоянной энергетической яркости источника света.

Из сравнения кривых  $X'(\lambda)$ ,  $Y'(\lambda)$ ,  $Z'(\lambda)$  рис. 2a с кривыми на рис. 3 можно заключить, что функции  $X'(\lambda)$ ,  $Y'(\lambda)$  похожи на реакции «сине-желтой» и «красно-зеленой» с-клеток сетчатки, кодирующих цвет. Функция  $Z'(\lambda)$  похожа на реакцию L-клетки, кодирующей яркость ахроматической составляющей. Можно заметить, что так же, как на рис. 5, «сине-желтая» характеристика  $X'(\lambda)$  опережает по фазе «красно-зеленую» характеристику  $Y'(\lambda)$ . При этом значения  $\lambda_i$ , при которых  $X'(\lambda_1) = Y'(\lambda_2) = 0$ , и величина разности  $\lambda_2 - \lambda_1$ , близки к соответствующим значениям экспериментальных кривых на рис. 3.

\* Горизонтальные клетки расположены непосредственно за слоем фоторецепторов.

Если считать аналогию между теоретическими и экспериментальными характеристиками достаточно обоснованной, то можно, например, предвидеть, как будут изменяться характеристики горизонтальных клеток с изменением яркости. При изменении яркости пропорционально изменятся все три характеристики  $X'(\lambda)$ ,  $Y'(\lambda)$ ,  $Z'(\lambda)$ , что следует из выражений (8). При изменении цветности и постоянной яркости изменяются только  $X'(\lambda)$ ,  $Y'(\lambda)$  в то время как  $Z'(\lambda)$  остается неизменной. Это происходит за счет изменения параметра  $\alpha$  в (6). При этом яркость, определяемая согласно (1) выражением

$$L^2 = X^2 + Y^2 + Z^2,$$

остается постоянной.

Возвращаясь к кривым на рис. 2а и рис. 3, нельзя не указать на значительные различия этих кривых на концах диапазона видимого спектра волн. Функции на рис. 2а убывают значительно быстрее по сравнению с экспериментальными реакциями горизонтальных клеток рис. 3. Эти различия связаны, по-видимому, с использованием линейной шкалы яркости

$$L = mV(\lambda) = mkV_0(\lambda), \quad (9)$$

где  $m$  — энергетическая яркость монохроматического света с длиной волны  $\lambda$ ;  $k$  — коэффициент максимальной световой эффективности;  $V_0(\lambda)$  — функция относительной световой эффективности.

Основным допущением линейной теории является пропорциональность воспринимаемой яркости  $L$  энергетической яркости  $m$  в соответствии с (9). В действительности значения реакций горизонтальных клеток нелинейно зависят от энергетической яркости. Нелинейная зависимость связана с преобразованием сигнала в фоторецепторах. Это было показано К. Наком и В. Раштоном, которые экспериментально нашли зависимость реакций горизонтальных клеток от яркости.

Таким образом, чтобы добиться более точного соответствия между теоретическими и экспериментальными кривыми на рис. 2а и рис. 3, необходимо использовать шкалу яркости.

Заканчивая обсуждение проблемы локализации евклидова цветового пространства в горизонтальных клетках сетчатки, можно указать работу Е. Н. Соколова и М. А. Черноризова [1], которая подтверждает наше предположение. В этой работе определялись реакции горизонтальных клеток на изолированной сетчатке рыбы по методу, использованному в работе Г. Светихина. Было показано, что равнояркие цвета (в смысле  $L = \text{const}$ ) располагаются в координатах реакций горизонтальных клеток на сфере с центром в начале координат. Этот результат подтверждает локализацию евклидова пространства с яркостной интерпретацией расстояния в горизонтальных клетках сетчатки. Однако ввиду сложности и невысокой

точности эксперимента желательнее дальнейшее подтверждение этого интересного факта.

В заключение рассмотрим, в каком отношении находится оппонентная система координат  $(X'Y'Z')$  к существующим координатным системам измерения цвета. Наиболее близкой к системе  $(X', Y', Z')$  является, по-видимому, шведская национальная система измерения цвета [3]. Эта эмпирическая система координат имеет своей вертикальной осью (в наших обозначениях ось  $OZ'$ ) прямую «серых» цветов. В качестве двух других осей прямоугольной системы используются оппонентные координаты: «красный-зеленый», «синий-желтый». Можно ожидать, что оппонентная система координат в евклидовом пространстве является теоретической моделью шведской системы. В отличие от последней система  $(X', Y', Z')$  обладает, однако, локальной однородностью цветового пространства. Такая однородность определяется выражением линейного элемента евклидова цветового пространства, который, как известно, имеет вид [1]

$$dS^2 = dX'^2 + dY'^2 + dZ'^2.$$

Шведская колориметрическая система по своей однородности цветового пространства превосходит другие системы измерения цвета, например систему Манселла в США или европейскую систему. Сравнивая эти эмпирические системы с системой  $(X', Y', Z')$ , можно точно оценить степень их однородности.

Оппонентная система измерения цвета в евклидовом пространстве может быть положена в основу общей колориметрической системы измерения цвета. Благодаря связи системы  $(X', Y', Z')$  с инструментальной системой  $(B, R, G)$ , вычисления координат цвета могут проводиться теоретически. Соответствующие характеристики приемника цвета могут быть определены значительно проще, без проведения дорогостоящих экспериментов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Соколов Е. Н., Черноризов М. А. Нейронные механизмы цветового зрения // Вестн. МГУ. Сер. 14, Психология. 1981. № 2. С. 18—35.
2. Wyszecki G., Stiles W. Color science. N. Y., 1982.
3. Tonquist G. Philosophy of perceptive color order systems // Color Res. and Appl. 1986. N 11. P. 51—55.

---

---

## ПРОБЛЕМЫ ВЗАИМОСВЯЗИ ЦВЕТА, ЦВЕТОВОГО РАЗЛИЧИЯ И ЦВЕТОВОГО ОЩУЩЕНИЯ

Проблема взаимосвязи цвета в его колориметрическом понимании и цветового ощущения была поставлена еще Г. Гельмгольцем [9], который не только феноменологически ее сформулировал, но и предложил гипотезу о нелинейности этой взаимосвязи. Е. Шредингер, которому мы обязаны введением понятий низшей метрики цвета (колометрии) и высшей (метрике цветовых ощущений), пытаясь объединить их в единой метрической модели, вынужден был перейти к риманову пространству [12].

На современном этапе представляется целесообразным рассматривать по крайней мере три уровня формирования цветового ощущения в органе зрения. Первый соответствует возникновению сигнала в рецепторе за счет фотохимической реакции. Линейные колориметрические закономерности здесь справедливы, естественно, с учетом индивидуальных особенностей. Второй уровень включает в себя переработку сигнала в сетчатке и при горизонтальных взаимодействиях. Здесь формируются сигналы, направляемые в нервные проводящие пути. Среди преобразований этого уровня есть и нелинейные. Различие в сигналах при наблюдении разноцветных полей должно лежать в основе определения цветового различия. И наконец, третий уровень соответствует переработке информации центральными участками органа зрения. Зависимости образования зрительного ощущения, являющиеся результатом переработки, относятся уже к проблеме психологии.

Взаимосвязь уровней очевидна, так как каждый предыдущий уровень служит исходным для последующего. При этом переход от одного уровня к другому сопровождается взаимодействием с другими сигналами и, следовательно, приводит к увеличению параметров, определяющих результирующий сигнал. В итоге на последующем уровне сигнал оказывается неоднозначно связанным с исходным сигналом предыдущего уровня.

Создание самостоятельных метрик для каждого из названных уровней в принципе правомерно, если их применять в заданных пределах. Исторически это так и было. Вначале цвета систематизировались по сути дела на уровне ощущений. Затем, когда были заложены основы измерения цвета, была

создана метрика цветowych измерений—колориметрия. Когда же практика выдвинула задачу количественной оценки цветowych различий, возникла необходимость построения равноконтрастных систем. При этом встала проблема взаимосвязи между разработанными и вновь созданными метриками. Поскольку исторически сложившиеся системы были построены вне зависимости друг от друга и при этом моделировались разные уровни цветowego ощущения с разными допущениями, то установить взаимосвязь между ними оказалось достаточно сложно. Однако есть и принципиальные положения, которые усугубили трудности установления взаимосвязи. Речь идет о нарушениях логики математических преобразований при создании формул, воспроизводящих взаимосвязь. Рассмотрим этот вопрос на примере равноконтрастных систем МКО 1976.

1. Если равноконтрастная система основана на нелинейном преобразовании сигнала, как это свойственно органу зрения, то выбор основных цветов исходной колориметрической системы оказывается далеко не безразличным. В системе кубического корня К. Рейли, Л. Глессера [8], являющейся прототипом системы  $L^*a^*b^*$  МКО 1976, были предложены в качестве основных цвета, близкие основным цветам среднего глаза. Поэтому переход от них к основным цветам системы XYZ МКО 1931, вообще говоря, неправилен и приводит к систематическим погрешностям.

2. В системе  $L^*a^*b^*$  принято, что цвета одинаковой яркости лежат в плоскости, перпендикулярной оси светлоты. Однако это условие вступает в противоречие с принятым нелинейным законом преобразования координат цвета. Если преобразовать в уравнении цветов одинаковой яркости координаты цвета по закону кубического корня, то мы не получим плоскости как геометрического места цветов равноярких.

3. В обеих системах  $L^*a^*b^*$  и  $L^*u^*v^*$  принято, что цвета одинаковой яркости имеют одинаковую светлоту, что противоречит экспериментальным данным, отражающим известный эффект пыления цветов Гельмгольца—Кольрауша.

4. И в той и в другой системах в качестве исходных берутся относительные координаты цвета. Опорным принимается идеальный белый цвет—«абсолютный диффузор». Это позволяет в некоторой мере отобразить константность цветowego зрения. Однако выбор опорного в виде идеального белого отражающего образца для всех случаев и условий наблюдения вызывает сомнение.

В результате ввода всех этих дополнительных условий и преобразования при построении равноконтрастных пространств, как правило, не согласующихся с исходными зависимостями, равноконтрастные системы оказались противоречивыми и как итог не отражающими ряд существенных закономерностей цветowego ощущения. В частности, не нашли

своего отражения в этих системах эффект Гельмгольца — Кольрауша и эффекты Бецольда — Брюкке и Бецольда — Эбнея.

Из этого иногда делается вывод о принципиальной невозможности построения метрики цветового ощущения в евклидовом пространстве и о необходимости перехода в риманову пространство или многомерным пространствам. Нам представляется такой вывод преждевременным. До того как отказаться от построения метрики в евклидовом пространстве, на наш взгляд, следует сделать попытку провести построения, строго соблюдая логику математических преобразований координатных систем, и не вводить заранее условий и допущений, не согласующихся с первоначально принятыми. В частности, не следует принимать поверхности равной яркости плоскими, что и вытекает также из анализа МакАдама и Л. Зильберштейна [13]. Нельзя также исходить из подобия сечений равноконтрастного пространства поверхностями равной яркости. При преобразовании трехмерного пространства колориметрических стимулов необходимым условием должно быть лишь задание трех нелинейных функций, определяющих работу каждого из трех рецепторов. Введение дополнительных условий будет либо простым следствием первого, либо вступит с ним в противоречие.

Исходя из этих положений, нами была предложена модель оценки цветовых различий в виде ортогонального равноконтрастного пространства [3, 5]. В основу его построения была положена колориметрическая система, основными цветами которой являются цвета физиологической системы органа зрения. В качестве таковых были взяты данные Н. Ньюберга — Е. Юстовой [6]. Взаимосвязь координат цвета этой физиологической системы КЗС с системой МКО 1931 XYZ определяется следующей матрицей

$$\begin{bmatrix} K \\ Z \\ C \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} 0,318 & 0,754 & -0,072 \\ -0,463 & 1,374 & 0,089 \\ 0,000 & 0,000 & 1,000 \end{pmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}. \quad (1)$$

В качестве нелинейных функций преобразования сигнала в модели были использованы гиперболические аналогичные светлотной функции Е. Адамса и П. Кобба зависимости, семейство которых может быть описано уравнениями типа

$$v_m = A_m \frac{m'_o}{\alpha_m m'_o + m'_a}; \quad m'_o = \begin{bmatrix} K_o \\ Z_o \\ C_o \end{bmatrix}, \quad m'_a = \begin{bmatrix} K_a \\ Z_a \\ C_a \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где  $m'_o$  и  $m'_a$  — координаты цвета объекта и адаптации в физиологической системе КЗС;  $A_m$  и  $\alpha_m$  — постоянные преобразования для каждой координаты цвета  $m'$ .

Постоянные  $A_m$  определяют вклад  $m$ -го рецептора в формирование цветового ощущения и имеют физический смысл

интегральной чувствительности, а постоянные  $\alpha_m$  определяют характер нелинейности этого преобразования.

При наблюдении объекта на фоне постоянной яркости стимул адаптации  $m'_a$  будет определяться яркостью объекта и яркостью фона, причем по мере увеличения яркости объекта стимул адаптации будет все в большей степени определяться воздействием яркости объекта. В модель была заложена нелинейная функция, характеризующая зависимость стимула адаптации  $m'_a$  от стимула объекта  $m'_o$  и стимула фона  $m'_\phi$ . Увеличение вклада яркости объекта в стимул адаптации здесь описывается степенной функцией и зависит от отношения яркостей объекта и фона

$$m'_a = \left[ t_m \frac{L_o}{L_\phi} m'_o + (1 - t_m) \frac{L_o}{L_\phi} m'_\phi \right] \left( \frac{L_o}{L_\phi} \right)^n,$$

где  $t_m$  — постоянная, определяющая вклад стимула объекта в стимул адаптации.

Нормирование модели цветовых различий было произведено в результате определения постоянных, входящих в уравнения преобразования, и было проведено по трем семействам экспериментальных данных в три стадии. На первой стадии использовались экспериментальные данные по цветоразличию МакАдама [11], на основе которых были найдены методом итерации шесть постоянных параметров преобразования (2) [5] для одной поверхности постоянной яркости. В дальнейших расчетных исследованиях уточнялись параметры уравнения стимула адаптации. На третьей стадии равноконтрастное пространство нормировалось вдоль ахроматической оси — уточнялись параметры преобразования с точки зрения светлотной зависимости. В окончательном виде после нормирования система уравнений преобразования колориметрического пространства в пространство цветовых различий получила следующий вид [7]:

$$\left. \begin{aligned} v_m &= \frac{A_m m'_o}{\alpha_m m'_o + m'_a} + C_m \left( \frac{L_o}{L_\phi} \right)^p \\ m'_a &= \left[ t_m \frac{L_o}{L_\phi} m'_o + (1 - t_m) \frac{L_o}{L_\phi} m'_\phi \right] \left( \frac{L_o}{L_\phi} \right)^n \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

где

$$A_m = \begin{bmatrix} 180 \\ 155 \\ 93,7 \end{bmatrix}; \quad \alpha_m = \begin{bmatrix} 0,093 \\ 0,093 \\ 0,465 \end{bmatrix}; \quad t_m = \begin{bmatrix} 0,013 \\ 0,013 \\ 0,000 \end{bmatrix}; \quad C_m = \begin{bmatrix} 162 \\ 162 \\ 55 \end{bmatrix};$$

при  $L_o \geq L_\phi$   $n=0,9$ ;  $p=0,6$ ;

при  $L_o < L_\phi$   $n=0,7$ ;  $p=1,0$ .

Получение уравнения преобразования проверялись прежде всего по семейству тех экспериментальных данных, которые



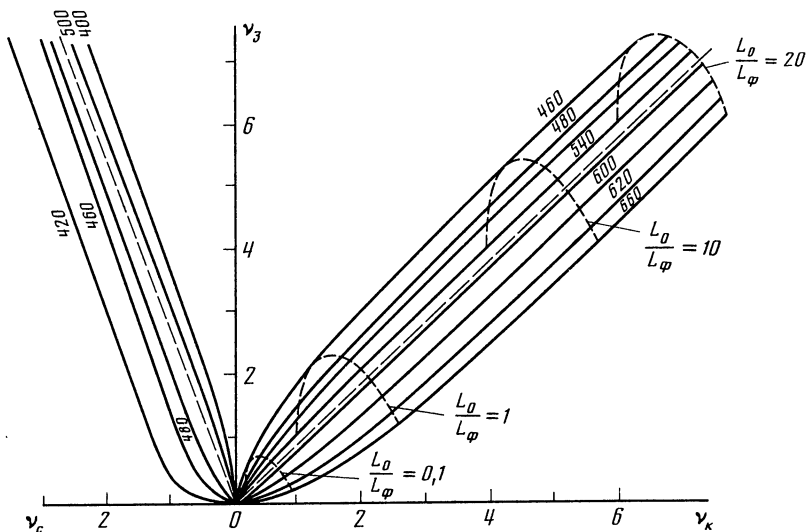


Рис. 1. Тело цветового охвата реальных цветов в равноконтрастном пространстве  $v_x, v_y, v_z$

были заложены в основу нормирования, а затем по другим психофизическим исследованиям цветовых восприятий, в частности по тем явлениям, которые не вписываются в рамки колориметрических закономерностей.

Проверка воспроизведения в равноконтрастном пространстве пороговых эллипсов МакАдама [11] показала, что средняя квадратичная погрешность преобразования осей эллипсов в диаметры средней окружности составила 24%, что в полтора раза меньше соответствующей погрешности воспроизведения эллипсов на графике МакАдама и Д. Джадда и примерно соответствует погрешности измерения порога цветоразличения в эксперименте МакАдама.

Анализ величин цветовых порогов при широком изменении яркости объекта на равнотемном фоне в равноконтрастном пространстве показал, что среднее квадратичное отклонение их значений по отношению к среднему значению порога, полученному нами в экспериментах с аналогичными условиями наблюдения [7], не превышает 19%. Таким образом, точность преобразования в направлении вдоль ароматической оси и в перпендикулярном направлении достаточно близка (24 и 19%).

Анализ уравнений преобразования (3) показывает, что цвета разной яркости, но одинаковой цветности будут в пространстве цветовых различий лежать не на прямой линии, проходящей через начало координат, как это имеет место в колориметрии, а на кривых (рис. 1), выходящих из начала координат. Цвета одинаковой яркости будут представлены в равноконтрастном пространстве семейством криволинейных поверхностей с разной

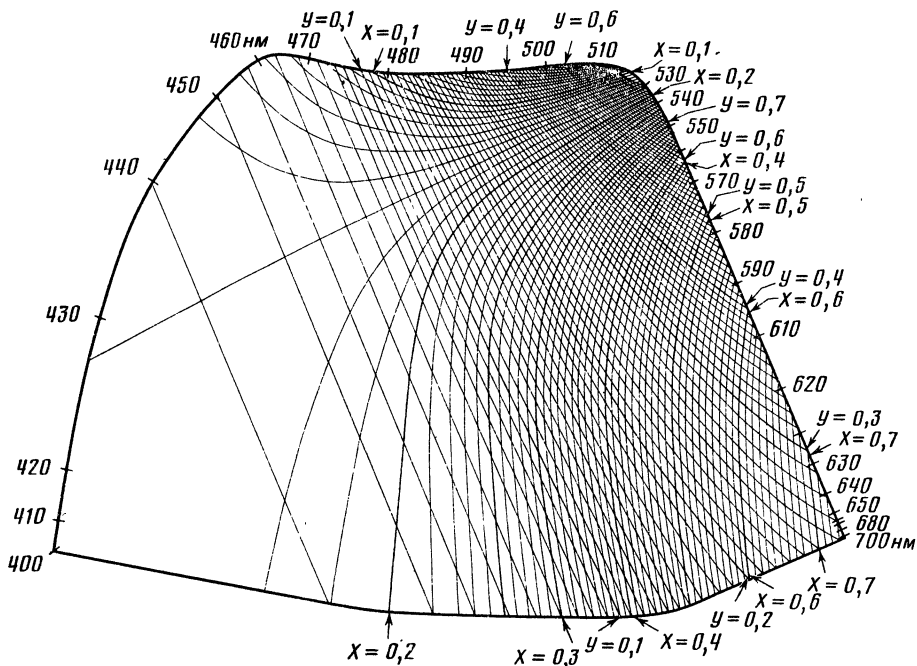


Рис. 2. Равноконтрастный график для отношения яркостей  $\frac{L_0}{L_\phi} = 2$

кривизной для разных уровней яркости. Поверхность, на которую нанесена линия цветов монохроматических излучений, будет представлять собой равноконтрастный график для заданного отношения яркостей объекта и фона. Изменение этого отношения приводит к изменению формы и размеров графика. На рис. 2 представлена развертка графика для объектов с угловым размером  $2^\circ$ , яркость которых в два раза выше яркости фона. Здесь же нанесены линии постоянных значений координат цветности в системе МКО  $x$  и  $y$ .

Начало координат определяет точку черного цвета в данных условиях наблюдения. Расстояние от нее будет характеризовать светлоту объекта. Отметим, что поверхность цветов, имеющих равную светлоту, не совпадает с поверхностью цветов равной яркости. Это показывает, что в модели цветового различия воспроизводится эффект пылания цветов Гельмгольца — Кольрауша.

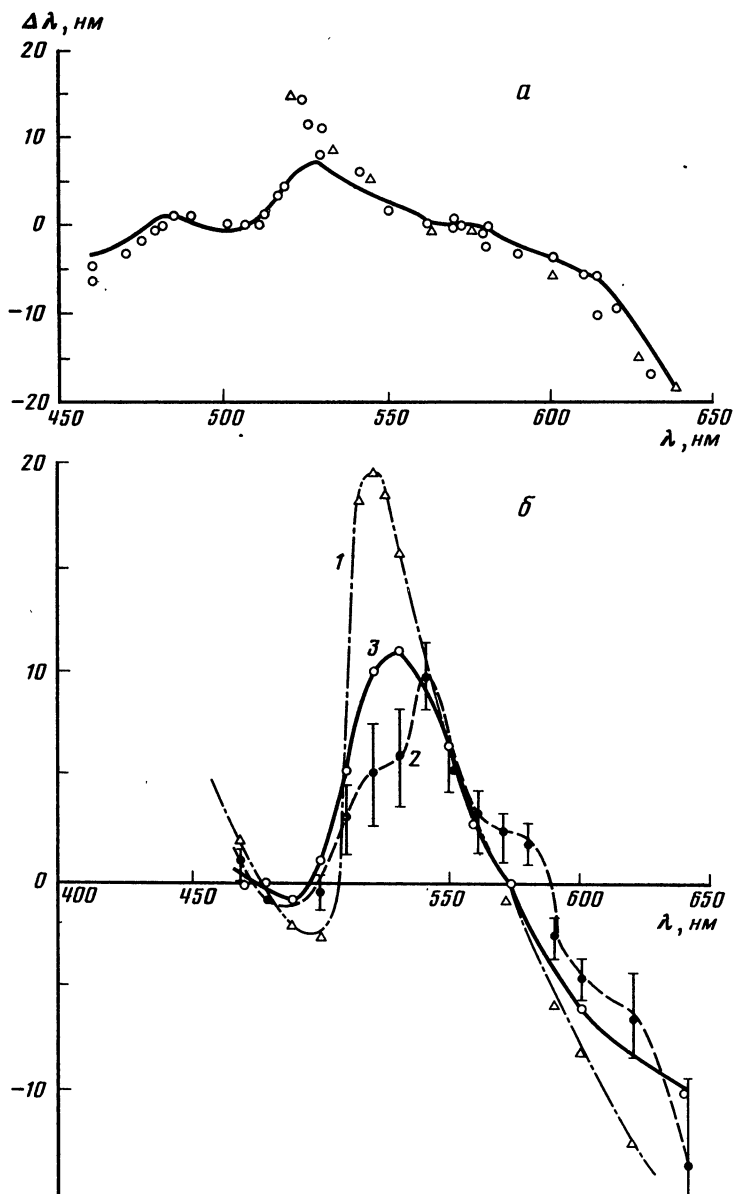
Расстояние от геометрического места ахроматических цветов — ахроматической оси — характеризует насыщенность цвета, а длина волны монохроматического излучения, цвет которого лежит на пересечении прямой, соединяющей точку данного цвета с точкой на ахроматической оси одинаковой светлоты, определяет цветовую тональность — аналог колориметрического цветового тона в модели цветовых различий.

Если цветовое различие определять числом порогов, как это делается в высшей метрике цвета, то в пространстве модели оно будет воспроизводиться расстоянием между двумя точками, характеризующими два исследуемых цвета.

Расчетные исследования некоторых явлений цветового зрения, не укладывающиеся в рамки обычных колориметрических представлений, показали, что явления Гельмгольца—Кольрауша, эффект Бецольда—Эбнея и Бецольда—Брюкке находят свое отражение в предлагаемой модели и могут быть не только объяснены качественно, но и количественно рассчитаны. На рис. 3 показаны результаты расчета на основе модели изменений цветового тона при добавлении белого цвета к спектрально чистому цвету в зависимости от длины волны (эффект Бецольда—Эбнея). Точками обозначены экспериментальные данные В. Эбнея и Н. Федорова. Расчет произведен для случая, когда яркость цветового объекта превышает яркость нейтрального фона в два раза. Как видно из рис. 3а, характер зависимости воспроизводится достаточно точно, хотя максимальное отклонение в середине спектра оказалось значительным.

На рис. 3б представлены результаты расчета изменения цветового тона монохроматических излучений при увеличении их яркости в 10 раз. Эти изменения, известные как эффект Бецольда—Брюкке, экспериментально исследовались еще в 30-х годах нашего века Д. Пэди и нашли свое подтверждение в работе [10]. На рис. 3б экспериментальные данные, как и на рис. 3а, обозначены точками. Как видно, здесь также имеет место удовлетворительное совпадение рассчитанных значений с экспериментальными данными.

Анализ уравнений преобразования (3) показал, что отклонения от линейности для реакций разных цветовоспринимающих рецепторов из-за различия в значениях параметров  $\alpha_m$  также различны [4]. Так, для красноощущающего и зеленоощущающего рецепторов зависимость реакции от светового стимула в модели ближе к линейной, чем для синеощущающего. В результате такой асимметрии ахроматические с колориметрической точки зрения цвета оказались расположенными в равноконтрастном пространстве не на прямой линии, а на кривой, выгнутой в направлении оси  $v_c$ . В то же время геометрическим местом цветов, ахроматических по ощущению, согласно геометрической интерпретации параметров цветоощущения в модели, должна быть прямая, проходящая через начало координат и точку белого цвета, равнояркого фону. Таким образом, при яркости объекта, превышающей яркость фона, белым по ощущению, согласно модели, должен восприниматься цвет, сдвинутый от колориметрического белого в сторону основного синего цвета системы. Такое смещение точки белого цвета действительно имеет место и было экспериментально обнаружено еще Г. Гельмгольцем [9]. Позже смещение точки

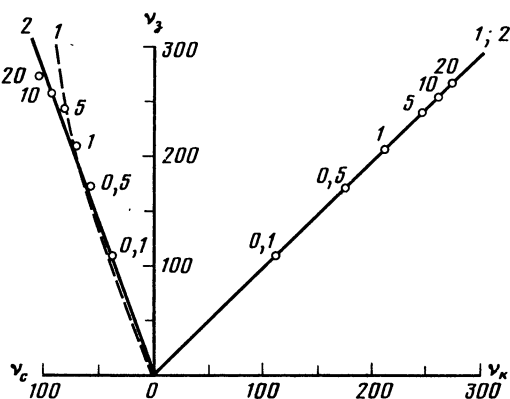


**Рис. 3.** Изменение цветового тона при разбеливании цвета в зависимости от длины волны (эффект Бецольда—Эбнея) и при увеличении яркости объекта в 10 раз (эффект Бецольда—Брюкке)

1—экспериментальные данные Парди; 2—экспериментальные данные [10]; 3—расчетные данные в системе

Рис. 4. Проекция ахроматических осей на координатные плоскости системы  $v_k, v_3, v_c$

1 — колориметрически белые цвета, 2 — экспериментальные данные для ахроматических по ощущению цветов при отношениях яркости объекта и фона, равных 0,1; 0,5; 1; 5; 10; 20



белого от колориметрического значения наблюдали Л. Фриле, Р. Хантер, А. Рымов. Отсутствие систематических исследований этого явления в широком диапазоне изменения яркостей объекта и фона побудило нас провести исследования.

Эксперимент проводился на специальной проекционной установке, позволяющей изменять отношение яркости объекта к яркости фона в 20 раз [4]. Наблюдателю предъявлялся плоский квадратный объект в виде белого экрана с угловым размером  $5^\circ \times 5^\circ$  на фоне с равномерной яркостью 10 кд/м<sup>2</sup>. Объект освещался проекционным аппаратом с длиннофокусным объективом, внутри которого перемещалась рамка с двумя светофильтрами — синим и желтым. Цвета светофильтров были подобраны таким образом, чтобы в результате перемещения рамки цветность смеси, а следовательно, и объекта наблюдения, изменялась от желтого в направлении синего — основного цвета системы КЗС. Коэффициенты пропускания были подобраны таким образом, чтобы необходимое изменение цветности в эксперименте не сопровождалось изменением яркости объекта.

В ходе эксперимента наблюдателю предъявлялся объект определенной яркости, но разной цветности. Наблюдатель должен был указать, каким он видит объект по отношению к фону — синим или желтым. Результаты эксперимента обрабатывались с помощью пробит-метода, исходя из нормальности кривой эффекта с учетом доверительных границ, вычисленных для данной частоты названия объекта синим или желтым. Точка белого цвета по ощущению определялась по 50%-ной вероятности.

Результаты измерений, усредненные для пяти наблюдателей, показали, что наибольший сдвиг в синюю область, отмеченный при двадцатикратном отношении яркости объекта к яркости фона, соответствует изменению координат цветности  $\Delta x$  и  $\Delta y$  на 0,02. Результаты эксперимента, пересчитанные в равноконтрастное пространство  $v_k, v_3, v_c$ , показывают (рис. 4), что гипотеза о прямолинейности оси ахроматических цветов по ощущению подтверждается,

в то время как колориметрически ахроматические цвета лежат на кривой.

Анализ геометрических особенностей тела цветового охвата реальных цветов в равноконтрастном пространстве (рис. 1) показывает, что тело цветового охвата в начале координат, когда объект темнее фона, приближается по форме к конусу, а затем плавно переходит в цилиндр, вытянутый вдоль ахроматической оси. Экспериментальное подтверждение такой формы тела цветового охвата получено нами в исследовании цветовых порогов при разных соотношениях яркостей объекта и фона [1], а также непосредственным измерением насыщенности на разных уровнях относительной яркости объекта наблюдения.

Характерной особенностью заполнения равноконтрастного пространства телом цветового охвата реальных цветов является неравномерность заполнения на разных уровнях. В начале координат вблизи точки черного цвета равноконтрастное пространство почти полностью заполнено телом цветового охвата реальных цветов. При увеличении яркости доля пространства, соответствующая полезной информации о реальных цветах, резко падает. Из этого рассмотрения видно, что уже при отношении яркостей объекта и фона, большем единицы, передача информации о реальных цветах по каналам  $v_k$ ,  $v_3$  и  $v_c$  не оптимальна.

Можно найти другие системы, линейно связанные с системой  $v_k v_3 v_c$ , позволяющие более экономно передавать информацию о реальных цветах. При выборе базисов новой системы целесообразно совместить одну из координатных осей новой системы с ахроматической осью. В качестве двух других направлений для координатных осей можно взять два перпендикуляра к ахроматической оси, один из которых параллелен плоскости  $v_k v_3$ , а другой лежит в плоскости, перпендикулярной плоскости  $v_k v_3$ . Новая система будет таким образом линейно связана со старой следующими линейными соотношениями

$$\left. \begin{aligned} v_b &= 0,23(3v_k + 3v_3 + v_c) \\ v_{ж-с} &= 0,162(v_k + v_3 - 6v_c) \\ v_{к-3} &= 0,707(v_k - v_3) \end{aligned} \right\}. \quad (4)$$

Анализ уравнения (4) показывает, что желто-синяя координата и координата красно-зеленая ( $v_{ж-с}$  и  $v_{к-3}$ ) могут иметь как положительные, так и отрицательные значения. Координата  $v_b$ , несущая информацию о светлоте ахроматических объектов, всегда положительна, если за начало координат выбрана точка черного цвета. Если же начало координат перенести по оси ахроматических цветов в точку, соответствующую по яркости фону, то координата  $v_b$  также будет менять знак в зависимости от того, темнее или светлее объект, чем фон. Таким образом, систему уравнений равноконтрастного пространства (4) можно рассматривать как математическую формализацию теории

оппонентных цветов Е. Геринга в рамках модели цветовых различий. Существенно отметить, что переход от системы координат (3) к координатам системы (4) осуществляется путем линейных преобразований, т. е. сложением и вычитанием сигналов. Для реального органа зрения такой переход возможен на уровне горизонтальных взаимодействий в сетчатке. Смысл таких преобразований наглядно виден из анализа заполнения равноконтрастного пространства телом цветового охвата: переход к новой системе позволяет передавать информацию о цвете более эффективно.

Итак, взяв за основу классическую трехцветную теорию зрения Ломоносова — Юнга — Гельмгольца и построив нелинейную математическую модель цветоощущения в ортогональной системе координат, мы получили в результате линейных преобразований новую ортогональную систему, соответствующую теории оппонентных цветов Геринга, доказав не только качественно, как это было сделано Де Валуа и другими, но и количественно взаимосвязь двух теорий, долгое время считавшихся противоречащими друг другу. Все противоречие состояло лишь в том, что каждая из теорий отражала разные стадии переработки зрительной информации. Примечательно, что, постулировав ортогональность трехцветных координат в исходной системе, мы получили также ортогональную систему, соответствующую теории оппонентных цветов.

Интерес представляет также цилиндрическая система координат, ось которой совпадает с ахроматической осью тела цветового охвата реальных цветов. Такая система может быть получена в результате преобразования систем как (3), так и (4)

$$\left. \begin{aligned} v_b &= 0,23 (3v_k + 3v_3 + v_c) \\ H &= (v_{k-3}^2 + v_{ж-c})^{1/2} \\ \varphi &= \text{arctg}(v_{k-3}/v_{ж-c}) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Координаты этой системы соответствуют координатам цветового ощущения Гельмгольца — светлоте ахроматических цветов, насыщенности и цветовой тональности. Светлота цветных объектов здесь, как и ранее, определяется расстоянием от начала координат. Искать физический смысл цилиндрическим координатам на уровне сетчатки не представляется возможным, так как там не обнаружено специальных структур, ответственных за возникновение ощущения насыщенности или цветовой тональности. Скорее всего это результат дальнейшей переработки информации в центральных звеньях органа зрения.

Некоторые гипотезы о возникновении параметров цветового ощущения, подобных координатам системы уравнений (5), могут быть сформулированы, если рассмотреть возможность кодирования информации о цвете при передаче ее по зрительному нерву.

Проблема кодирования информации о цвете при передаче ее от сетчатки в центральные участки органа зрения возникает, если учесть, что число волокон зрительного нерва намного

меньше числа рецепторов в сетчатке. В результате этого по одному нервному волокну должна передаваться информация от нескольких параллельно включенных рецепторов, работающих одновременно. Чтобы получить информацию о цвете, в центральных звеньях органа зрения, необходимо декодирование суммарного сигнала, с тем чтобы из него извлечь трехмерные параметры цветового ощущения. Если считать, что сигналы от параллельно включенных рецепторов промодулированы шумом, то информация о цвете может быть закодирована в виде моментных величин. Воздействие тремора на сигналы рецепторов можно рассматривать как модуляцию шумом. Эта гипотеза предполагает также различие во временных параметрах включенных параллельно приемников излучения—в данном случае у разных цветовоспринимающих рецепторов.

Экспериментальное определение временных параметров рецепторов, позволившее подтвердить гипотезу, было проведено нами в результате измерения временных характеристик органа зрения [2]. Способ измерения временных характеристик основан на явлении иррадиации и возникающей в связи с этим иллюзии колебания границ раздела модулированных разноцветных полей, находящихся в оптическом контакте. О фазовом различии судят по сдвигу фаз модулированных цветных излучений при отсутствии колебаний линии раздела фотометрических полей. Результаты экспериментов подтвердили различие значений временных параметров синего и красного цветовоспринимающих рецепторов.

Сопоставление математического описания моментных оценок с уравнениями модели цветовых различий показало, что характер связей результирующих моментных величин с моментными оценками отдельных рецепторов при параллельном включении последних аналогичен взаимосвязям параметров системы  $v_k v_l v_c$  в цилиндрических координатах (4).

Если говорить о метрике цветового ощущения в обобщенном виде, то следует в модель вводить дополнительные связи, определяющие психофизические особенности восприятия. Здесь необходимо моделировать и смысловое содержание изображения и взаимосвязи закономерностей воспроизведения его отдельных элементов. Исходными параметрами модели, по всей видимости, могут служить, как это было показано, координаты цветов равноконтрастного пространства, в котором уже заложены элементы психофизики цветового ощущения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Беляева Н. М., Матвеев А. Б. К определению цветового различия при разных соотношениях яркости объекта и фона // Светотехника. 1971. № 4. С. 19—26.
2. Бухман А. Б., Матвеев А. Б. О модуляционно-фазометрическом методе измерения временных характеристик цветового зрения // Тр. II Всесоюз.



- традиц. науч.-техн. семинара «Развитие физиологии приборостроения для науч. исследований в биологии и медицине». М., 1968. С. 248.
3. *Матвеев А. Б.* Проблемы построения равноконтрастного пространства // Светотехника. 1964. № 12. С. 1—6.
  4. *Матвеев А. Б.* О некоторых психофизических закономерностях, описываемых нелинейной моделью цветового зрения // Физиология зрения в нормальных и экстремальных условиях. Л., 1969. Т. 15. С. 19—26.
  5. *Матвеев А. Б., Беляева Н. М.* Новая равноконтрастная система // Светотехника. 1965. № 9. С. 1—6.
  6. *Юстова Е. Н.* Определение координатных осей основной физиологической системы из опытов с цветнослепыми // ДАН СССР. 1948. Т. 63, № 4. С. 383—385.
  7. *Beljaeva N. M., Kamenskaya G. V., Matveev A. B., Tochadze I. L.* Principle of effective values construction for a visual sensation appraisal in lighting engineering // CIE XVII ses. Barcelona, 1971. Vol. 71. N 32. P. 1—27.
  8. *Glasser L. G., McKiney A. H., Reily C. D., Schnelle P. D.* Cuberoot color coordinate system // J. Opt. Soc. Amer. 1958. Vol. 48. P. 736—741.
  9. *Helmholtz H.* Handbuch der physiologischen Optik. 3. Aufl. Hamburg; Leipzig, 1909—1911. Bd. 2.
  10. *Jacobs G. M., Wascher T. A.* Bezold-Brücke hue shifts further measurements // J. Opt. Soc. Amer. 1967. Vol. 57. P. 1155.
  11. *MacAdam D. L.* Visual sensitivities to color differences in daylight // Ibid. 1942. Vol. 32. P. 247—274.
  12. *Schrödinger E.* Grundlinien einer Theorie der Farbmetrie im Tagessehen // Ann. Phys. 1920. Bd. 63. S. 397—456.
  13. *Silberstein L., MacAdam D. L.* The distribution of color matchings around a color center // J. Opt. Soc. Amer. 1945. Vol. 35. P. 32—39.

## ЦВЕТОВОЕ КОДИРОВАНИЕ

Термин кодирование в рамках криптологии означает процесс замены элементов подлежащего кодированию сообщения набором специально подобранных для этой цели символов. Такой код является статичным и постоянным в данном интервале времени. К. Шенноном был предложен другой подход к процессу кодирования на основе теории информации. В этом случае кодирование рассматривается как преобразованием последовательности символов на входе в их комбинацию на выходе. Преобразователь, реализующий такое кодирование, может обладать внутренней памятью, что обеспечивает зависимость символов на входе от предыстории этого процесса кодирования.

Кодирование в нейронных сетях можно сравнить с работой многослойного преобразователя, состоящего из множества параллельных каналов. Сенсорное кодирование реализуется сетью нейронов, обеспечивающих отображение сигнала на нейронной карте, которая состоит из множества нейронов-детекторов, избирательно настроенных на разные характеристики сигнала.

Под действием внешнего сигнала на определенном нейрон-детекторе возникает максимум возбуждения, служащий кодовым обозначением сигнала. При изменении сигнала на входе максимум возбуждения смещается относительно детекторной карты. В самом общем виде можно сказать, что сенсорное кодирование достигается указанием координат максимума возбуждения на карте, образованном нейронами-детекторами. В качестве примера возьмем нейронные механизмы цветового кодирования. Такое кодирование представляет трансформацию некоторой спектральной композиции в пределах видимой части спектра в селективное возбуждение цветового детектора, что субъективно соответствует возникновению определенного цветового ощущения. Рассмотрим строение нейронных сетей, определяющих такое преобразование. Первая стадия цветового кодирования осуществляется на рецепторном уровне, представленном тремя типами колбочек, обладающих перекрывающимися спектральными характеристиками с пиками в коротковолновом, средневолновом и длинноволновом участках видимой части спектра. Монохроматическое излучение вызывает в каждом типе колбочки отдельную, независимую реакцию. Комбинация возбуждений трех типов колбочек образует трехкомпонентный вектор возбуждения. Когда сигналом является излучение не монохроматическое, а сложного спект-

рального состава, реакция колбочки определяется эффективностью поглощения квантов света на каждой длине волны, что определяется спектральной кривой поглощения пигмента, содержащегося в каждой из трех типов колбочек. Таким образом сложное по составу спектральное излучение преобразуется в трехкомпонентный вектор возбуждения рецепторов. Величина реакции колбочки определяется логарифмом числа поглощенных квантов света. Иными словами, на уровне рецепторов сигнал преобразуется в трехкомпонентный вектор возбуждения с компонентами, пропорциональными логарифму числа поглощенных квантов света.

В связи с тем, что реакции колбочек при действии света представлены гиперполяризацией, знак реакции колбочек при всех возможных излучениях не изменяется, т. е. вектор возбуждения рецепторов при всех возможных изменениях излучения занимает только один октант в трехмерном пространстве. Интенсивность излучения представлена при этом длиной вектора возбуждения рецепторов, а хроматическая характеристика определяется ориентацией этого вектора. Однако длина вектора возбуждения на уровне рецепторов не связана прямо с субъективной яркостью. Следовательно, координатная система вектора возбуждения рецепторов не ортогональна.

Ортогонализация достигается на следующем уровне переработки информации — в горизонтальных клетках сетчатки.

В сетчатке имеется один тип скотопических горизонтальных клеток, связанных с палочками, и три типа фотопических горизонтальных клеток, связанных с колбочками. При этом каждая колбочка соотносится со всеми тремя типами фотопических горизонтальных клеток. Возбуждения трех типов горизонтальных клеток образуют вектор возбуждения. Колбочки связаны с горизонтальными клетками как возбуждающими, так и тормозными синапсами. Зная реакции колбочек и горизонтальных клеток на разные по длине волны монохроматические излучения, можно рассчитать эффективность (вес) и знак синаптических связей между колбочками и фотопическими горизонтальными клетками. Три типа горизонтальных клеток различаются по знаку реакции при изменении длины волны монохроматического излучения.

Различают однофазные, двухфазные и трехфазные горизонтальные клетки, реакции которых образуют компоненты вектора возбуждения в евклидовом пространстве. При этом все множество излучений отображается в пространстве в пределах четырех октантов. Длина вектора возбуждения прямо коррелирует с субъективной яркостью, так как длина вектора возбуждения при действии монохроматических излучений совпадает с фотопической кривой видимости. Изменению цветового тона соответствует поворот вектора в горизонтальной плоскости. Насыщенность цвета определяется вертикальным углом. Таким образом на уровне горизонтальных клеток

происходит ортогонализация вектора возбуждения с одновременным увеличением стереоугла, в пределах которого изменяются хроматические характеристики. Так как длина вектора возбуждения при действии монохроматических излучений совпадает с фотопической кривой видимости, можно сделать вывод, что цвета, субъективно равные по восприятию яркости, располагаются на сфере в трехмерном евклидовом пространстве.

Всю цепочку описанных выше преобразований можно проверить, предположив, что субъективные различия между цветами пропорциональны евклидовым расстояниям, представляющим эти цвета на сфере. Получив в эксперименте матрицу субъективных различий между равнояркими цветами путем их попарного сравнения, выявляются их координаты с точностью до поворота осей координат. Затем поворачивая оси координат так, чтобы они совпали с константными цветами (синим, желтым и красным), производится пересчет координат. Используя монохроматические излучения, можно построить зависимость координат от длины волны. Результаты опытов показывают, что полученные спектральные зависимости трех координат воспроизводят спектральные характеристики горизонтальных клеток трех типов: однофазной, двухфазной и трехфазной [1].

Сопоставление значений спектральных характеристик фотопических горизонтальных клеток с координатами точек цветового перцептивного пространства приводит к ряду существенных выводов.

1. Предположение о том, что субъективные различия между равнояркими цветами равны евклидовым расстояниям между точками, представляющими цвета в перцептивном пространстве, подтвердилось, поскольку на основе матрицы субъективных различий удалось воссоздать координаты цветовых точек в цветовом евклидовом пространстве.

2. Совпадение спектральных характеристик трех базисных координат со спектральными характеристиками трех типов фотопических горизонтальных клеток означает реальное участие горизонтальных клеток в цветокодировании.

3. Для полученных из матрицы субъективных различий координат цветовых точек в случае равноярких цветов оказалось справедливым соотношение, чтобы сумма квадратов координат для всех цветовых точек была близка к константе. Это подтверждает, что равнояркие цветовые точки лежат на сфере в трехмерном евклидовом пространстве.

4. Поскольку спектральная характеристика фотопической кривой видимости совпадает с длиной вектора возбуждения как функции длины волны равноэнергетических монохроматических излучений, можно заключить, что на уровне горизонтальных клеток яркость представлена длиной вектора возбуждения.

Однако на уровне горизонтальных клеток преобразование цветowych сигналов не заканчивается.

Следующей ступенью цветового кодирования можно считать биполярные клетки сетчатки. В этом звене происходит переход от кодирования яркости длиной вектора возбуждения к кодированию ее ориентацией вектора возбуждения. В результате все множество излучений видимой части спектра проецируется на сферу в четырехмерном пространстве. На уровне биполярных клеток положительная и отрицательная фазы реакций горизонтальных клеток кодируются отдельными каналами. В результате формируются шесть каналов: красный+ зеленый—; красный— зеленый+; синий+ желтый—; синий— желтый+; светлый+; темный+. В зависимости от излучения, которое падает на рецепторы, возбуждается либо четыре, либо всего два канала. Когда же действует излучение, возбуждающее два цветowych и два яркостных канала, возникает цветовой ощущение. Если возбуждаются два яркостных канала, возникает ахроматическое ощущение. Проверить эти утверждения можно методом многомерного шкалирования, исходя из предположения, что субъективные различия между разными по тону и яркости цветами также соответствуют евклидовым расстояниям между точками, представляющими цвета в цветовом евклидовом пространстве. Предъявляя попарно разные по цвету и яркости монохроматические излучения, получим матрицу субъективных различий. Интерпретируя цветowych различия как евклидовы расстояния между точками, найдем координаты этих точек и определим размерность пространства, в котором рассчитанные по полученным координатам расстояния будут близко соответствовать исходным субъективным различиям между цветами.

Результаты экспериментов показали, что все множество разных по яркости монохроматических излучений размещается на поверхности сферы в четырехмерном пространстве [1]. Это следует из того, что длина четырехкомпонентного вектора возбуждения для всех цветowych точек, рассчитанная на основе координат, полученных из матрицы субъективных различий, близка к константе. При этом спектральные характеристики базисных координат соответствуют спектральным характеристикам биполярных клеток. Проверка того, что ахроматические цвета разной яркости кодируются ориентацией двухкомпонентного вектора возбуждения, а это соответствует реакциям нейронов типа В (яркостные) и Д (темновые), ведется посредством ахроматических излучений. Эти излучения не возбуждают хроматические каналы, в результате чего четырехкомпонентный вектор возбуждения редуцируется до двухкомпонентного. Используя матрицу, полученную попарным сравнением ахроматических цветов разной яркости, и принимая, что эти субъективные различия прямо пропорциональны евклидовым расстояниям между точками, представляющими цвета в цветовом

пространстве, можно найти координаты точек. Опыты показывают, что точки размещаются на окружности, занимая один квадрант. При этом зависимость координат от яркости стимула совпадает с соответствующими характеристиками В- и Д-нейронов, которые близки соответственно синусоиде и косинусоиде.

Таким образом, все многообразие излучений видимой части спектра можно представить точками на поверхности сферы в четырехмерном пространстве. При этом евклидовы расстояния между точками прямо пропорциональны субъективным различиям.

Базис этого цветового пространства образуют два хроматических канала (представленных четырьмя попарно работающими нейронами) и два ахроматических канала. Три угла этой четырехмерной сферы соответствуют трем субъективным аспектам цветового ощущения: цветовому тону, насыщенности и светлоте.

Все множество цветов, создаваемых локальными излучениями, на уровне зрительной коры головного мозга, представлено нейронами — детекторами цвета. Сенситивная настройка нейронов — детекторов цвета определяется их синаптическими контактами. Эффективность (или вес) синаптического контакта определяется степенью влияния поступающего к нему возбуждения. Совокупность весов синапсов данного детектора образует вектор его синаптических связей. Разные векторы равны по модулю, но отличаются соотношением компонентов. Внешний сигнал генерирует в общем случае четырехкомпонентный вектор возбуждения, который параллельно воздействует на всю популяцию нейронов-детекторов. Реакция каждого детектора равна сумме попарных произведений компонентов вектора возбуждения на компоненты вектора связи. Другими словами, реакция нейрона равна скалярному произведению вектора возбуждения на вектор связи. Максимальная реакция возникает в том детекторе, вектор связи которого окажется совпадающим по направлению с действующим в данный момент вектором возбуждения. При изменении сигнала на входе вектор возбуждения меняется по направлению и максимум возбуждения перемещается по карте детекторов на тот детектор, вектор связи которого будет поллинеарен новому вектору возбуждения.

Таким образом, множество разных нейронов-детекторов образуют ту сферическую поверхность в четырехмерном цветовом пространстве, на которой представлены цвета. При этом евклидовы расстояния между точками, представляющими цвета (т. е. расстояния между детекторами), равны субъективным различиям между соответствующими цветами. Обобщая, можно сказать, что цветовое кодирование включает рецепторный уровень, на котором спектральная характеристика излучения преобразуется в трехмерный вектор возбуждения. Далее,

на уровне горизонтальных клеток происходит ортогонализация и возникает трехмерный вектор возбуждения, длина которого пропорциональна субъективной яркости. На уровне биполярных клеток путем добавления «шумящего» в темноте канала цвет кодируется посредством четырехкомпонентного вектора возбуждения постоянной длины. Наконец, на уровне зрительной коры цвет кодируется нейронами-детекторами, селективно возбуждаемыми при действии на них четырехкомпонентного вектора возбуждения. Каждому цвету соответствует свой участок на поверхности сферы в четырехмерном пространстве, представленный специфическим нейроном-детектором.

Какова эффективность цветового кодирования? Если допустить, что цвет кодирует спектральные характеристики излучения, то придется признать, что такое кодирование неэффективно. Действительно, один и тот же цвет можно получить посредством множества разных комбинаций излучения. Если бы пришлось декодировать значение цвета—восстановить по цвету вызвавшее его излучение, то такая задача была бы обречена на неудачу.

В связи с тем что условия освещения могут меняться, важнейшей характеристикой цветового зрения стала цветовая константность—свойство цветового зрения реагировать на определенное соотношение условий освещения и отраженного от поверхности светового потока, что позволяет оценить отражательные свойства поверхности.

Цветовое ощущение зависит не от отраженного светового потока, а от отражательных свойств поверхности. Для объяснения такой константности была введена ретинексная теория [3]. Ретинекс—это ретино-кортикальная система, создающая параллельно три варианта отображаемой сцены в соответствии с колбочками, максимально чувствительными к коротким, средним и длинным волнам. Основная идея ретинексной теории сводится к следующему. По мере сближения детекторов, измеряющих яркость двух точек изображения, показатели освещенности тоже сближаются, а их отношение стремится к единице. Однако это имеет место, когда детекторы находятся на участке с одинаковыми отражательными свойствами. Если же они находятся на участках, характеризующихся разными отражательными свойствами, то сигналы максимально сближенных детекторов будут соответствовать отражательным свойствам соседних участков поверхности. Согласно теории Е. Лэнда, измерение различий отраженного света в соседних точках дает информацию об отражательных свойствах поверхности. Эти операции реализуются параллельно в трех полюсах поглощения колбочек разных типов. Логарифмические характеристики колбочек позволяют заменить умножение и деление сложением и вычитанием сигналов. Каждый цвет определяется тремя отношениями, измеренными тремя ретинексными структурами.

Наличие четырех каналов цветового кодирования позволяет преобразовать ретинексную теорию, опираясь на данные нейрофизиологии. На уровне латерального колеччатого тела происходит формирование рецептивных полей, реакции которых определяются разностью сигналов в соседних участках поля зрения: отдельно для разных нейронов. Такие сигналы разности, видимо, образуют входы для детекторов цвета.

Среди цветов, вызываемых локальными в поле зрения монохроматическими излучениями, отсутствуют цвета с черными оттенками (коричневый). Их можно воспроизвести с помощью тех же монохроматических излучений, но организованных в виде комбинации участков поля зрения, разных по яркости: тестового и индуцирующего, т. е. круг, окруженный кольцами. Увеличивая яркость индуцирующего кольца, можно усиливать почернение тестового поля. Так, красное тестовое поле по мере усиления индуцирующего кольца становится темно-коричневым, а при дальнейшем увеличении яркости индуцирующего кольца — черным. Тестовое поле белого цвета под влиянием индуцирующего темнеет, пока не становится насыщенно черным. Возникает вопрос о том, какова размерность перцептивного пространства всего многообразия черно-белых цветов в условиях взаимодействия тестового и индуцирующего полей. Матрица субъективных различий между цветом тестового поля при разных значениях яркости индуцирующего кольца при обработке методом многомерного шкалирования позволила рассчитать координаты точек, представляющих эти цвета в евклидовом пространстве. Оказалось, что цвета тестового поля от белого до черного размещаются на окружности, занимая два квадранта [2].

Учитывая сказанное выше следует, что восприятие пигментных цветов также должно отвечать сферической модели с той же размерностью пространства. Вместе с тем сигналы разности должны расширить множество цветовых ощущений за счет черноватых оттенков.

Изучение пигментных цветов методом многомерного шкалирования показало, что они размещаются на сфере в четырехмерном пространстве. Черный цвет и его оттенки локализируются на сфере, охватывая дополнительные участки поверхности [2].

Следовательно, цветовое кодирование — это кодирование отражательных свойств поверхностей с использованием сигналов разности в соседних точках поля зрения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Измайлов Ч. А., Соколов Е. Н., Черноризов А. М. Психофизиология цветового зрения. М., 1989.
2. Соколов Е. Н., Измайлов Ч. А. Цветовое зрение. М., 1984.
3. Land E. H., McCain J. J. Lightness and retinex theory // J. Opt. Soc. Amer. 1971. Vol. 61. P. 1—11.



---

---

## ЦВЕТОВОЕ ЗНАЧЕНИЕ И ИЗМЕРЕНИЯ ВОСПРИЯТИЯ ЦВЕТА: ИССЛЕДОВАНИЕ ЦВЕТОВЫХ ОБРАЗЦОВ

Какие цвета самые красивые? Что различные цвета означают для различных людей и как влияют на человека? Этими вопросами давно интересовались, включая и тех, кто занимается психологией, с момента возникновения психологии как науки.

### Общие предпочтения

Имеются сотни исследований предпочтительности одних цветов другим. Большинство исследователей сходятся на том, что разница между цветами определяется их гедонистическим значением, эти различия обычно зависят от времени и места.

Однако возникают трудности, когда изменения в степени предпочтения относят к описанию используемых в данный момент цветов. Авторы часто не подозревают об этих трудностях и ссылаются на такие расплывчатые наименования цветов, как красный, синий, фиолетовый, каждое из которых обозначает очень широкую область цветовых ощущений. Конструируя цветовой мир, большинство авторов уверены в том, что призма делит проходящие лучи света на так называемый спектр. Позже, однако, помимо цветового тона, были выделены такие параметры, как яркость и насыщенность. Попытки линейно соотнести предпочитаемые значения с этими переменными привели к лучшему, но все еще неудовлетворительному описанию; именно этот вопрос мы и хотим рассмотреть.

### Коннотаты

Ассоциации, вызываемые цветами, значения цветов и т. п. иногда называют коннотатами цветов. Естественно, все оценки и значения субъективны, т. е. специфичны, для индивида. Кроме того, они зависят от ситуативных факторов. Возможно также, что отношения к цветам формируются в большой степени предыдущими знаниями и, таким образом, искусственно навязываются. Наша способность различать цвета может быть неразрывно связана с эмоциями, но мы об этом очень мало знаем. Однако существует значительная интерсубъективность, касающаяся отношений к различным цветам.

Люди совершенно конкордантны. Это, возможно, связано с тем, что цвета играют информативную роль в окружающей среде и поэтому стали общими символами для обозначения различных понятий и явлений.

Нас интересуют такие вопросы в связи с этим:

1) какова конкордантность в том, что касается коннотата цвета?

2) какие значения цвета являются общими для людей?

3) какой характер имеет корреляция между значениями и переменными цвета?

### **Интерсубъективность**

Тезис, что ассоциированные значения при восприятии цвета в большой степени совпадают, служит предпосылкой решения вопросов 2 и 3. За редким исключением, даже в ранних исследованиях отмечалось, что это условие выполняется для предпочитаемой последовательности цветов, а также для других значений помимо эмоциональной оценки. Статистическое доказательство совпадения легко получить, анализируя дисперсию [19]. Факт, что групповой средний показатель — для определенного цвета, для определенной переменной значения, в определенном контексте — обычно является константой, не означает, что интерсубъективное различие равно нулю. В работе [15] автор дал примеры ранних исследований цветовых предпочтений в свете дифференциальной психологии. В дальнейшем опишем кросскультурное исследование (греки — шведы) и сравнения между профессиональными группами (неспециалисты, профессиональные дизайнеры, студенты-архитекторы).

Другая релевантная, но часто игнорируемая позиция состоит в том, что степень интерсубъективного совпадения (конкордантности) меняется в различных цветовых областях. Попытка проанализировать это также включена в настоящую работу. Мы также изучим и прокомментируем, как величина дисперсии зависит от типа используемой переменной.

### **Факторы значений**

На заре человеческой цивилизации люди поняли, что цвета имеют определенные различные значения. Цвет и цветовая символика играли большую роль в различных ситуациях.

Современная психология и семиотика используют концепт коннотативных измерений.

Причина, почему первые психологи-экспериментаторы исследовали прежде всего предпочитаемый порядок цветов, заключалась вероятно, в том, что такого рода одномерность проще в употреблении. Затем, используя различные методы, категоризовали предметные ассоциации, вызываемые различными цветами, и выявили другие значения помимо оценочных.

Позже С. Осгуд ввел понятие семантического дифференциала как метода сбора данных, который хорошо подошел к ранее использованным методам факторного анализа [14].

Затем были проведены по общей схеме несколько исследований цветовых коннотативных факторов: определенное число испытуемых оценивало определенное число цветов, используя разнообразные биполярные шкалы (например, теплый—холодный), *SD*-шкалы. Результирующий объем данных  $S_s \times \text{цвета} \times \text{шкалы}$  сокращается до нахождения средних величин по испытуемым. Из матрицы средних значений, шкалы  $\times$  цвета, подсчитывают для различных цветов корреляции между шкалами значения. Если шкал много, то корреляционную матрицу трудно определить, и поэтому размерность матриц уменьшается при помощи факторного анализа, что позволяет обнаружить значимую структуру.

Так, например, С. Осгуд и его коллеги вывели три, видимо, перцептивно повторяющихся фактора — «Оценивание», «Активность» и «Сила» — в то время как другие (Б. Райт, Л. Рейвотер) отметили такие факторы, как «Радость», «Хвастовство», «Мощь», «Теплота» и «Элегантность» [19, 14].

В работе [10] показано, что четыре фактора объясняют все разнообразие, полученное в эксперименте. Это «Сила», «Приятность», «Теплота» и «Обыкновенность».

Сходство между многими фактор-аналитическими исследованиями можно выявить следующим образом.

1. Оценочное измерение красивый—уродливый—это «эмоциональная значимость». Можно допустить, что это фактор, совпадающий во всех исследованиях, посвященных цветовым предпочтениям. Концепт величины предпочтения, таким образом, может рассматриваться как специальный случай коннотации.

2. Фактор, который назывался по-разному: «Сила», «Эффективность», «Возбуждение» и т. п., показывает, что число семантических переменных ковариантно с меняющимся цветом — силой (насыщенность, хроматичность), по крайней мере на порядковом уровне. Форма функции, естественно, зависит от того, какая из множества цветовых структур используется. Среди перечисленных выше факторов есть слова, имеющие как описательное, так и интерпретирующее значение. «Сила» описывает цвета, «Эффективность» — атрибут цвета в переносном смысле, а «Возбуждение» — эмоциональное состояние, вызванное цветом. Такое смешивание различных уровней, описывающих цвет, может быть интерпретировано как свидетельство очевидности и силы отношений между ними. Это поддерживается анализом интерсубъективности шкал, которые принадлежат к этой категории (т. е. интерсубъективность велика).

3. Мощь, или фактор силы, который, согласно С. Осгуду и его последователям, является общим семантическим

измерением, также соотносится с цветом. Он является ортогональным к вышеописанному фактору «цвет — сила».

4. Связи между цветами и концептами теплового и холодного, вероятно, универсальны и, если сходные семантические шкалы включены в анализ, то будет логично, чтобы они образовали свой собственный фактор, например температурный.

Многие авторы ошибаются, делая вывод, что факторы, полученные в ходе таких цветовых семантических исследований, полностью раскрывают измеримость и структуру значений цветов. Результат анализа, например, зависит от образца семантических шкал (зависимые и т. п.). Единодушие исследований объясняется, вероятно, тем фактом, что наиболее обычные и атрибутивные концепты, связанные с цветами, соответствуют в большой степени общему факторному пространству, описанному выше. Не составит труда представить другие значения, которые не подпадают под предполагаемые ограничения. Если потребовалась более детальная картина факторной структуры всех возможных цветов — коннотатов, следовало бы проанализировать большое число семантических переменных, полученных другими, отличными от *SD*, методами. Однако при использовании таких переменных возникает опасность, что будет включено в анализ большое число низкорелевантных переменных, которые довольно трудно оценить.

Наборы факторов могут послужить отправными точками для дальнейших исследований, например при изменениях, которые возникают, когда цвета появляются в других контекстах, а не как изолированные образцы цветов.

### **Отношения между значениями и цветами**

Наиболее суровая критика прежних исследований цветовых предпочтений и ассоциаций относилась к явному игнорированию разнообразия и систематики цветовых восприятий. Создается впечатление, что «мир цветов» состоит только из «всех» [7] цветов радуги (спектра), а изменения в цвете эквивалентны изменению в оттенке. Ту же критику, хотя и в меньшей степени, можно отнести и к самым последним исследованиям коннотации. Здесь ученые проявили большую осведомленность о сложности мира цветов и о том, что изменения значений связаны с цветовыми переменными цветового тона, хроматичностью (насыщенностью) и яркостью. Однако почти все без исключения цветовые образцы используются из книги цветов Манселла и всегда без комментариев, как будто этот атлас цветов и его параметры представляют единственно верную модель описания цветов. Однако это не так. Существует множество цветов, которые дают порядок цвета, а модели основаны на современных теориях цветового восприятия.

При исследовании семантической факторной структуры цветов, описанной ранее, выбор цветов, однако, имеет меньшее значение и дает достаточно гетерогенный образец цветов. Не годится и выбор «правильного» атласа цветов, как априори поставленное условие описания отношений между цветами и их значениями; некоторые отношения между стимульными и ответными переменными могут всегда быть количественно выражены.

Необходимо взвесить как практические, так и теоретические соображения, чтобы решить, какие эталонные системы являются лучшими для понимания и объяснения этих отношений.

Последние исследования коннотатов попытались объяснить отношения между цветом и значением с помощью линейных корреляционных измерений. Не преуспев в использовании данных по этому методу, авторы этих исследований прибегли к словесному описанию отношений, входя тем самым в область терминологии цвета, где полно противоречий (что вовсе не базируется на индивидуальных особенностях видения цветов).

Модель для описания данных отношений строится следующим образом: значение шкалы семантической переменной регистрируется в используемой графической цветовой модели, в месте расположения данного цвета. Участки с одинаковым значением могут быть после этого соединены линиями. Исходя из того, что изменения являются достаточно систематическими и переходными, появляется значимый паттерн. Метод был использован А. Хардом (1960) и Л. Сивиком (1970), а анализ литературы показал, что Г. Гилфорд и П. Смитт использовали ту же идею [3, 12, 15]. Однако последующее исследование было ограничено эмоциональными значениями цветов, которые были описаны в атласе Манселла как графически построенные «изогедонистические» кривые. В исследовании А. Харда были использованы различные шкалы, а в более широком исследовании были составлены «изосемантические карты» для 26 различных переменных значений. (Был использован аналог метеорологического понятия, «изобар», которое заменено здесь более правильным «изосемантические линии».) Указанный выше метод дает возможность адекватно изолировать и изучать криволинейные функции отношений между восприятиями и соответствующими значениями. Разумеется, можно дать уравнения для этих функций (Г. Стэмм, например, математически проанализировал ранние данные Г. Гилфорда об эмоциональной значимости цветового тона), но эти функции служат только для этой цели и вряд ли способствуют пониманию проблемы [18].

Знание различных типов цветовых параметров дает возможность наметить отношения, которые дадут лучшие объяснения и тем самым картину цветовой систематики. Кроме

цветовых параметров, которые могут служить мерами «полного» мира цветов (цветовое тело), необходимо также изучать так называемые вторичные характеристики цвета. Коричневый и оранжевый, например, имеют много специальных ассоциаций, которые вызывают неравномерные соотношения в традиционном цветовом теле.

В настоящем исследовании цвета относятся к натуральной системе цвета, которая является не просто атласом, но моделью для описания цветов, основанной на Теории оппонентных цветов Геринга [12].

Дадим краткое изложение системы NCS (Натуральной цветовой системы), согласно Герингу—Харду.

1. Мир цветов означает цветовое восприятие.

2. Существует шесть элементарных (чистых) цветовых перцептов: 4 хроматических: желтый ( $Y$ ), красный ( $R$ ), синий ( $B$ ) и зеленый ( $G$ ), 2 ахроматических: белый ( $W$ ) и черный ( $S$ -темный).

3. Все другие цветовые перцепты относятся к этим 6 воображаемым цветовым образцам по степени визуального сходства. Эти сходства называются элементарными цветовыми атрибутами, а именно: белизна ( $W$ ), чернота ( $S$ ), желтизна ( $Y$ ), краснота ( $R$ ), синева ( $B$ ), зелень ( $G$ ).

4. Отношения могут быть выражены:

$$S + W + Y + R + B + G = 100.$$

$Y + R + B + G$  называют хроматичностью ( $= C$ ).

Цвет, где  $C = 100$ , называется максимальным хроматическим цветом ( $C$ ). Ни один цвет не может одновременно обладать и желтизной, и синевой, и краснотой, и зеленью.

5. Перцептивные отношения могут быть показаны в трехмерной модели, называемой Цветовым телом, с его двумя проекциями: Цветовой треугольник и Цветовой круг.

6. Эта модель дает возможность давать цветовые обозначения. NCS использует три параметра:

чернота  $S$ —степень сходства с воображаемым черным цветом, хроматичность  $C$ —степень сходства с воображаемым хроматическим цветом, оттенок  $\Phi$ —отношение в степени сходства двух хроматических элементарных цветов.

Целью исследования было изучение некоторых релевантных семантических переменных и измерений и соотнесение их с цветовыми измерениями.

## Метод

Для определения отдельных цветовых образцов были использованы семантические дифференциалы с 7-ступенчатыми биполярными шкалами, от теплого к холодному.

Эксперименты проводились индивидуально, и каждый субъект сидел в так называемом световом ящике с тремя стенами:

фронтальной и боковыми, окрашенными в «нейтральный серый» цвет ( $Y_{CIE} = 56$ ). Цветовой образец помещали перед субъектом на наклонном белом картоне, угол наклона которого был выбран таким образом, чтобы свет падал из верхнего источника света (CIE—источник света В) под углом  $45^\circ$  к образцу, чтобы избежать резкого света и чтобы угол зрения субъекта был под прямым углом к поверхности образца.

### Переменные

Шкалы значения были ограничены 26 и были субъективно выбраны на основе различных критериев, включая общий интерес, релевантность и точность. Некоторые шкалы избирались для сравнения со шкалами в ранних исследованиях, а другие — для исследования некоторых общих стереотипных понятий о цветах. Шкалы приведены в табл. 3.

### Цвета

Число образцов цветов было ограничено 71. Следующие принципы определили выбор цветов: хорошее заполнение четырех треугольников, соответствующих элементарным цветовым тонам ( $Y, R, B, G$ ), четыре образца из каждого из среднетоновых треугольников ( $YR, RB, BG, GY$ ); один высоко насыщенный образец из оттенков восьмой части круга и пять образцов из шкалы  $W-S$  (белый—черный).

### Испытуемые

Испытуемые были выбраны из прохожих на деловой улице в Стокгольме в соответствии со схемой

		AGE		
		1	2	3
W	EI			
	EII			
M	EI			
	EII			

Женщины ( $W$ ), мужчины ( $M$ ), образование высшее, включающее среднее ( $EI$ ),  $EII$  образование ниже среднего, возраст по группам:  $15-22=1$ ,  $23-39=2$ ,  $40=3$ .

Каждый цветовой образец был оценен 24 испытуемыми, двумя из каждой категории. Некоторые цвета представлялись дважды, чтобы проверить достоверность и постоянство оценок.

## Результаты

Источники вариации.

Как упоминалось, основной массив описываемых и анализируемых данных трехмерный: субъекты  $\times$  цвета  $\times$  шкалы. Различия между значениями, которые не определяются различием в ошибках, могут быть отнесены за счет расхождений, вызванных каждым из указанных выше измерений и за счет взаимодействий между ними. Поэтому случайные ошибки и несоответствия в экспериментальных данных относительно малы, по крайней мере они не нарушают анализа на групповом уровне.

### Основные различия значений между цветами

При исследовании очень важно было определить, какое именно значение люди в общем придают различным цветам. Массив данных был соответственно сокращен до матрицы значений (помимо субъектов) цвета  $\times$  шкалы. Разброс вариаций между этими понятиями показывает, что цветовые различия действительно влияют на шкалы значений. Если представления людей полностью отличаются от сказанного наугад, то вариаций не будет, что не характерно для данного случая. Однако степень соответствия между испытуемыми (субъектами) все-таки меняется по разным причинам, которые рассмотрим дальше.

### Факторный анализ шкал

Степень корреляции между 26 шкалами значений 71 цвета была рассчитана как произведение корреляционных моментов. Результирующая матрица произведения шкал была проанализирована с помощью метода основных компонентов, где полные изменения были факторизированы. Полученные в результате эталонные оси чередовались с помощью метода varimax, который сохраняет структуру ортогонального фактора (некоррелированных факторов).

Для проверки данные были пересчитаны с помощью метода, который только разлагает на множители общность, т. е. общее расхождение извлеченных факторов (в этом случае оцененных с помощью SMG-квадратных многократных корреляций). При косвенной ротации к простой структуре появляется факторный образец, который незначительно отклоняется от первого при анализе ортогонального основного компонента. С учетом этого и явного сходства результатов с ранними сравнимыми исследованиями, проведенными в других западных странах, картина фактора рассматривается как весьма стабильный, хотя и довольно грубый путь суммирования интеркорреляций используемых семантических переменных (табл. 1).



Таблица 1

Собственные значения первых факторов  
и соответствующие пропорции общего расхождения.  
Критерий числа факторов—собственное значение 1,0

Фактор	I	II	III	IV	V	VI	VII
Собственное значение	10,95	6,53	2,65	1,88	0,44	0,33	0,20
Кумулятивная пропорция общей вариации	0,42	0,67	0,77	0,85	0,86	0,87	0,88

Таблица 2

Корреляционная матрица фактора

Фактор	I	II	III
I	.14		
II	.10	.12	
IV	.26	.05	.01

Табл. 2 показывает, что более половины переменных являются совершенно «ясными», т. е. входят только в один фактор. Эти шкалы также имеют довольно высокую общность. Другие переменные демонстрируют сложный факторный паттерн с нагрузкой (обычно) на два фактора. Наиболее заметное скопление состоит из переменных, которые составляют факторы I и II.

Интерпретация факторов уже была кратко изложена и еще будет детально рассматриваться дальше в связи с их отношениями с цветовыми измерениями (табл. 3).

Таблица 3

Упорядоченные шкалы согласно факторным весам

Переменная	Фактор	Фактор				
		I	II	III	IV	$h^2$
Крикливый—сдержанный	3	.95				.95
Возбуждающий—успокаивающий	10	.93				.92
Расслабленный—напряженный	24	.93				.82
Бесстыдный—скромный	21	.87				.84
Вульгарный—воспитанный	13	.85				.91
Стимулирующий—хмурый	16	.82	.37			.94
Активный—пассивный	20	.76	.42			.91
Веселый—серьезный	4	.67	.51			.96
Сложный—простой	15	.80	.47			.78
Современный—старомодный	7	.64	.55			.88
Молодой—старый	22	.61	.58			.92

Переменная	Фактор	Фактор				
		I	II	III	IV	$h^2$
Лето—зима	2	.43			.52	.78
Позитивный—негативный	11		.88			.89
Непривлекательный—привлекательный	4		.88		.82	
Красивый—уродливый	9		.87			.93
Здоровый—больной	12		.83			.89
Приятный—неприятный	1		.86			.86
Гигиеничный—негигиеничный	6		.90			.88
Дружелюбный—враждебный	10		.81		.39	.79
Энергичный—ленивый	18			.73		.69
Дорогой—дешевый	23			.74		.68
Мужской—женский	14	.42		.64		
Безопасность—беспокойство	26		.45	.62		
Теплый—холодный	17				.89	.92
Сухой—мокрый	8				.83	.68
Близко—далеко	25		.47	.46	.51	.80

### Изменения значения в цветовом пространстве

Во введении было сказано, что наиболее естественным описанием отношений между значениями и восприятием цветов будет прямое закрепление современной оценки значения (например, средние показатели суждений) на графической цветовой модели (цветовое тело на перцептивно определенной позиции каждого используемого цветового образца). Когда изменения значения оказываются разумно систематическими, то можно с помощью интерполяции начертить «изосемантические линии», связывающие точки равных оценок (значений).

Чтобы иметь возможность интерпретировать обобщенные изосемантические паттерны, читатель должен быть знаком с графическим представлением цветовой модели и быть способен представить, как цветовые перцепты меняются внутри нее.

Первоначально графы с изосемантическими линиями были поделены с помощью 26 шкал на 4 элементарных треугольника цветовых тонов.

В цветовых треугольниках шкалы факторов вписаны в позицию каждого цвета. Шкала фактора показывает влияние цвета на фактор, выраженное в  $z$ -шкалах, например 71 цвет-0, а стандартное отклонение -1,0. Исходя из этой информации, читатель сам может наложить собственный критерий значения, относящийся к различиям между оценками—доверительный

Фактор I  
Возбуждение

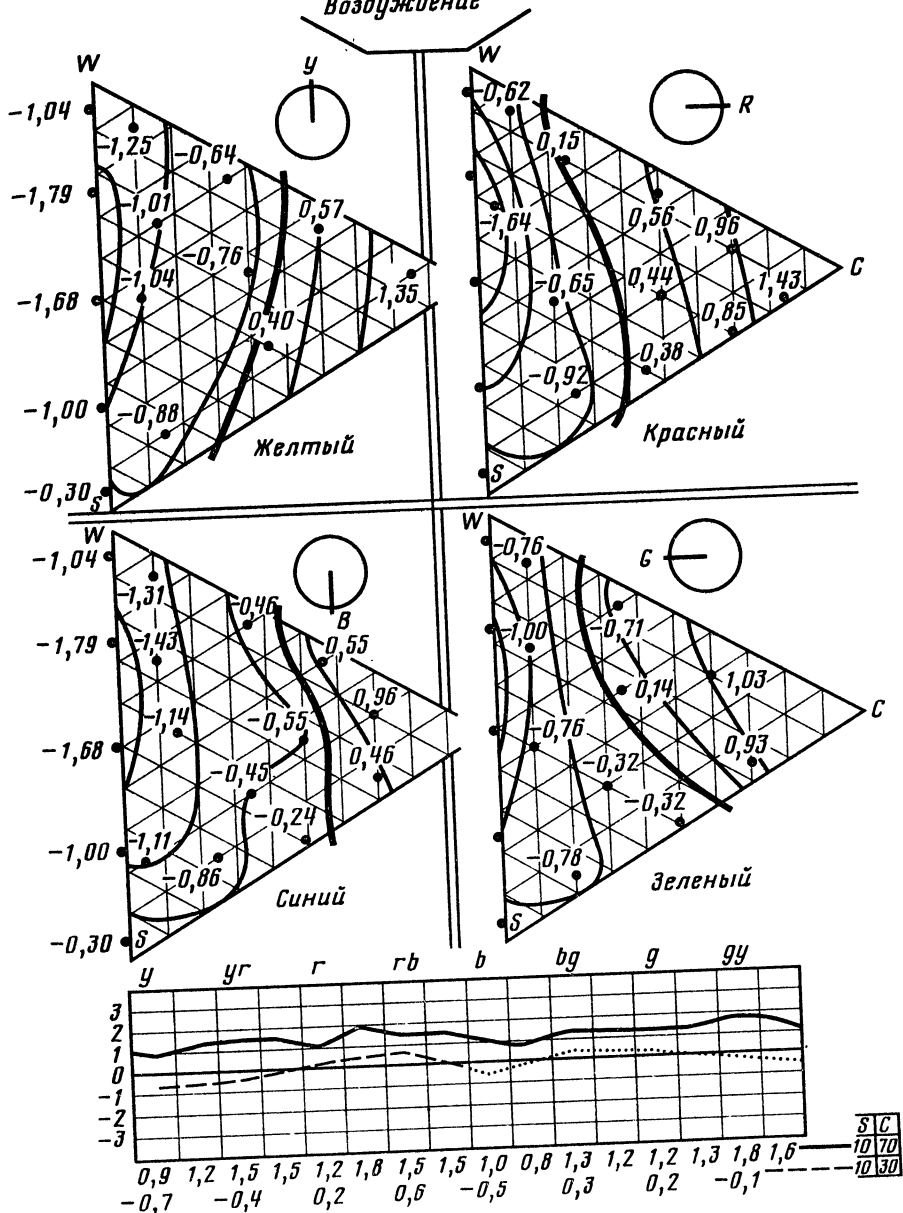


Рис. 1. Исосемантические карты, основанные на факторных оценках для фактора I

Фактор II  
Оценка

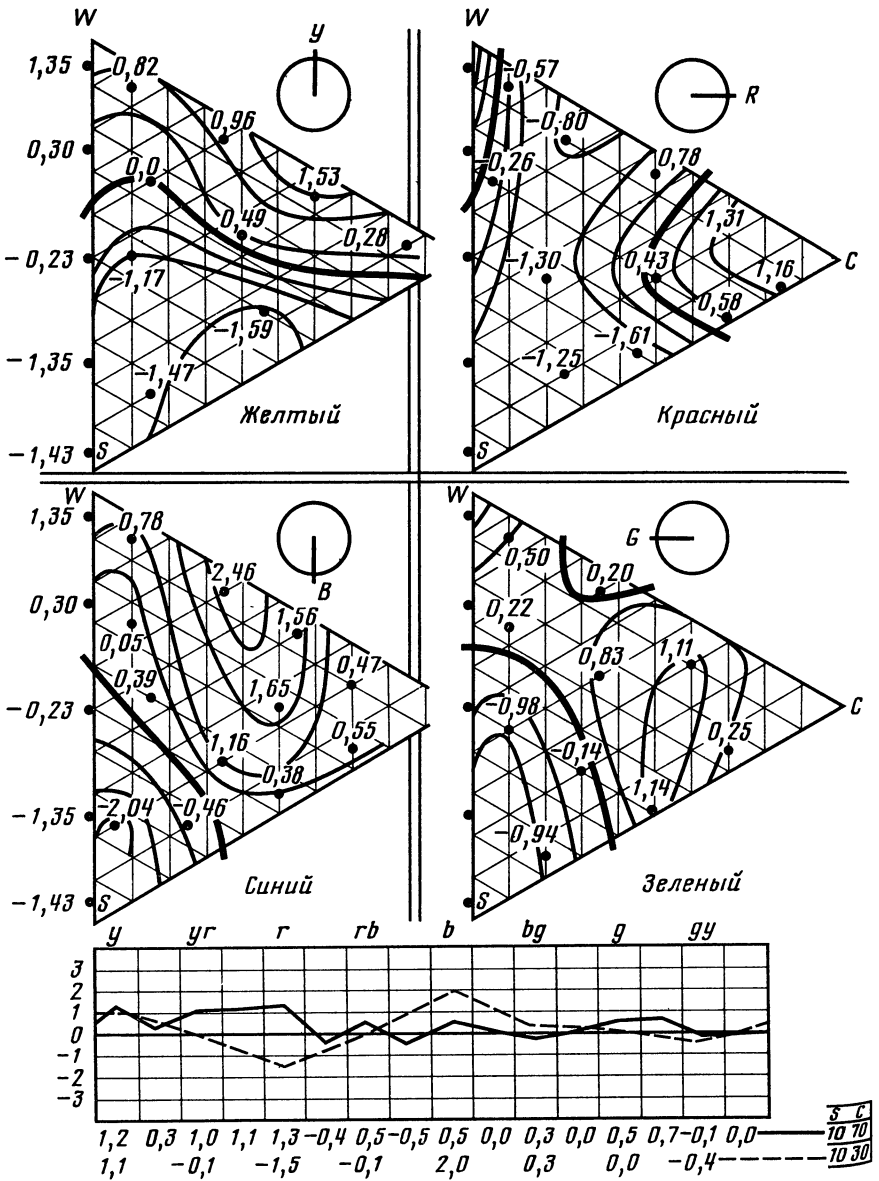


Рис. 2. Исосемантические карты, основанные на факторных оценках для фактора II

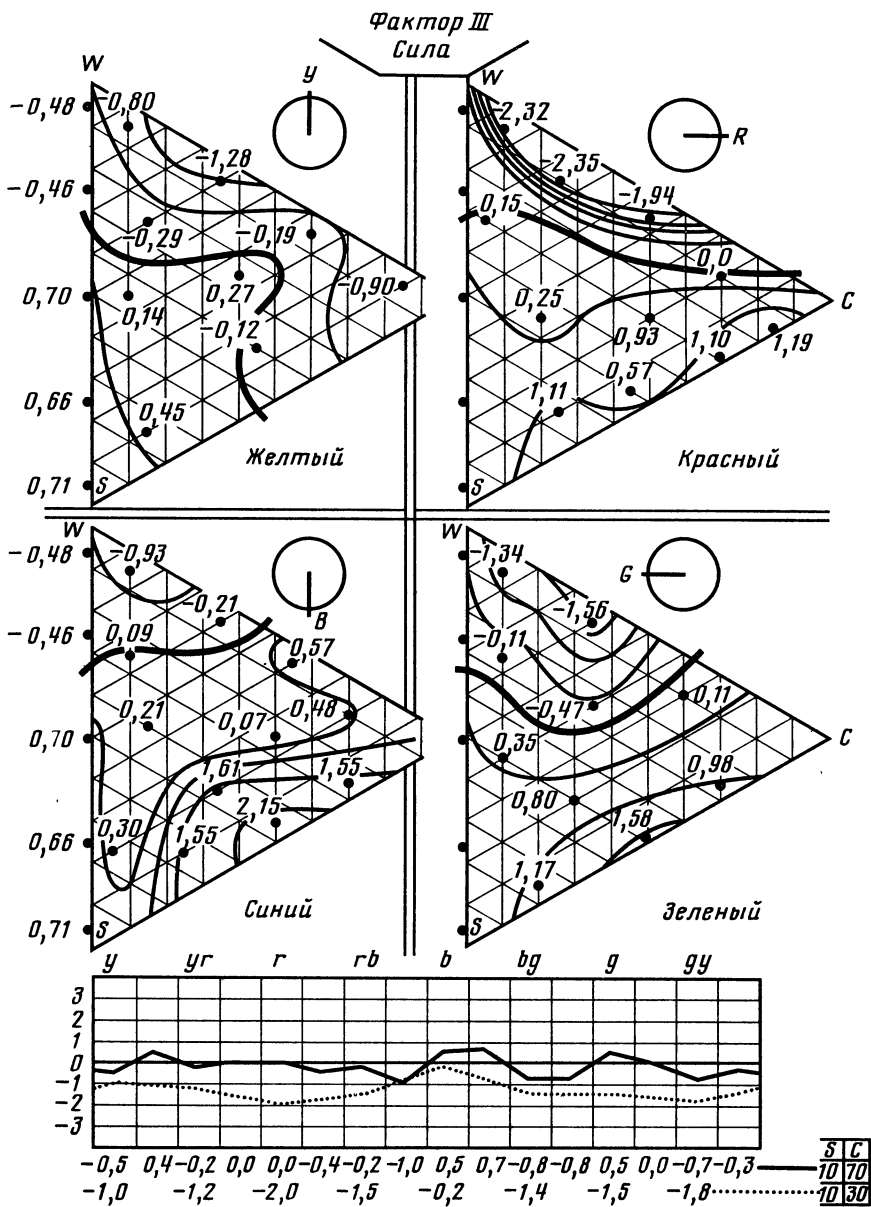


Рис. 3. Исосемантические карты, основанные на факторных оценках для фактора III

Фактор IV  
Температура

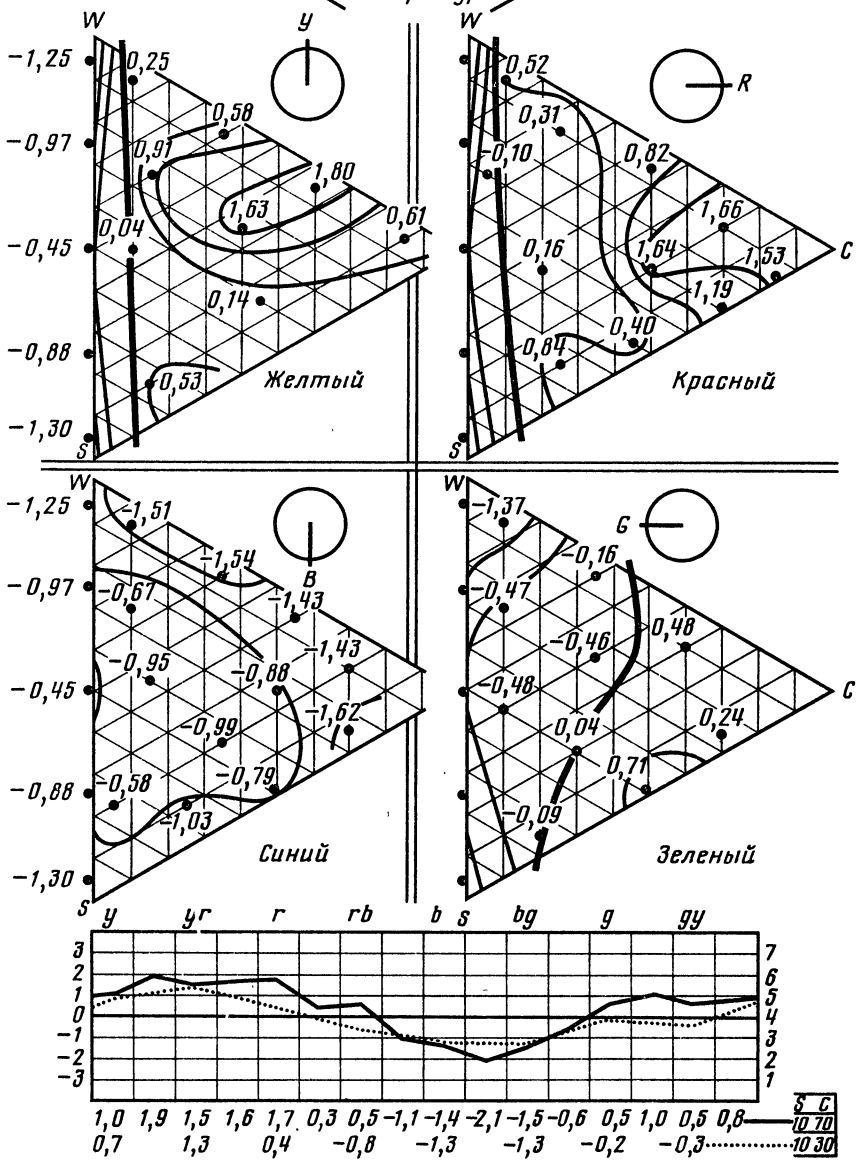


Рис. 4. Изосемантические карты, основанные на факторных оценках для фактора IV

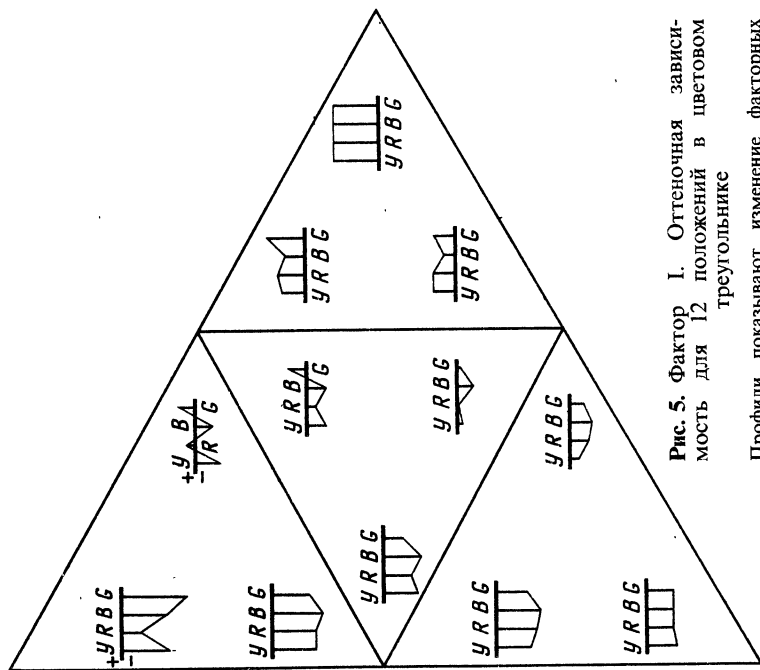


Рис. 5. Фактор I. Оттеночная зависимость для 12 положений в цветовом треугольнике

Профили показывают изменение факторных оценок по 4 оттеночным позициям (желтый, красный, синий, зеленый). Положительные значения — высокое возбуждение; отрицательные значения — низкое возбуждение

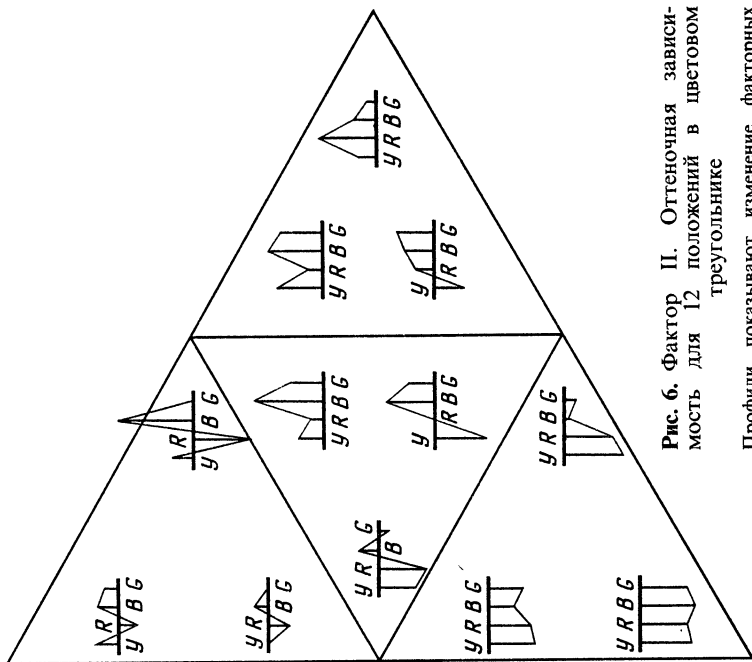


Рис. 6. Фактор II. Оттеночная зависимость для 12 положений в цветовом треугольнике

Профили показывают изменение факторных оценок по 4 оттеночным позициям (желтый, красный, синий, зеленый). Положительные значения — высокая оценка. Отрицательные значения — низкая оценка

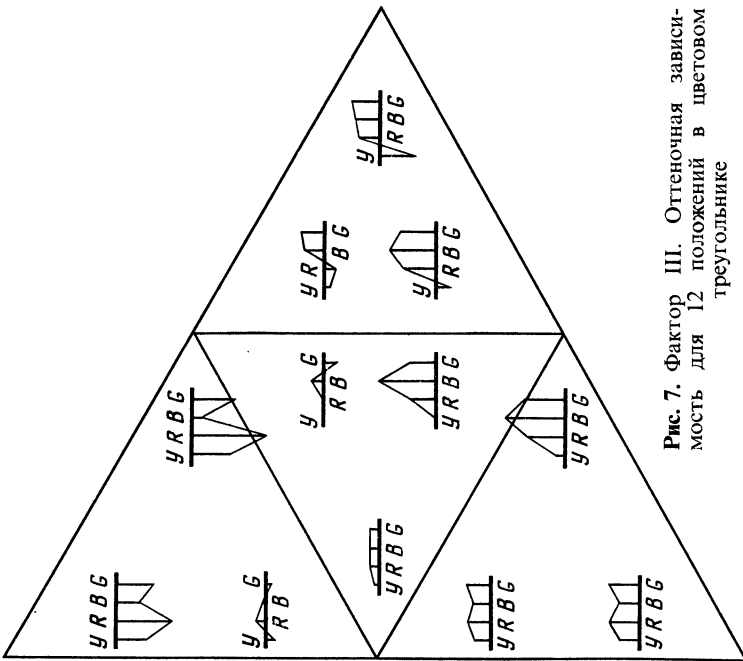


Рис. 7. Фактор III. Оттеночная зависимость для 12 положений в цветовом треугольнике

Профили показывают изменение факторных оценок по 4 оттеночным позициям (желтый, красный, синий, зеленый). Положительные значения — большая сила; отрицательные значения — небольшая сила

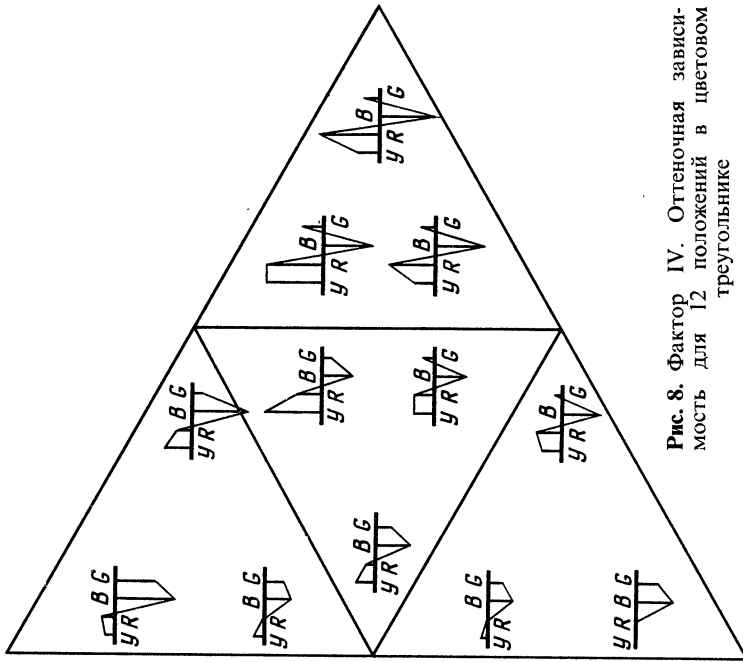


Рис. 8. Фактор IV. Оттеночная зависимость для 12 положений в цветовом треугольнике

Профили показывают изменение факторных оценок по 4 оттеночным позициям (желтый, красный, синий, зеленый). Положительные значения — высокая температура; отрицательные значения — низкая температура



интервал на уровне 0,05, например, будет колебаться  $\pm 0,22$ ,  $z$ -единицы.

Диаграммы внизу тех же приложений показывают изменения для обеих позиций чернота/белизна ( $-S/W$ ) только по оттенку, вокруг цветового круга.

Чтобы получить более точный анализ зависимости цвета, рис. 5—8 показывает профили интерполированных оценок для 12 различных позиций в цветовом треугольнике. Отметим, что оценки относятся только к элементарным цветам  $Y$ ,  $R$ ,  $B$  и  $G$ . Эти диаграммы содержат ту же информацию, что и изосемантические графики рис. 1—4, в которых направления линий иллюстрируют систематические изменения внутри треугольников, тогда как профили на рис. 5—8 дают информацию об абсолютных величинах каждой позиции, например выше или ниже нуля. Кроме того, рис. 5—8 дают картину зависимости цвета, меняющейся как между позициями в треугольнике, так и между факторами.

Помимо этого, для интерпретации линейных корреляций между шкалами факторов цветов и их воспринимаемым объемом белизны, черноты, желтизны, красноты, синевы и зелени, корреляции рассчитываются между факторными шкалами и их параметрами, а также между факторными шкалами и величиной отражения ( $Y_{\text{отр}}$ ). Корреляции представлены в табл. 4.

В целом можно констатировать, что описания значений и их отношения к цветам часто двусмысленны и неполны, если допускается линейность. Это отмечается не только потому, что существует много правильных методов описания изменений, но и потому, что цветовые качества, например, коричневый, не линейно относятся к общим цветовым параметрам. Ранее графы были построены для каждой из семантических постоянных, что адекватно способу нахождения специфических образцов цветовых оттенков. В данной работе этим пришлось пренебречь, чтобы привести возросшую ясность и надежность к описанию факторного уровня.

Таблица 4

Корреляция произведений момента между факторными шкалами и воспринимаемыми цветовыми параметрами, согласно NCS

Фактор	Обозначения цвета *							
	$Y$	$R$	$B$	$G$	$W$	$S$	$C$	$Y_{\text{отр}}$
I	-.48	-.61	-.22	-.61	.51	.37	-.86	.16
II	.24	.34	.45	.13	.09	-.56	.44	.28
III	-.09	.15	.33	.22	-.65	.58	.17	-.74
IV	.38	.52	-.59	.16	-.22	-.22	.35	.00

\*  $Y$ —желтизна,  $R$ —краснота,  $B$ —синева,  $G$ —зелень,  $W$ —белизна,  $S$ —чернота,  $C$ —хроматичность,  $Y_{\text{отр}}$ —отражение, освещенность.

Далее будет представлено более детальное описание содержания четырех факторов. Читателю следует обращаться к изосемантическим картам, приведенным на рис. 1—4.

### **Интерпретация факторов и ковариантность с цветовыми параметрами**

Фактор I. Возбуждение (рис. 1).

Этот семантический фактор можно назвать цветоописательным. Результаты предлагают несколько сюрпризов. Возрастающая хроматичность дополняет оттенки крикливости, возбуждения, напряжения и других атрибутов, соответствующих факторной матрице в табл. 3. Линейная корреляция (табл. 4) является наивысшей, установленной между факторами и любым цветовым параметром. Отдельные переменные, например 3, 10, 16 и 20 показывают еще более высокие корреляции с параметрами хроматичности.

Эта корреляция, однако, скрывает систематическое отклонение, которое, согласно изосемантическим графикам, является минимальным возбудителем-коннотатом на середине оси серого цвета (серый—максимум). Как белый и черный, так и все другие цвета воспринимаются менее скромными, чем серый. Понятие «серости» в большинстве языков совпадает со значением, противоположным возбуждению. Очевидно, что «линии равной серости» не параллельны так называемым осям серого (для которых более адекватной была бы переменная серый—белый, указывающая концы непрерывной шкалы вместо неопределенно ограниченной центральной точки). Ценным было бы исследование, относящееся к восприятию серости, например, в NCS. Р. Эванс рассматривает серость как дополнительную цветовую переменную, а его соображения были подтверждены на строительных исследовательских станциях в Англии [1].

Изменение фактора I по оттенку невелико, что видно из рис. 5, а это говорит о том, что красный, оранжевый и желтый не воспринимаются как более возбуждающие, крикливые, активные и т. д., чем зеленые или синие (при сравнимой хроматичности). Этот простой факт, который также был показан в ранних исследованиях, противоречит общим стереотипным понятиям об этом дополнительном аспекте цветов; даже профессиональные дизайнеры считают красный возбуждающим в отличие от зеленого, который считается успокаивающим. Настоящие результаты базируются на оценке реальных цветов, а неправильное представление, касающееся зависимости цвета от измерения значения, может, вероятно, быть объяснено тем, что люди, говоря о возбуждающих цветах, представляют сильный (возбуждающий) красный противоположным слабому (скромному) синему и зеленому. Это, в свою очередь, объясняется тем, что некогда сильные зеленые и синие пигменты были редкими, тогда как сильные желтый и красный пигменты были более привычными.

Фактор II. Оценка (рис. 2).

Это, вероятно, наиболее интересное измерение цветовой семантики. Какие цвета являются самыми красивыми или самыми неприятными, отвратительными или милыми? Что такое любимые цвета?

Изосемантические образцы на рис. 2, синтез образцов оценочных шкал, убедительно показывают, как небольшая ковариантность с обычными цветовыми параметрами может быть объяснена линейными отношениями, особенно если говорить в общем обо всем цветовом теле. Самая большая корреляция (табл. 4) показывает, например, что только 30% «оценочной вариации» могут быть приняты в расчет при изменении черноты. Четыре элементарных цветовых треугольника (рис. 6) дают четыре различных и характерных картины. Образцы соответствующих оттеночных треугольников в окружении не могут быть с точностью предсказаны с помощью данного исследования. Это можно сделать, однако, с помощью вышеупомянутого исследования [3], в котором определили не менее 316 цветовых стимулов (используя только одну переменную по сравнению с 26 семантическими шкалами в настоящей работе). Субъекты оценили цвета по 10-ступенчатой шкале от 0—наиболее неприятный, до 10—наиболее приятный.

«Изогедонистические карты» Г. Гилфорда и П. Смита и изосемантические образцы фактора II для сравнимых цветовых треугольников сходны—отклонения могут быть отнесены к различиям в эталонных системах (соответственно Манселл и NCS), а также к тому, что исследование делает отличие образцов цвета (хотя здесь и незначительная разница) для мужчин и женщин.

Совпадение между исследованиями еще раз подчеркивает уже упомянутую стабильность общих средних предпочитаемых оценок отдельных цветовых стимулов.

Анализ структуры паттерна повышает значение так называемых качеств вторичных цветов. Черные участки  $Y-UR-R$ -квадранта представляет большое число различных цветов, которые все обозначены как коричневые.

При исследовании изолированных цветов коричневые оцениваются менее высоко относительно тех цветов, которые менее темные. Низкая оценка черноты также отмечается на зеленых и синих участках, но здесь необходимо идти дальше в направлении черного, чтобы обнаружить те же низкие оценочные показатели. Другая заметная конфигурация паттернов для всех оценочных переменных также показывает, как нечерный участок получил низкую оценку (между белым и максимальным цветом в красном цвете). Эта часть цветового мира состоит из цветов, называемых розовыми, красными и их синонимами. Соответствующие участки (например, с теми же значениями  $S/W$ ) в оттенках синего или желтого оцениваются чрезвычайно высоко, что отмечено пунктирной линией

на нижней диаграмме (рис. 2), показывающей изменения цветов для позиций  $S=10$ ,  $W=60$ ,  $C=30$ .

Сплошная линия на той же диаграмме (рис. 2, нижняя часть) показывает, что положение ближе к цветовому максимуму ( $S=10$ ,  $W=10$ ,  $C=70$ ) имеет только небольшие колебания оценки по четырем оттеночным переменным.

Факт, что самая высокая и самая низкая оценка по всей кривой значительно отклоняются одни от других, однако это можно объяснить ошибкой — шумом в определении стимулов. Недостаточная гетерогенность субъектов также может дать толчок к меньшему смещению паттернов особенно и потому, что интерсубъектный разброс больше в оценочных шкалах по сравнению с другими менее противоречивыми дополнительными цветовыми значениями. Диаграмма оттенков для фактора II, подтвержденная в [3], показывает, что работы, которые за многие годы установили общий порядок предпочтения различных «цветов» (реальные оттенки) — синий, красный, зеленый, фиолетовый, оранжевый, желтый..., вероятно, также изменили свои цветовые стимулы на другие. Исходя из изосемантических карт (рис. 4), можно сделать вывод, что любой «синий» имеет наибольший шанс занять верхнюю часть оттеночного списка, поскольку больший участок положительно оцененных цветов находится в этом оттенке. Рис. 6 показывает профили значений четырех элементарных оттенков для 12 различных позиций для фактора II. Кроме того, показано, как оттеночная зависимость меняется в соответствии с хроматичностью, белизной и чернотой при сложном взаимодействии, которое может быть приписано качествам вторичных цветов, когда они картированы.

Фактор III. Сила (рис. 3).

В табл. 4 показано, что линейная ковариантность между этим фактором и белизной составляет —.65 при черноте —.58 и при яркости —.74. Эта картина становится более ясной при изучении изосемантических треугольников для фактора III. Здесь фактор силы меняется, чтобы стать зависимым от черноты в желтом оттенке. В красном изосемантической линии сместились между зависимостью от черноты и белизны. В синем участке вес силы сместился еще дальше в сторону (негативную) зависимости от белизны, при максимальной силе в темно-синих цветах (близко к нулю белизны) в центре линии между черным и максимальным цветом. Отметим, что наиболее синие цвета, за исключением наиболее светлых, имеют силу z-шкал, превышая нулевое значение.

В зеленом крайний 0 сместился к черному, но в других отношениях паттерн сходен с паттерном в синем участке.

Описанные перемещения паттернов между элементарными оттеночными треугольниками показаны также в табл. 5, где даны корреляционные коэффициенты для каждого оттенка.

Таблица 5

Корреляции произведения момента между  $f$ -источником (фактор III) цветов и их белизной ( $W$ ) и чернотой ( $S$ ) для каждого из четырех элементарных оттенков

Цвет	Оценка фактора	Оценка фактора
Желтый (N=10)	.81 **	-.44
Красный (N=11)	.68 *	-.84 **
Синий (N=12)	.53	-.85 **
Зеленый (N=10)	.79 **	.90 **

\*  $p=0,1$ , \*\*  $p=0,5$

В общем, если судить по всем оттенкам, минимальная «сила», наверно, располагается где-то на нулевой линии черноты. Максимальная «сила» для красного-синего-зеленого (но не желтого) находится на нулевой линии белизны. Это еще раз указывает на то, что «средние цвета» между  $C$  и  $S$  могут обладать специальными характеристиками, аналогичными средним цветам, которые называют оранжевым (между  $Y$  и  $R$ ), фиолетовым (между  $R$  и  $B$ ) и серым (между  $W$  и  $S$ ).

С учетом ковариантности в оттеночном круге дополнительные коннотаты силы, также зависят от взаимодействия с другими цветовыми параметрами  $W$ ,  $C$  и  $S$ , что четко показано на рис. 7. Во всех четырех оттенках профили меняются соответственно их положению в треугольнике. Этот граф также иллюстрирует «нейтральный пояс» цветов, значения силы которого близки к нулю.

Фактор IV. Температура (рис. 4).

Оценки субъектов о теплых и холодных цветах были собраны в шкалу теплый—холодный, вдоль которой цвета размещены в своих специфических позициях. Как и предсказывалось, эта шкала показывает самую большую ковариантность с оттеночной переменной. Самыми теплыми являются желтый, желто-красный участки, а самыми холодными—синие и сине-зеленые.

Однако другие цветовые параметры, согласно цветовым позициям в треугольнике, также имеют большое значение, которое просматривается в изосемантических треугольниках (рис. 4) и на рис. 8 с его 12 элементарными оттеночными профилями.

Изменения внутри цветовых треугольников неодинаковы у различных элементарных оттенков. В красном и зеленом, как правило, с некоторой неравномерностью, повышение хроматичности=повышению теплоты. В желтом треугольнике максимально теплый цвет находится в середине между  $W$  и  $C$ , причем коннотация теплоты снижается с этой точки также к максимально желтому.

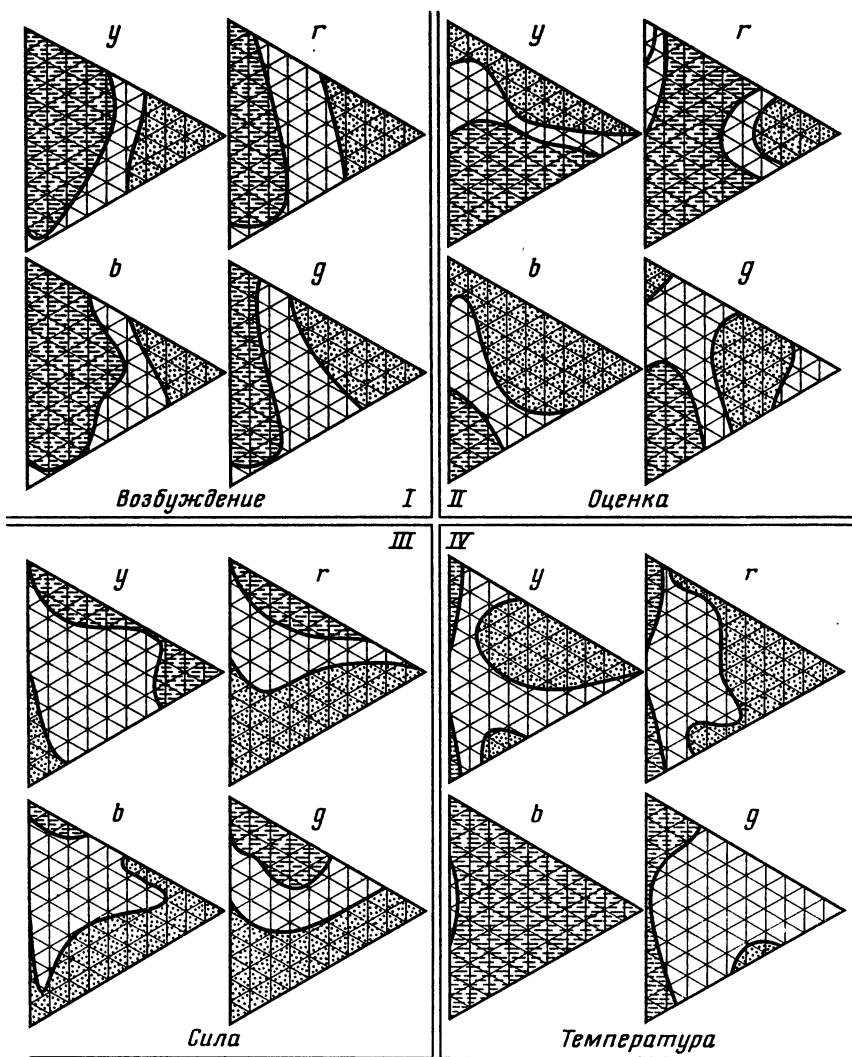


Рис. 9. Цветовые треугольники для каждого из факторов, где так называемые нейтральные зоны ( $\pm 5$  сигма) составлены белыми

В синем треугольнике все оттенки синего расположены по холодную сторону шкалы от нуля, причем самая холодная зона располагается вдоль всей шкалы  $W-C$ . Кроме того, существуют очень небольшие различия между весом холодности синих цветов.

Нейтральные зоны.

При рассмотрении температурного фактора, а также других измерений значений, необходимо обратить внимание и на так называемые нейтральные зоны. Все цвета получили, согласно

использованному методу оценки и последующим подсчетам, оценки по шкалам ( $z$ —оценки), которые благодаря высокой надежности указывают их позиции вдоль каждого измерения. Оценка, близкая к значению, интерпретируется так, будто бы цвет определен ни теплый ни холодный (в случае фактора температуры), либо так, будто неточность и/или колебания среди субъектов так высоки, что средняя величина лежит для данного цвета в середине. Во всех трех случаях средних выбранных цветов безопаснее всего классифицировать их как нейтральные. Рис. 9 показывает не только позиции всех нейтральных участков, но и поляризацию тенденций.

Можно предположить изменение восприятия, вызванное явлением одновременного контраста. Решающий вопрос, однако, заключается в том, только ли одновременный крайний контраст приведет к перемещению к «холодному» полюсу шкалы или существует контрастный феномен на более высоких коннотативных уровнях перцептивной организации (в широком смысле). Теории, которые различают эти источники влияния, нуждаются в проверке, поскольку имеются (1) надежные и чувствительные методы определения и систематизации перцептов цвета, (2) хорошие методы измерения коннотаций и (3) доступ к хорошо определенным цветовым стимулам.

Первые два требования имеют отношение к *NCS* и настоящему исследованию, но последнее все еще остается проблематичным, поскольку имеющиеся атласы цветов слишком несовершенны для большинства научных целей.

### Обсуждение

Изучение общих коннотатов к отдельным цветам включает: а) идентификацию релевантных цветам измерений значений, в) четкое соотнесение этих измерений с оцениваемыми цветами либо, что еще лучше, с моделью описания цвета.

Настоящая работа анализирует исследование с вышеуказанной целью. При учете факторов коннотации результаты исследований являются наиболее правдоподобными в том, что они находятся в согласии с предыдущими работами, исследовавшими цветовую коннотацию.

Что касается другой цели, которая на деле является первой, проиллюстрировать изменения значений с точки зрения цвета, исследование имеет много последователей.

Картирование мира цветов (*NCS* была использована в качестве эталонной системы) с помощью изосемантических линий для переменной каждого фактора дало следующие результаты: 1. Отношения между измерениями значений и цветовыми переменными различного рода нельзя в достаточной степени описать с помощью линейных корреляций. 2. Данные могут быть лучше проанализированы с помощью так называемых изосемантических карт, из которых коннотативные

значения цвета непосредственно предсказываются. 3. Изосемантические паттерны показывают, таким образом, что зависимость между значением и различными параметрами цвета часто определяется взаимодействием последних. Например, переменная значения может быть точно отнесена к черноте в одном оттеночном участке, к белизне в другом оттеночном участке, а в третьем может зависеть от хроматичности. 4. Паттерн также указывает на естественное отношение значения к так называемым вторичным цветовым качествам — серому, коричневому, розовому.

Систематическое «картирование» «вторичных участков» в выраженном «мире» цвета желательно как основа для сравнений с «коннотативным центром». Это позволит упростить дальнейшее теоретизирование и исследования природы коннотатов цвета — комплекс вопросов, не полностью включенных в данную работу.

Перцепты цвета, конечно, интегральны в динамично взаимодействующие компоненты нашего восприятия окружающего мира, которые трудно изолировать. Попытка настоящего исследования составить карту значений цветов не дает большую информацию о важности перцептов цвета в целом. Мы не смогли даже без контрольных экспериментов обобщить результаты вне условий настоящего исследования: субъект относящий один цвет однократно к определенной семантической переменной.

Однако для будущих исследований полученные результаты могут быть очень полезными. Прежде всего мы отмечаем постоянство во времени и в пространстве относительно конгруэнтности с гораздо более ранними исследованиями, а также даем сравнения с другими западными культурами.

Если использовать полученные в результате семантические паттерны в качестве гипотез, то многие вопросы и предположения для дальнейших исследований станут очевидными.

1. Что происходит, когда цвет принадлежит к определенному объекту или появляется в определенном контексте?

Изменится ли картина полностью или только немного? Какие именно объекты (контексты) меняют общие паттерны более, чем другие? Оказывают ли некоторые измерения значения большее влияние, чем другие? Влияют ли некоторые цветовые участки более, чем другие? Будет ли конгруэнтность между субъектами (интерсубъективность) возрастать или уменьшаться?

Первое дополнительное исследование в рамках данной работы цветов повторяет наше исследование с той лишь разницей, что цвета в этот раз наносились на фотографические картинки, на одной был одноэтажный дом, а на другой — трехэтажный дом для большой семьи [16].

2. Цвета редко появляются изолированно. Были сделаны попытки изучить отношения к различным цветовым ком-



бинациям. Однако результаты трудно интерпретировать. Трудность заключается в том, что число возможных цветовых комбинаций, уже включающих пары, бесконечно.

Имея надежную цветовую систему—предпочтительно воспринимаемую—и зная ранее упомянутые вторичные цветовые качества и их протяженность в этой системе, а также ясные гипотезы, как фундамент, можно начинать осваивать это огромное поле.

Результаты таких попыток также можно отнести к настоящим паттернам коннотатов отдельных цветов, чтобы посмотреть, какие функциональные связи могут быть построены.

3. Цели исследований заключались в изучении различных значений цветов у групп людей. Индивидуальные отличия, следовательно, не имели первостепенного значения. Вопрос, существуют ли систематические отличия в цветовых предпочтениях, поставлен, он вдохновил психологов на конструирование «цветовых тестов» личности и диагностики. Известные разновидности таких тестов построены на старых довольно двусмысленных исследованиях и метафизическом умозрении. Многие исследования показали, однако, что реакции на цвета иногда отличаются у групп душевно больных, а также у «людей с выраженной индивидуальностью». Было бы очень интересно и плодотворно связать переменные современной психологии личности с индивидуальными цветовыми коннотатами, например, в форме индивидуальных изосемантических паттернов. Такая процедура дала бы более качественную информацию, чем данные о предпочтении выбранных наугад цветовых образцов.

Первым шагом на этой дифференциальной психологической дороге может стать анализ индивидуальных различий, проведенный с помощью последних многомерных и других статистических методов, с целью определить, действительно ли эти интериндивидуальные различия имеют достаточное значение, чтобы стать полезными и ценными.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Evans R. M.* Variables of perceived color//J. Opt. Soc. Amer. 1964. Vol. 54. P. 1467-1471.
2. *Eysenck H. J.* A critical and experimental study of color preferences//Amer. J. Psychol. 1959. Vol. 72. P. 487-502.
3. *Guilford J. P., Smith P. C.* A system of color preferences//Ibid. 1959. Vol. 72. P. 487-502.
4. *Heider E. R., Oliver D. C.* The structure of the color space in naming and memory for two languages//Cogn. Psychol. 1972. Vol. 3. P. 337-354.
5. *Heiss R., Schai K. W.* Color and personality. Bern, 1964.
6. *Hering E.* Zur Lehre vom Lichtsine. Wien, 1878.
7. *Hering E.* Outlines of a theory of the light sense. Cambridge (Mass.), 1964.
8. *Hesselgren S.* Hesselgren's color atlas. Stockholm, 1952.
9. *Hesselgren S.* Subjective color standartization. Stockholm, 1954.

10. *Hogg J.* A principle components analysis of semantic differential judgement of single colour and colour pairs // *J. Gen. Psychol.* 1969. Vol. 80. P. 129-140.
11. *Hard A.* Färg och associationer. Fackschrift. Stockholm, 1966.
12. *Hard A.* Short description of the NCS color order system. Stockholm, 1969.
13. *Hard A.* Färgsystematik. Fackskrift C10. Stockholm, 1971.
14. *Osgood C., Suci G., Tannebaum P.* The measurements of meaning. Urbana, 1957.
15. *Sivik L.* Om färgers betydelse. Stockholm, 1970.
16. *Sivik L.* On the meaning of colours in general and on buildings. // *Synthesis: Architectural res. rev.* Oxford, 1974. Vol. 4. P. 1-6.
17. *Sjöberg L.* Factor analysis and multidimensional scaling. Göteborg, 1970.
18. *Stamm J. S.* Fourier analysis for curves of affective value of color as functions of hue // *Amer. J. Psychol.* 1955. Vol. 68. P. 124-132.
19. *Wright B., Rainwater L.* The meanings of color // *J. Gen. Psychol.* 1962. Vol. 67. P. 89-99.

## КРАСНЫЙ ЦВЕТ: СУЩЕСТВУЕТ ЛИ ОН?

Экспериментальная психология, отпочковавшаяся от философски ориентированной психологии, ввела в научное мышление новую позитивистскую парадигму. Постановка проблем в психологии определялась логикой естественнонаучных исследований. Объективность существования физических стимулов не подвергалась сомнению, научной рефлексии подлежала лишь проблема «единиц» психической жизни.

Схема соотнесения простых физических стимулов и простых психических реакций предопределила как успехи, так и трудности в понимании психической реальности. (Заметим, что в недрах физической науки возникла проблема объективного существования «белого цвета» и его разложимости на спектр. Выделенные физиками основные цвета впоследствии были использованы в теориях цветного зрения. Острые дискуссии между Гете и Ньютоном было направлено на поиск основных цветовых единиц: сколько исходных цветов способен воспринимать человек? Детальное обсуждение дано в статье Г. Тоннквист «Аспекты цвета» и [5].)

Экспериментальные исследования по психологии цвета укладываются в проторенное русло однозначной связи объективного—субъективного. Психофизические измерения через понятие порога операционализировали субъективное в единицах физической реальности.

Исследователи, взявшие другое направление, сошли с проторенного пути и двинулись на поиски смысла или семантики отражения, символической функции цветов [4, 17].

Между тем (при полном соблюдении требований на поиск соответствий в рамках первого подхода) выявлено, что изменение одного из параметров стимула опосредствует оценку другого. Так, например, блеск—матовость предопределяет оценку по параметрам цветности и яркости [12]. Таким образом обнаруживается, что стимул нельзя представить в виде отдельных параметров, ортогональных друг другу. Суммарный эффект воздействия сложного стимула (т. е. имеющего несколько физических параметров) не сводится к сумме отдельных воздействий. Очевидно, что природа стимула имеет принципиально многомерный характер.

В работе [2] было показано, что одномерный стимул дополняется при психическом отражении дополнительными

признаками и становится, несмотря на свою физическую простоту, сложным. Сложность психического отражения углубляется структурой индивидуального опыта. Психические эталоны, по-видимому, также не могут быть смоделированы в виде «точки»; встроенные в систему личного опыта, они должны получить дополнительные измерения.

Имеются индивидуально-личностные предпочтения в работе с одновременно заданными параметрами звукового сигнала при попытке его восстановления по памяти до изначального звучания. Метрика сенсорно-перцептивных данных представлена в виде эллипса, оси которого соответствуют выделенным параметрам звука. Разное соотношение осей эллипса и угла наклона между ними определяет форму эллипса, присущую каждому испытуемому [6].

Цель нашего исследования как раз и состояла в том, чтобы очертить «зону» репрезентации отдельных физических стимулов и проследить динамику ее границ.

Был проведен эксперимент на 30 испытуемых (с нормальным или коррегированным зрением). Стимульным материалом служил цветовой ряд, задаваемый монохроматором. Испытуемых просили, самостоятельно изменяя цветность, назвать все встречающиеся цвета и оттенки; если стимулы не имеют подходящего названия, то инструкцией предусматривалось зафиксировать изменение стимула.

Таким образом был получен цветовой ряд, шкалированный в соответствии с субъективной метрикой испытуемого. Процедура шкалирования повторялась дважды (в прямой и обратной последовательности). Во второй серии испытуемых просили найти «настоящий красный и синий» цвета. Сравнивались физические параметры «красного» и «синего», полученные при свободном шкалировании и при направленной инструкции на поиск отдельных цветов. Получен основной экспериментальный феномен о несовпадении местоположения «красного» в ряду стимулов при разных инструкциях.

В самом общем виде влияние контекста на восприятие стимула выявили еще гештальтисты. Большинство описанных ими иллюзий построено именно на разном соотношении стимула и контекста. В нашем исследовании физические параметры стимула и контекста оставались неизменными (контекст представлял собой монохроматический цветовой ряд, а стимулом служил некоторый цветовой эталон, оцениваемый испытуемым как «красный» или «синий»). Однако в зависимости от инструкции и от решаемой задачи происходило смещение стимула. Если каждый испытуемый обладает «знанием» (субъективным представлением) о красном и синем цвете, то почему это знание по-разному участвует в задачах опознания стимула в зависимости от решаемой задачи?

В теоретическом плане выявленный феномен может быть сформулирован в виде следующей проблемы: существует ли

субъективный эталон красного и синего цвета, и как этот эталон репрезентирован в психическом пространстве: в виде точки или в виде зоны?

Цвет представляет собой стимул, который адекватно описывается с помощью физических параметров. Непрерывный характер изменения последних субъективно воспринимается (по известной схеме Манселла) как изменение цветности, яркости и насыщенности. Между тем субъективная шкала цветности имеет ярко выраженный дискретный характер, что проявляется прежде всего в разных названиях цветов, в соответствии с лингвистическим детерминизмом, утверждающим перцептивно однообразное пространство. Б. Берлин и П. Кей [10] выявили в кросс-культурных исследованиях, что существует универсальное расчленение физически непрерывного ряда на дискретные, несмешиваемые друг с другом цвета. Причем это сенсорное различие отражено в различных языках, имеющих хорошо разработанную терминологию. Е. Хайдер [13] продолжал работы Берлина и показал, что не только вербально, но и сенсорно цветовой ряд разделяется на отдельные цветовые участки. Точки деления, названные им фокальными, объединяют два ряда шкал: сенсорный и вербальный. Эти точки характеризуются повышенной сенсорной чувствительностью и хорошей вербальной проработанностью. Кроме того, фокальные точки обладают свойством «притягивать» к себе близкие стимулы; они служат своеобразными точками отсчета при переработке информации о цвете. Хайдер экспериментально выявил параметры цветности, наиболее прегнантные фокальным точкам.

Отождествление субъективного эталона с точкой соответствует пороговой модели. Согласно модели, порог представлен медиану нормального распределения, описывающего деятельность сенсорной системы. К настоящему времени открыты кривые распределения, полученные на разных модальностях и при разных режимах работы. Вместе с тем выявленные аномалии распределения вынуждают пересмотреть исходные модельные представления о психическом эталоне как точке. Присуща ли эталонам строго определенная модальность или они имеют межмодальный характер? Как изменяются психические эталоны в зависимости от способов переработки информации и от участия разных систем психики?

Н. Н. Корж был проведен эксперимент, в котором сравнивалось местоположение эталона в сенсорных и мнемических системах. В первой серии у испытуемых оценивалась дифференциальная чувствительность к эталону красного цвета методом «да—нет». Во второй серии тем же методом оценивалась чувствительность к эталону, хранящемуся в памяти. Сравнение двух кривых распределения обнаруживает смещение кривой мнемического опознания относительно кривой сенсорного опознания. При этом наблюдается неравномерное

распределение ответов «да—нет». Точка, характеризующая максимальную плотность «опознания» стимула по памяти, представляет собой мнемический эталон.

Описанный феномен смещения эталона цвета при его опознании по памяти повторен в нашем эксперименте. Отличие состояло только в том, что сравнению подлежали различные мнемические эталоны, т. е. эталоны, хранящиеся в памяти и актуализирующиеся при разных инструкциях.

Прежде чем приступить к анализу и интерпретации результатов, мы хотим сделать некоторые предварительные замечания, касающиеся общей идеологии доказательства. Одна из исходных позиций исследования состоит в следующем парадоксальном «поведении» эталонов памяти: в ряде случаев эти эталоны характеризуются не просто стабильностью, а сверхстабильностью, что обнаруживается в безошибочном опознании однократно предъявленного «цветового» стимула через неделю и даже через месяц [7]. Близкие результаты получены в [14]: испытуемые заучивали вербальный материал (ассоциации) и безошибочно воспроизводили их через год.

Вместе с тем многочисленные экспериментальные и обыденные факты забывания и спутывания говорят об искажении мнемических эталонов, причем иногда десятикратно превышающим дифференциальную чувствительность.

Цель нашего исследования, как говорилось, состоит в уяснении способа репрезентации информации о цвете в памяти. Однако достижение этой цели мы хотим предварить «рассуждением о методе». Мы выбрали стратегию доказательства от противного: используя традиционные методики, исходящие из представления об эталоне-точке, мы ставили задачей выявить «границы» этой точки, показать размытость и непостоянство последних и таким образом косвенно подтвердить гипотезу о «зонном» характере эталона.

Рассмотрим прежде всего результаты шкалирования цветового континуума в первой серии. Метод свободного шкалирования позволяет выявить «шаг» чувствительности в разных частях спектра, а также такие параметры, как постоянство шага. Подавляющее большинство испытуемых обнаружило вариативность длины шага; последние, по существу, представляют собой единицу опознания цвета. Допущение Фехнера об унитарности е. з. р., позволившее ему осуществить операцию интегрирования, предопределяло также закономерно изменяющуюся метрику сенсорного пространства (логарифмическую или степенную). Полученные нами результаты вовсе не являются неожиданными; они означают, что сенсорно-метрическая шкала имеет разную плотность, или — что то же самое — неравномерную метрику. Причем нет корреляции между показателями плотности и частями спектра. Индивидуально-личностные различия перекрывают общие закономерности. Таким образом, мы видим, что законы сенсорной чувствительности

снимаются при включении других систем психики (мнемической, поставляющей эталоны цвета, и эмоционально-мотивационной). Результаты повторного «свободного» шкалирования подтверждают неравномерный и непостоянный характер последнего. Были выявлены «лакуны», в пределах которых испытуемые не фиксировали изменения цветности. Однако величина этих лакун, сильно превышающая дифференциальный порог, по-видимому, представляет собой результат сложного взаимодействия различных механизмов; более того, подключение системы памяти не всегда улучшает работу сенсорной системы.

Описанная нами сенсорная фокальность, выражающаяся в неравномерной дифференциальной чувствительности, дополняется «фокальностью» вербальной. Прежде всего бросается в глаза резкая разница в вербальной проработанности. Некоторые участки описываются фактически одним термином (желтый ... желтый... желтый). Другие участки для своего описания как бы нуждаются в более изощренной терминологии (с использованием названий двух цветов, вспомогательных слов и т. д.). Как и в сенсорной сфере, мы не обнаружили «притягивающего» эффекта фокальных точек в сфере вербализации.

Иными словами, условно выделенные вербальные фокальные точки нельзя представить «центром», при приближении к которому усиливается вербальное выражение данного цвета (любыми средствами). Например, если за фокальную точку принять «красный», то следовало бы ожидать, что при описании стимулов по мере приближения к этой фокальной точке должна нарастать лексика красного, а по мере удаления — постепенно исчезать. Открывшаяся нам картина была прямо-таки неожиданной. Некоторые фокальные точки как внезапно появлялись, так и внезапно исчезали. Иногда и вовсе отсутствовало название некоторых фокальных точек (например, нет слова «зеленый», хотя при описании желтых тонов используется номинация «травяной»). Таким образом, мы имеем отчетливо выраженные вербальные лакуны в задаче свободного шкалирования и свободной вербализации.

Как сенсорный, так и вербальный ряд не измеряются одной «меркой».

Постараемся найти корреляты чувствительности в сфере вербализации. В [3] показано, что существует шесть типов вербализации цвета (через прилагательные, ассоциации, двухцветные слова). Анализ вербальной продукции по этим показателям обнаруживает следующее: в разных участках цветового спектра используются разные стратегии вербализации цвета; причем используемые алфавиты описания могут быть как модально-специфичными, так и модально-неспецифичными (в последнем случае используются «чужеродные» по отношению к физическим характеристикам цвета признаки). Одни части

спектра описываются строго в субъективных коррелятах длины волны; другие части заимствуют для описания неизменяемые параметры (например, такие, как насыщенность, светлота). Тем более поразительно, когда эти параметры всплывают в тех цветовых зонах, где субъективное восприятие насыщенности «работает» с понижающим коэффициентом. Например, известно, что красный воспринимается как более насыщенный по сравнению с желтым. Но некоторые испытуемые используют параметр насыщенности при описании желтого. Кроме сугубо «цветовых» категорий оказываются в активе неспецифические категории, например из лексикона эмоций.

Обращает внимание еще одно важное обстоятельство. Это — использование двухцветных слов (желто-зеленый и зелено-желтый). Их расположение не симметрично относительно гипотетического центра между двумя фокальными точками (в приведенном примере соответственно между желтым и зеленым). Очевидно, следовало бы выделить два способа вербализации. При первом, доминирующем, является один цвет, который сначала усиливает свое качество (зеленеет), затем затухает (менее зеленый). Название следующего за ним цвета подключается поздно (непосредственно перед появлением фокальной точки 2). Этот тип можно назвать «наступающим», т. е. цвет видится на большом диапазоне и застигает почти всю цветовую область (включая соседние). Тогда другой тип вербализации можно назвать «отступающим», т. е. мы видим достаточно раннее указание на появление следующего названия. Зона же описания имеет отрицательную характеристику, как недостающую какому-либо другому цвету. Типичный пример при описании зеленого спектра — «совсем мало желтого... желтеет... желтый». В последнем случае зеленый как бы не существует сам по себе; он представляется только фоном, на котором испытуемый апперцептирует появление следующего цвета. При этом вербальная проработанность не означает, что испытуемый в той же мере чувствителен к данной части спектра и сенсорно. Была выявлена диссоциация между вербальными и сенсорными рядами [8].

Эта диссоциация проявляется прежде всего в том, что наблюдается несоответствие в проработанности цветового ряда в сенсорике и в назывании. Слепые пятна в вербальной шкале никак не связаны с чувствительностью в области сенсорики. Так, испытуемые повторяли одно и то же название, или давали просто указание «то же», но делали достаточно частые остановки на монохроматоре. Менее выраженным примером диссоциации служит повторение отдельного названия на достаточно большом участке цветового ряда. Немного сложнее выявить обратный тип диссоциации, при котором наблюдалось бы вербальное опережение по сравнению с сенсорной различимостью. Мы предполагаем, что такому типу диссоциации соответствуют случаи вычурного вербального описания, по-



крывающего собой значительную область стимулов. Моторное поведение таких испытуемых также имело некоторые отличительные черты: они не выделяли отдельную стимульную точку, а «проворачивали» целую зону в момент говорения. Нередко процесс вербализации предшествовал сенсорному поиску, может быть даже частично компенсировал сенсорную бедность.

Итак, результаты первой серии позволяют нам утверждать, что существуют как сенсорные, так и вербальные лакуны, достаточно независимые друг от друга. Чтобы проверить, действительно ли область лакун представляет «слепое пятно», была проведена вторая серия. Мы решили проверить, как фиксированная инструкция на поиск определенного сенсорного эталона (особенно если эталон включен в область лакуны) влияет на местоположение этой лакуны. Другими словами, подвержены ли лакуны изменениям под влиянием инструкции. Если лакуны остаются неизменными, то можно говорить о них как о промежуточных между стабильными фокальными зонами; если лакуны исчезают или появляются в какой-либо форме, то, скорее всего, фокальные зоны имеют плавающий характер. Кроме того, мы хотели посмотреть, изменится ли характер диссоциации между сенсорными и вербальными рядами, а также, какой из рядов оказывается доминирующим.

Во второй серии испытуемых просили найти в стимульном ряду «настоящий» красный и синий цвета. Как и в первой серии, фиксировались значения стимулов, вербальная продукция и стратегии испытуемых.

Почему мы выбрали именно эти цвета? Во-первых, они занимают лидирующее место в иерархии фокальных цветов; это означает, что инструкция апеллирует к реальному опыту испытуемого, причем не только сенсорному, но и вербальному. Есть опасение, что работа с редкими цветами может быть затруднена из-за слабой осведомленности относительно их названия. Так, в [21] указано, что бирюзовый и малиновый цвета трудно вербализуются, поэтому интерпретация результатов по опознанию этих цветов должна была бы учитывать и это обстоятельство. Данные [9] говорят о том, что красный и синий достаточно культурно освоены и вербально проработаны. Поэтому особенности работы с этими цветами позволяют воссоздать картину работы когнитивной системы, когда снимается опасение о «сбое» сенсорных или вербальных механизмов.

Однако выбор в качестве стимульного материала знакомых цветов имеет свои негативные стороны. «Плотная» освоенность этих цветов не позволяет прямо оценить вклад образных и вербальных компонентов. Мы можем говорить только о том, какие компоненты иницируют поиск: образные или вербальные. Во второй серии, когда испытуемым задавалось только название цвета (в соответствии с которым требовалось найти пример), можно говорить о доминировании вербальной сферы.

Результаты второй серии подтверждают выводы первой серии о нестабильном характере фокальных точек. Многие испытуемые в поисках «настоящего» красного и «настоящего» синего выходили за пределы той зоны, которая в первой серии относилась к соответствующим цветам (например, указывали как на «настоящий» красный на стимул, который прежде получал название оранжевого). Иногда «настоящий» красный попадал в лауну, полученную в первой серии. Неожиданным для нас был также отказ некоторых испытуемых указать «настоящий красный» (после поиска), хотя в предыдущем эксперименте они использовали эту номинацию при описании стимульного ряда. (Заметим, что аналогичные результаты с синим цветом получены не были.) В последнем случае испытуемый как бы разбрасывал зону красного на два пограничных цвета: оранжевого и малинового.

Уточняющая инструкция, в которой испытуемого просили указать границу, где красный и синий переходят в другой цвет, опять же сильно смещала местоположение красного и синего. Результаты показывают, что повторное требование по опознанию красного иногда смещает его за пределы зоны, только что очерченной испытуемым.

Результаты второй серии позволяют нам сделать следующие выводы:

1) выявлена подвижность сенсорных эталонов красного и синего;

2) использование неизменных названий («красный», «синий»), но включенных через разные инструкции в разный контекст, смещает сенсорное впечатление от красного и синего и сдвигает соответствующие цвета по цветовому ряду.

Третья серия экспериментов была направлена на усиление образных компонентов по сравнению с вербальными. Предложенная испытуемым инструкция, как нам кажется, позволяла отодвинуть на второй план механизм вербализации. Требовалось найти цвета, которые нравятся или не нравятся. Затем испытуемых просили «означить» выбранные цвета. Как и во второй серии, выбираемые сенсорные образцы «не обходят» лакуны. В части случаев выбор понравившегося цвета приходится на «невидимую» прежде область.

Однако предположение о непримечательности стимула, попавшего в лакуны при первом просмотре и «новое» видение его при инструкции «нравится/не нравится» трудно согласуется с отчетами испытуемых: испытуемые в поисках «нравится» часто апеллируют к прошлому опыту, они ищут цвет, который им «показался» в первой серии. Другое дело, как они оценивают найденный стимул: как — тот, который они искали, или как другой.

Еще более необъяснимое смещение происходило при назывании понравившегося стимула. При вербализации испытуемые допускали прямо-таки грубые «ошибки» (если за норму принять

результаты первой серии). Нередко наблюдался выход за фокальные зоны, т. е. испытуемый «сбивался» не в нюансах, а в основных цветах (например, называл «зеленоватым» стимул, который в первой и второй сериях входил в зону синего).

Грубо можно выделить две стратегии: 1) испытуемые адресуются к вербальному коду, т. е. к названию цвета (и подыскивают кажущийся образец); 2) испытуемые отталкиваются от непосредственного впечатления и затем называют понравившийся стимул.

В третьей серии несколько модифицировалась описанная процедура «нравится/не нравится»: испытуемых просили сначала мысленно вспомнить понравившийся цвет, а затем его (или их) найти и назвать. Требование по предварительному называнию «нравящихся» стимулов еще более раслаивает результаты испытуемых, выявляя тех, которые свободно следуют за «называнием», и тех, которые, несмотря на называние, указывают «нравится/не нравится» стимулы «по впечатлению». Здесь уместно вспомнить работу [15], в которой указывается, что основополагающим дискриминационным признаком является «общая чувствительность к цвету». По-видимому, испытуемых можно разделить на две группы, традиционно называемые «интуитивами» и «рационалистами». Сенсорный опыт рационалистов жестко зафиксирован в вербальном коде (нравится красный; не нравится желтый). Поиск конкретного стимула направляется этим названием. Другая группа испытуемых, высоко чувствительных к цвету, обнаруживает относительную «свободу» в дополнениях «нравится/не нравится» при сенсорном просмотре. Типичные ответы: «Вот еще нравится...», т. е. испытуемые легко подключают к «нравятся» новые эталоны, основываясь на сенсорном впечатлении.

При описании наших экспериментов мы используем оппозицию образного и вербального кода. Эта оппозиция положена в основу известной двухкодовой модели памяти [11]. Многие исследователи указывали на различия в продуктивности памяти, если предъявляется образный или вербальный материал. Согласно модели, первый образный код может функционировать в автономном режиме независимо от вербального. Образная информация лучше запоминается. Кроме того, она является необходимым подготовительным этапом для последующей вербальной переработки. Тонкие исследования [20] показали, что не менее важным для результатов опознания является код опроса. Высказывалось даже предположение, что код опроса в оптимуме должен соответствовать коду предъявления, т. е. сохранность образной информации следует диагностировать, адресуясь к образному коду, а соответственно вербально заученную информацию тестировать через вербальный код.

В общем виде результаты наших исследований согласуются с двухкодовой моделью, хотя бы в той части выводов, где

мы показали неизоморфность образных и вербальных кодов, диссоциацию между ними.

Мы имеем возможность проанализировать свои данные с учетом того, какой из кодов актуализировался через инструкцию. Предположительно серия, в которой актуализируется образный код, должна показывать лучшее запоминание и воспроизведение материала по сравнению с серией, где участвует еще и вербальный код.

Сравнение результатов третьей серии дает некоторую информацию. Одних испытуемых просили сначала найти «нравящийся» цвет, а затем назвать его (их). Других — сначала назвать, а затем указать. Таким образом, мы получили пары двух типов: вербально-образные и образно-вербальные. Эти пары мы сравниваем с результатами первой серии, где также была образно-вербальная последовательность в кодах опроса.

Что же получается?

Во-первых, нравящиеся цвета часто попадают в лакуны; это особенно странно для пар образно-вербальных, так как они по существу повторяют последовательность актуализации кодов первой серии.

Во-вторых, не обнаружено ожидаемой близости результатов при инструкции вербально-образной с результатами второй серии (если красный был понравившимся цветом). Очевидно, что описанные механизмы и последовательности их работы не могут объяснить полученные несоответствия. Подчеркнем, что не само несоответствие, а его «плавающий» характер требует привлечения дополнительных объяснений.

Работа с цветом, представляющим сильно семантизированный стимул, требует анализа в других единицах, которые позволяли бы описать неразрывную связь образных и вербальных кодов, а не разделить их.

Идея о единстве разных кодов не нова. Так, Е. Ю. Артемьева [1] высказала гипотезу о существовании семантико-перцептивных универсалий, при непосредственном участии которых происходит познание мира. Прогностическая ценность предложенной единицы психики состоит в том, что она констатируется не в терминах физического мира и не в гносеологических категориях (вербальный, образный), а в единицах субъективного опыта. Близкое направление исследований проводится в школе К. Келли по воссозданию личностных конструктов. С помощью последних (и таких их параметров, как сложность / простота, согласованность) удается дать объемное описание жизненного опыта индивида. Чрезвычайно важным нам представляется вывод о вариативном и непостоянном наборе конструкта.

Идеи, лежащие в основе описанных теоретических построений, послужили отправной точкой наших экспериментальных исследований. Мы полагаем, что существуют аналогичные образования, конституирующие сенсорно-перцептивный опыт.

Предполагаемые конструкторы сенсорно-перцептивного опыта должны одинаково хорошо объяснять как стабильный режим мнемической системы, так и его «плавающий» характер. Второе качество предполагаемых конструкторов — это представленность в них образных и вербальных (семантических) компонентов. В зависимости от инструкции, от задач и от опыта испытуемого возможно «расслоение» этих компонентов, образование новых конгломератов, или новых «пространств», в которых репрезентируется опыт.

Примером служит попытка разложения простого сигнала на несколько составляющих. Эксперименты проводились на слуховой модальности. Испытуемых просили запомнить звуковой эталон, а затем самостоятельно воспроизвести его на генераторе, который позволял варьировать одновременно два параметра звука: громкость и высоту. Показаны индивидуально-личностные предпочтения в работе с каждым из параметров. Доказано, что репрезентация простого звукового сигнала в пространстве памяти представляет собой эллипс, оси которого соответствуют выделенным параметрам звука. Разное соотношение осей эллипса и угла наклона между ними определяет форму эллипса, присущую каждому испытуемому [6].

Метрика сенсорно-перцептивных данных строится по физическим параметрам сигнала и служит моделью, объясняющей субъективные предпочтения при работе с теми или иными параметрами сигнала. В когнитивной психологии делалась и другая попытка для описания способов оперирования с материалом. Согласно теории когнитивных карт, последние представляют собой схему ориентировки в материале. Оригинальные эксперименты, подтверждающие эту модель, строились таким образом, что изменение последовательности (или угла зрения) предъявляемой информации не влияло на продуктивность опознания. (Напомним эксперименты о нахождении нужной палатки в знакомом универсаме [19].) Незнакомый материал перерабатывается не с помощью когнитивных карт, а пооперационально.

Другие работы, выполненные на вербальном материале, также подтверждают универсальность когнитивных карт. Так, эксперименты, приведенные на материале японского языка [18] (позволяющего расчлнить образный и вербальный код), распространяют идею когнитивных карт. Вместе с тем механизм *КК* действует избирательно относительно такого параметра материала, как его знакомость субъекту. Вновь узнаваемая информация перерабатывается с помощью старых *КК*, пока не появятся новые, более подходящие. Косвенным свидетельством участия *КК* служит стабильность узнавания стимула в разных условиях предъявления. Ниже мы увидим, что, несмотря на «плавание» эталонов, мы можем говорить об их стабильной ориентировке по отношению друг к другу.

Первоначальная гипотеза состояла в следующем: знакомые цвета репрезентированы в памяти с помощью *КК* (как схемы

ориентировки). Поэтому, согласно основополагающему признаку *КК*, эти цвета должны стабильно узнаваться и восприниматься. Редкие цвета, напротив, должны быть легко подвержены спутыванию. Свой выбор красного и синего в качестве знакомых цветов мы уже обосновали. Не совсем ясно, что следует понимать под знакомым—сенсорный эталон или название? Нам кажется, что полученные нами данные позволяют выделить оба этих компонента в функционировании *КК*.

Мы уже выделили две группы испытуемых: интуитивистов и рационалистов. Первые больше полагаются на сенсорные впечатления; вторые—на вербальную переработку информации. Напомним, что оба эти кода вовсе не обязательно должны сопрягаться в *КК*.

Рассмотрим, какие результаты должен показать испытуемый, у которого в *КК* преобладает сенсорный эталон, вербальный или оба кода?

Наиболее показательны результаты второй серии. Косвенным подтверждением существования *КК* красного является тот факт, что испытуемый принимает задачу на поиск, т. е. у него есть знание о красном. Однако после принятия задания, адресованного вербально-образной *КК*, требовалось найти конкретный стимул, соответствующий этому знанию. Совокупное представление о красном, синтезированное в слове «красный», может не соответствовать никакому отдельному образцу. Описание с помощью красного целой зоны в этом случае трудно локализовать в одной точке. Надо сказать, что такое «зонное» описание красного мы встречали в первой серии. Некоторые испытуемые давали название красного с большим опережением, и затем уточняли, по ходу изменения цветности, что красный еще «не наступил». В этом случае мы имеем дело с вербальной антиципацией своего рода, которая затем подвергалась проверке («А красный ли это?»).

Мы уже описывали случаи, когда испытуемые (после поиска) указывали на отсутствие «настоящего красного». Если же, модифицировав задание, мы просили испытуемых указать границы той зоны, которая называется красным, они находили точки (!), которые, по их мнению, разделяют красный с одной стороны с оранжевым, с другой—с малиновым. Повторное задание на поиск «настоящего красного» выполнялось всеми испытуемыми. Однако проследим положение этого «настоящего красного» во всех случаях и динамику его перемещения. (Но прежде всего обратим внимание на то обстоятельство, что обе инструкции имеют вербально-образный код.) Несмотря на единый код, испытуемый актуализирует разные *КК*. В первом случае—*КК* красного, во втором—*КК* соотносительного положения красного в ряду других цветов. Именно «соотносительность» оказывается наиболее созвучной сущности *КК* как схемы ориентировки. Красный в этом случае «приноравливается» к оранжево-малиновой системе координат.

Теперь вернемся к анализу местоположения красного при его прямом поиске, сравнивая это местоположение с границей красного. Здесь мы наблюдаем парадоксальное смещение. Прежде всего настоящий красный никогда не лежит в центре этой зоны; другими словами, зона красного не представляет собой нормального распределения относительно эталона «настоящего красного». Бывают даже такие случаи, когда зона красного «выталкивает» из себя настоящий красный (например, левая граница с оранжевым смещается резко направо — в сторону малинового и «наезжает» на красный). То же самое происходит и с правой границей. В первом случае красный попадает в потенциальную зону оранжевого, во втором — в зону малинового.

Что же изменилось в стимульном материале или в инструкции? Прибавилась только фиксация на других фокальных точках (оранжевого и малинового). Причем эта фиксация искажает зону красного в разном направлении — то в сторону «расширения» (тогда красный наезжает на соседние цвета), то в сторону «сужения» (в этом случае оранжевый и малиновый как бы пересекаются и красному не остается места).

Интересно сравнить результаты «положения» красного, а также оранжевого и малинового, когда он отыскивается в разных соотносительных инструкциях: в первой и второй сериях. Однако и здесь цветовой субъективный эталон ведет себя крайне нестабильно. Одним из объяснений может служить различный код обращения к *КК*. В первой серии мы имеем сенсорно-вербальный код опроса, т. е. испытуемые, основываясь на своих сенсорных впечатлениях (первичных), выполняют задание по их вербализации. Мы уже говорили о неизоморфности двух шкал, поэтому неудивительно, что апеллирование к одной из них по преимуществу отражает «пространство» доминантной шкалы. Исходя из этого, с некоторой долей условности можно предположить, что шкалирование стимулов в первой серии отражает (конечно, не зеркально) *КК* сенсорного кода. Результаты второй серии дают представление скорее о *КК*, о значительной мере вербализованных с акцентом на их семантику. Возможно, что фокальные точки сенсорного кода, не имеющие должного названия, опускаются или скупо вербализуются, тогда как фокальные точки вербального кода (красный) не могут найти однозначного чувственного коррелята.

И наконец, обратимся к результатам третьей серии. Шкала цветности, получаемая в этой серии, оказывается также смешанной. Иногда «нравятся цвета» приходится на область лакун, иногда испытуемый точно повторяет какой-нибудь из прежде виденных стимулов. Мы предполагаем, что *КК*, определяющие выбор стимулов в этой серии, имеют относительно независимое существование. Но и на этом материале мы имеем возможность наблюдать «расслоение» *КК*, происходящее под влиянием

инструкции. Напомним, что одну часть испытуемых просили указать «нравится цвет»; других — вспомнить и указать. Вторая группа испытуемых чаще воспроизводила стимулы, отмеченные прежде. Таким образом, семантическая инструкция (вспомнить) актуализирует апробированные прежде *КК*, тогда как чисто эмоциональная инструкция чаще приводит к выбору стимула в зоне лакуны.

Другой пример влияния семантики на выбор *КК* поставляет нам данные об исходной точке, о «начале» цветового описания. Факт, что семантическая переработка облегчает когнитивную работу даже с образным материалом, известен [16]. Рассмотрим, в каком случае у нас максимально представлена семантическая обработка, а где мы имеем дело с «сырой» сенсорикой? Ясно, что в первой серии «начало» цветового описания менее всего семантически загружено, так как испытуемые не знают закона изменения цветности. Сравним результаты шкалирования (первая серия) в прямой и обратной последовательности, а также особенности поведения в зоне неопределенного серого. У большинства испытуемых наблюдается смещение «начала» цветового ряда в сторону серого; при повторном просмотре в обратном направлении испытуемые останавливались на сиреневых тонах, не доходя до серого. (Возражение о влиянии послеобразов на восприятие цвета, по-видимому, можно снять, так как испытуемый в поисках цвета мог свободно двигаться по шкале, возвращаться назад.)

Вербальная продукция испытуемых также обнаруживает различия. При первом просмотре зона серого часто описывается через сложные ассоциации, как состоящая из смеси разных цветов (например, синего и малинового). Мы уже указывали на способность стимула «прорасти» в другие изменения и модальность. Именно в области серого мы наблюдаем «всплывание» как модально-специфичных, так и модально-неспецифичных признаков. В зоне неопределенности легко оживают произвольные, наиболее «откликаемые» сенсорные впечатления.

Зато движение в обратной последовательности «снимает» неопределенность серого цвета. Поэтому не только начальная точка цветового ряда сдвигается в сторону более определенного сиреневого цвета, но и упрощается арсенал описания.

Мы предполагаем, что в процессе шкалирования происходит актуализация *КК*, облегчающих узнавание одних сенсорных сигналов, и закрывающих возможность выделения других (т. е. тех, которые не совпадают с данной *КК*). Антиципирующее действие *КК* проявляется не только в прогнозе следующего цвета («А после зеленого, наверно, будет желтый; да, желтеет»), но и в отборе соответствующей сенсорной информации.

Итак, нами были получены новые экспериментальные факты, обнаруживающие нестабильный, плавающий характер эталонов цветности. Эти эталоны представляют собой единство



сенсорных и вербальных шкал. Показано, что эти шкалы не только не зеркальны друг другу, но несоответствие между ними также имеет «плавающий» характер. Лакуны, обнаруженные на сенсорной шкале, могут быть заполнены вербальными отчетами испытуемых; вместе с тем вербальное определение цвета может вызвать затруднение в поисках конкретного сенсорного образца. Далее, изменение инструкции приводит к изменению всей схемы ориентировки и соответственно к смещению эталонов цвета. Мы постарались показать, через какие коды инициируется подключение разных *КК*. Идея множественности *КК* также подтверждается нашими экспериментами, особенно данными о смещении красного при разных инструкциях. Выявленные смещения показывают, что ни один из кодов не действует изолированно.

Таким образом мы предполагаем новую теоретическую модель памяти, во многом перекликающуюся с известными ранее. Центральное положение нашей модели состоит в утверждении единой памяти, включающей различные коды. Единицей памяти служит эталон, который претерпевает изменения во времени. Механизмом, ответственным за эти изменения, мы полагаем подключение *КК*. Наличие множества *КК* обуславливает многомерность проявления эталона. Динамикой подключения *КК* могут быть объяснены две тенденции: стабилизации и изменчивости эталона. Неизменность *КК* приводит к доминированию тенденции стабилизации; изменчивость и легкая сменяемость *КК* обуславливает «скольжение» мнемического эталона.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Артемяева Е. Ю.* Психология субъективной семантики. М., 1980.
2. *Бардин К. В., Похилько В. И.* Многомерность сенсорного пространства простых акустических сигналов // Системный анализ сенсорно-перцептивных процессов. М., 1989. С. 103—148.
3. *Василевич А. П.* Исследование лексики в психолингвистическом эксперименте на материале цветообозначения в языках разных систем. М., 1987.
4. *Иванов Л. М., Урванцев Л. П.* Экспериментальное исследование цветовых ассоциаций // Психологические проблемы рационализации деятельности. Ярославль, 1978. С. 55—64.
5. *Измайлов Ч. А., Соколов Е. Н., Черноризов А. М.* Психофизиология цветового зрения. М., 1989.
6. *Корж Н. Н., Леонов Ю. П.* О форме звукового пространства // Вопр. психологии. 1989. № 3. С. 150—154.
7. *Корж Н. Н., Лупенко Е. А., Сафуанова О. В.* Сенсорно-мнемические задачи и индивидуально-личностные особенности (экспериментальное исследование) // Психол. журн. 1990. № 5. С. 35—42.
8. *Ребеко Т. А.* Выбор координат мнемического пространства // Активность и жизненная позиция личности. М., 1988. С. 95—110.
9. *Фрумкина Р. М.* Цвет, смысл, сходство. М., 1984.
10. *Berlin V., Key P.* Basic color terms: Their universality and evolution. Berkeley, 1969.
11. *Clark J., Paivio A.* A dual coding perspective on encoding processes // Imagery and related mnemonic process. N.Y., 1987. P. 5—33.

12. *Hard A.* Differences in colour appearance between mat and glossy coloured objects and how to measure them—a comparison between visual appearances and instrumental measurements//Färgrapport. Colour Report. Göteborg, 1988. Vol. 33. P. 3—29.
13. *Heider E. R.* Universals in color naming and memory//J. Exp. Psychol. 1972. Vol. 93, N 1. P. 10—20.
14. *Jones E. B., O'Gorman J. G., Byrne B.* Forgetting of word associates as a function of recall interval//Brit. J. Psychol. 1987. N 78. P. 79—89.
15. *Leijonhiem Ch.* Colours, forms and art studies in differential aesthetic psychology. N.Y., 1967.
16. *Lupker St. J.* Picture naming: an investigation of the nature of categorical priming//J. Exp. Psychol. 1988. Vol. 14, N 3. P. 444—455.
17. *Lüscher M.* Der 4-Farben-Menschoder Weg zum Inneren Gleigewicht. 1977.
18. *Shimamura A. P.* Word comprehension and naming: an analysis of english and japanese orthographies//Amer. J. Psychol. 1987. Vol. 100, N 1. P. 15—40.
19. *Sholl M. J.* Cognitive maps as orienting schemata//J. Exp. Psychol. 1987. Vol. 13, N 4. P. 615—628.
20. *Weldon M. S., Roediger I., Herry L., Challis B.* The properties of retrieval cues constrain the picture superiority effect//Mem. and Cognit. 1989. Vol. 27, N 1. P. 95—105.
21. *Zimmer A. C.* What really is Turquoise? A note on the evolution color terms//Psychol. Res. 1982. Vol. 44, N 3. P. 213—230.

## ТРУДНО ЛИ ЗАПОМНИТЬ ЦВЕТ?

Исследование цветовосприятия — это комплексная проблема, включающая в себя множество направлений. Одну из ведущих позиций среди этих направлений занимает колориметрия — наука об измерении, количественном выражении цвета. Этот тип исследований представлен знаниями о физических характеристиках излучения в видимой части спектра. Система описания, разработанная в цветоведении, дает возможность охарактеризовать любое цветоощущение с помощью набора трех переменных: цветового тона (соответствующего длине волны), яркости (интенсивности излучения) и насыщенности (свойство, определяющее степень отличия цвета от серого одинаковой с ним светлоты). Подавляющее число цветовых систем строится именно на основе физических характеристик и в недостаточной мере учитывают особенности восприятия цвета человеком. Колориметрические исследования касаются в основном аспекта цветовой стимуляции и в меньшей степени — человеческого опыта восприятия цвета. Для психологов же предметом исследования является не цвет как физический объект, а человек, воспринимающий цвет. Поэтому естественно обратиться к изучению психологической реальности, порожденной отношением между человеком и стимулом в контексте поставленной задачи. Нас интересует не цвет-стимул, а цвет-перцепт, цвет, существующий в восприятии человека в виде предметного образа, который отличается от сенсорного рядом качеств, такими, как «объективность, т. е. локализация образа во внешнем мире, его жесткое связывание с физическим объектом; константность, т. е. определенная независимость перцепта от изменения отдельных сенсорных качеств и условий наблюдения: категориальность, т. е. перцепт является в значительной степени результатом семантической интерпретации актуальных сенсорных качеств: целостность — отдельные сенсорные качества могут существенно меняться в зависимости от того, в какой перцепт они входят» [1].

Картина мира, воспринимаемая человеком, многомодальна, описывается разными языковыми структурами, индивидуально предпочитаемыми системами значений. Естественно допустить, что психологические показатели того или иного языка с очевидностью проявят себя разным набором характеристик в ситуации, адресуемой определенным структурам и схемам памяти, которые косвенно выявляют метрику, конфигурацию мнемического пространства. С другой стороны, выбор эмоционально

окрашенного объекта имеет иной адрес в структуре личности, актуализируя субъективный опыт субъекта, отражающий индивидуальные предпочтения и отношения, эмоциональные состояния человека в цветовом выборе.

Возникает вопрос о том, как представлены физические параметры цвета в сознании человека и какое они принимают участие в формировании перцептивного образа?

Фрумкина Р. М. отмечает, что термины «тон», «яркость» и «насыщенность» имеют совсем иное содержание, чем те же слова, употребляемые в обычном, нетерминологическом смысле. По ее мнению, при помощи этих терминов невозможно адекватно описать цвет [5].

Нельзя сказать, что физические параметры цвета вообще не различаются при восприятии, они различны, но в разной степени. В психологическом смысле наименее ясным и определенным считается термин «насыщенность», который в повседневном понимании или не соответствует никакому определенному смыслу, или отождествляется с яркостью [5]. Б. М. Теплов утверждает, что различимость цветов зависит в первую очередь от разницы их светлот: чем больше эта разница, тем легче различаются цвета. Два цвета, одинаковые по светлоте и максимально различные в других отношениях, гораздо труднее отличаются друг от друга, чем два цвета, совершенно одинаковые во всех других отношениях, но заметно различные по светлоте [3]. В работах Т. Индоу также показано, что разные параметры цвета и их изменения по-разному отражаются в сознании [6].

В экспериментах по изучению психологических значений цветов выявлено, в частности, что определенные значения цветов зависят в большей степени от тех или иных физических параметров цвета [8, 9]. Так, в работе Б. Райта и Л. Рейниотера отмечается, что фактор «сила» связан с такими переменными, как насыщенность и светлота: более темные и насыщенные цвета воспринимаются как более «сильные», а фактор «теплота» связан с тоном, причем зависимость эта тем сильнее, чем меньше длина волны.

Таким образом, связь между физическими параметрами и их отражением достаточно сложна и неоднозначна. На уровне осознанного описания цвета, на уровне языка они могут и не выделяться прямо, однако на неосознаваемом уровне эти переменные могут играть существенную роль при решении различных перцептивных и мнемических задач.

Цель нашего исследования состояла в экспериментальном изучении роли отдельных физических параметров в процессе узнавания заданных цветовых эталонов. Эталон должен был быть идентифицирован одновременно по насыщенности и тону. Процедура эксперимента состояла в следующем. Испытуемому предъявлялся для запоминания на 5с эталон синего ( $X=18,5$ ;  $Y=19,0$ ;  $Z=43,3$ ), красного ( $X=25,0$ ;  $Y=18,0$ ;  $Z=12,1$ ), зеленого

( $X=25,3$ ;  $Y=30,4$ ;  $Z=32,7$ ) и желтого ( $X=63,0$ ;  $Y=60,1$ ;  $Z=22,2$ ) цвета (координаты эталонов даны в системе МКО 1931).

Непосредственно после предъявления испытуемый должен был опознать эталон среди 25 цветowych карточек ( $1,5 \times 2$  см), близких по тону и насыщенности при неизменной светлоте. Цветовые образцы были равномерно расположены по цветовому кругу в системе  $L_{ab}$  (76) и с равными ступенями изменялись на шкале насыщенности. Предъявлялись цветовой карточки 5 разных тонов и 5 ступеней насыщенности для каждого цвета. Карточки раскладывались перед испытуемым в случайном порядке, выбор производился не менее 10 раз для каждого эталона. В эксперименте участвовало 20 здоровых испытуемых с нормальным цветовым зрением в возрасте от 20 до 40 лет.

После основной серии экспериментов испытуемый должен был произвести свободную классификацию используемых цветowych образцов, кроме того, испытуемые давали субъективный отчет о проделанной работе.

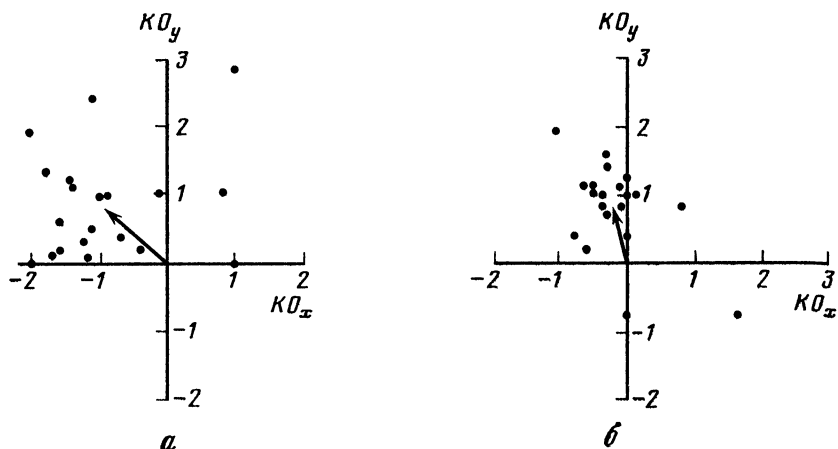
Проводилась также дополнительная серия экспериментов, в которой испытуемый произвольно выбирал из всех образцов наиболее понравившийся ему и наименее приятный, запоминая эти образцы, а затем опознавая их среди других.

## Результаты

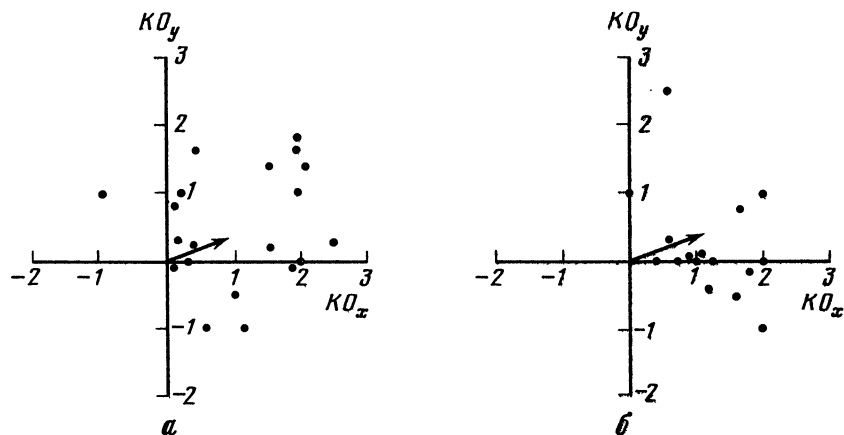
В процессе обработки результатов вычислялись средняя величина эталона по 10 попыткам (точка субъективного равенства), константная ошибка ( $KO$ ) — разность между значениями точки субъективного равенства и эталона и среднее квадратичное отклонение ( $\sigma$ ) по каждой из двух переменных — насыщенности и тону (вычисления производились в условных единицах).

При узнавании эталонов синего и зеленого цвета испытуемые, как правило, отождествляли с эталоном образец, имеющий большую насыщенность и меньшую длину волны, чем эталонная.  $KO$ , таким образом, была соответственно при оценке насыщенности положительной, а при оценке тона — отрицательной. При узнавании эталонов красного и желтого цвета  $KO$  и в случае насыщенности и в случае тона имела у большинства испытуемых положительный знак.

В табл. 1 приведены данные по  $KO$  для эталонов разного цвета. В одном случае (синий и зеленый цвета) имеются «компенсаторные» разнонаправленные сдвиги, в другом случае (красный и желтый цвета) наблюдается однонаправленный сдвиг. Полученные данные свидетельствуют о том, что, во-первых, происходит неосознаваемая переработка информации о каждом из меняющихся параметров, и, во-вторых, о том, что механизмы переработки зависят от того, с каким именно цветом работает испытуемый. Таким образом, в разных областях цветового спектра структура процесса узнавания



**Рис. 1.** Направление смещений точек субъективного равенства по тону и насыщенности ( $KO_x$ ,  $KO_y$ ) относительно *а*—эталоны синего цвета, *б*—эталоны зеленого цвета



**Рис. 2.** Направление смещений точек субъективного равенства по тону и насыщенности ( $KO_x$ ,  $KO_y$ ) относительно *а*—эталоны красного цвета, *б*—эталоны желтого цвета

цвета оказывается различной. На рис. 1, 2 в виде векторов показаны направления смещений относительно значений эталонов разного цвета по двум переменным — насыщенности и тону.

В работе по воспроизведению монохроматических цветов [2] были получены подобные результаты, свидетельствующие о том, что эталоны красного и синего цвета воспроизводились по-разному. Если при воспроизведении синего цвета  $KO$  была в среднем меньше и имела как положительный, так и отрицательный знак, то при воспроизведении красного цвета величина  $KO$  возрастала и имела положительный знак,

т. е. при работе с эталоном красного цвета наблюдается тот же однонаправленный сдвиг. Таким образом, полученные данные согласуются с данными предыдущих экспериментов (на других эталонных образцах), выявленные закономерности носят, по-видимому, в определенном смысле универсальный характер.

Далее, эксперименты показали, что эталон в процессе сохранения может претерпевать динамические изменения. У некоторых испытуемых в процессе узнавания наблюдался так называемый тренд, неуклонное постепенное смещение эталона (точки субъективного равенства) в определенную сторону, который ранее был также отмечен в других работах [2, 4].

Причем испытуемые, у которых был обнаружен тренд в данном эксперименте, проявляют эту особенность и в других психофизических исследованиях. По-видимому, это связано с индивидуальными особенностями восприятия и запоминания сенсорной информации. Возможно, этот феномен говорит о неосознанном стремлении испытуемого «сдвинуть» эталон

Таблица

Константные ошибки (КО) по тону (X) и насыщенности (Y) при узнавании эталонов разного цвета

Испытуемый	Цвет							
	синий		зеленый		красный		желтый	
	КО <sub>x</sub>	КО <sub>y</sub>	КО <sub>x</sub>	КО <sub>y</sub>	КО <sub>x</sub>	КО <sub>y</sub>	КО <sub>x</sub>	КО <sub>y</sub>
1	-1,4	1,2	-0,3	1,4	2,46	0,27	0,6	2,5
2	-1,8	1,3	-0,5	1,1	1,5	1,4	1,2	-0,4
3	-0,1	1,0	0,1	1,0	0,2	1,0	2,0	1,0
4	-2,0	0	-0,4	0,8	2,1	1,4	1,6	-0,5
5	1,0	0	0	0,3	0,09	0,8	1,0	0
6	-1,1	2,4	-0,3	0,7	1,0	-0,45	1,1	0,1
7	1,0	2,8	0,8	0,8	0,4	0,2	0,6	0,3
8	-1,6	0,2	-0,5	1,0	0,3	0	2,0	0
9	-1,0	1,0	-0,55	0,18	0,6	-1,0	1,0	0
10	-1,1	0,5	-0,27	1,55	0,4	1,6	0,75	0
11	0,8	1,0	-0,1	1,1	0,13	-0,13	1,83	-0,17
12	-0,7	0,4	-0,5	1,0	-1,0	1,0	0,4	0
13	-1,55	0,64	0	1,0	1,2	-1,0	2,0	-1,0
14	-1,2	0,3	-1,0	2,0	1,89	-0,11	1,75	0,75
15	-1,36	1,09	0	-0,8	2,0	0	0	1,0
16	-1,7	0,1	1,75	-0,75	2,0	1,0	1,11	0
17	-1,2	0,1	-0,8	0,4	2,0	1,8		
18	-2,0	2,0	0	1,2	2,0	1,7		
19	-0,43	0,29	-0,4	1,0	0,1	0,3		
20	-1,0	1,0	-0,1	0,8	1,5	0,17		

в сторону основных (фокальных) цветов [7]. В частности, при узнавании желтого цвета основная масса испытуемых выбирала в качестве эталона цвет, максимально приближенный к их представлению о желтом (так как эталонным был неярко выраженный желтый цвет). То же наблюдалось и при воспроизведении монохроматических цветов (при работе с эталоном красного цвета).

При свободном выборе эталона (приятный, неприятный) наблюдалось почти стопроцентное узнавание. Столь точное узнавание может объясняться, во-первых, тем, что этому способствует активный выбор (испытуемый имеет возможность сориентироваться в цветовом материале и более точно фиксировать параметры цветового образца) и, во-вторых, на качество запоминания может оказывать влияние эмоциональная окрашенность воспринимаемого стимула, что также согласуется с полученными ранее данными [2].

Таким образом, вопрос о признаках цветового различения решается, по нашим экспериментальным данным, неоднозначно. Движение цветового эталона, видимо, означает большую включенность и значимость определенных параметров, соответствующих данной сенсорной шкале в опознании эталона. Поскольку сенсорная шкала неоднородна, то пространства одного и того же стимула могут быть проявлены с разной степенью отчетливости. В том случае, когда испытуемый выбирает эталон на основе эмоциональной оценки, актуализируется не сенсорное пространство по точности и тонкости различения, а значение цвета для субъекта, т. е. пространство суждений о цвете, индивидуальный вкус, опыт. Для субъекта, видимо, цвет есть то, что извлекается из памяти плюс значение объекта. Точность выбора может быть очень высока, но это уже не имеет отношения к психофизике.

В анализируемых экспериментальных условиях важно дифференцировать различные уровни описания и выяснить условия, позволяющие переходить от одного уровня психической реальности к другому. Экспериментальные задачи с разным адресом, как мы предполагаем, актуализируют разные уровни, поскольку цветовой опыт многомерно отражен в психике.

Когда испытуемых просили произвести свободную классификацию цветов, они раскладывали образцы, исходя из наличия двух параметров. В качестве переменных испытуемые обычно называли оттенок и яркость (насыщенность субъективного воспринималась как яркость).

## **Выводы**

1. Можно предположить, что неосознанно информация о каждом из двух меняющихся параметров (насыщенности и тоне) учитывается в отдельности.



2. В разных областях цветового спектра взаимное влияние этих двух параметров (насыщенности и тона) различно.

3. Эталон в процессе сохранения может претерпевать динамические изменения (тренд).

4. Активный выбор цвета способствует более точному узнаванию.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Измайлов Ч. А., Соколов Е. Н., Черноризов А. М.* Психофизиология цветового зрения. М., 1989.
2. *Корж Н. Н., Лупенко Е. А., Сафуанова О. В.* Сенсорно-мнемические задачи и индивидуально-личностные особенности (экспериментальное исследование)// Психол. журн. 1990. № 5. С. 35—42.
3. *Теплов Б. М.* Основы применения науки о цвете в архитектуре// Современ. архитектура. 1929. № 2. С. 82—86.
4. *Фрумкина Р. М.* Цвет, смысл, сходство. М., 1984.
5. *Indow T., Aoki N.* Multidimensional mapping of 178 Munsell colors// Color Res. and Appl. 1983. Vol. 8, N 3. P. 38—51.
6. *Heider E. R.* Universals in color naming and memory// J. Exp. Psychol. 1972. Vol. 93, N 1. P. 10—20.
7. *Sivik L.* Studies of color meaning// Man-Environ. Syst. 1975. Vol. 5, N 3. P. 155—160.
8. *Wright B., Rainwater L.* The meanings of color// J. Gen. Psychol. 1962. Vol. 67. P. 89—93.

## ПАРАМЕТР ТРЕВОЖНОСТИ И ЦВЕТОПРЕДПОЧТЕНИЕ

Библиография по проблеме взаимосвязи эмоционального отношения к цвету и различных характеристик личности на сегодняшний день обширна и многообразна. Изучаются как собственно семантические характеристики различных цветов, так и взаимное влияние восприятия определенных цветов и особенностей состояния и личности человека. Центральный изучаемый феномен в этом случае — цветопредпочтение. Наиболее традиционны исследования, устанавливающие связь между предпочтением того или иного цвета с некоторыми переменными, характеризующими испытуемых. Чаще всего в таких исследованиях используются цвета восьмицветного набора теста Люшера, но во многих работах цвета подбираются произвольно. Спектр «человеческих» переменных также достаточно широк: от личностных особенностей [10, 14, 16] и моделей поведения [8] до эмоциональных реакций [12] и различных состояний [1, 2, 3].

Результаты многочисленных исследований весьма противоречивы. До сих пор нет единства мнений по поводу правомерности использования цветовых тестов в психологической диагностике, по поводу существования связи между определенными характеристиками личности или состояния человека и предпочтением им тех или иных цветов.

Возможно, одним из источников сложностей в установлении таких связей, а часто и просто сравнения результатов отдельных исследований служит несопоставимость стимульного материала, с одной стороны, и разнообразие психологических переменных, некоторая разноплановость их выделения — с другой.

Наверное, не будет преувеличением сказать, что многообразие цветов бесконечно. С точки зрения их восприятия все оттенки видимых цветов равноправны, и нужны некоторые формальные основания, для того чтобы выбрать конкретные образцы для специального исследования. Определяя критерий такого выбора, стоит вспомнить, что цвет существует только как феномен восприятия. Описание предметов видимого мира в терминах цвета возможно только постольку, поскольку глаз способен по-разному ощущать потоки света, обладающие различными физическими характеристиками. Такая физическая характеристика, определяющая качество цветового тона в восприятии, есть длина волны, или положение цвета в видимой части спектра. Поэтому, видимо, логично для изучения пси-

хологических особенностей восприятия цвета (во всех перечисленных аспектах), использовать «элементарные» цвета, составляющие основу всех возможных модуляций цветов и оттенков.

Второе ограничение связано с необходимостью использовать конечное число оттенков. Хотя спектр и представляет собой континуум переходящих друг в друга оттенков, мы традиционно выделяем семь качественно своеобразных «цветов радуги», составляющих как бы каркас наших представлений о цветовом пространстве. Эти семь спектральных цветов могли бы служить основой (в качестве стимульного материала) для экспериментирования в области психологии цвета.

Как отмечалось, многообразие учитываемых в исследованиях характеристик второго полюса взаимодействия — человеческого — также велико. И прежде всего бросается в глаза их разноуровневость: мужчины — женщины, преступники — неприступники, экстраверсия — интроверсия, сила — слабость нервной системы, депрессия, состояние страха, эмоциональные реакции на художественное произведение и т. д. В ряде случаев были выявлены различия между сравниваемыми группами. Однако соотнесение результатов эпохи исследований затруднено по указанным выше причинам.

Вместе с тем при всем разнообразии психологических теорий и соответственно неоднозначностью многих понятий все же можно найти такие параметры, которые по своей эмпирической природе были бы общепотребимы, поэтому понятны и более или менее операционализированы. К числу таких параметров, по-видимому, относится «тревожность». Эта характеристика удобна прежде всего тем, что теперь уже традиционно выделяется два ее уровня: тревожность как черта личности (ЛТ) и как состояние (СТ) [17]. Использование данной характеристики позволит внести некоторую ясность в вопрос об уровне психологических переменных, оказывающих влияние на отношение к цвету. Кроме того, понятие тревожности комплексное. Оно включает несколько компонентов, в частности эмоциональный и мотивационный, что, в свою очередь, связано с некоторыми внешними особенностями — физиологическими реакциями и характерными способами поведения. И наконец, описаны способы определения и даже в некоторой степени измерения тревожности.

С учетом высказанных соображений проведено экспериментальное исследование. Цель его — выявление возможности использования «чистых» цветов для изучения взаимосвязи эмоциональных переменных и цветопредпочтения, с одной стороны, и эмоциональных переменных разного уровня — с другой. В качестве стимульного материала использовался набор из восьми цветов в полиграфическом исполнении, цветовой тон которых был максимально приближен к чистым, так называемым спектральным цветам или по крайней мере к представлению о них. Каждый из использовавшихся цветов

однозначно назывался соответственно фиолетовым, синим, голубым, зеленым, желтым, оранжевым, красным. Восьмым цветом был пурпурный, представляющий собой смесь фиолетового и красного цветов. Введение этого восьмого цвета частично было данью традиции (часто в аналогичных работах используется 8-цветный набор Люшера), частично это было продиктовано представлением о полноте цветового круга.

В качестве эмоциональных характеристик фиксировалась тревожность как особенность, или черта, личности (личностная тревожность—ЛТ) и состояние тревоги (СТ).

Приступая к исследованию, мы, естественно, предполагали, что эмоциональное отношение к цвету будет изменяться в зависимости от изменения хотя бы одной из эмоциональных переменных.

Исследование проводилось на базе ВЗПИ, в эксперименте приняли участие 63 студента и сотрудника института. Из них было сформировано 4 группы лиц: I—с высоким уровнем ЛТ (17 человек); II—с низким уровнем ЛТ (19 человек); III—с выраженными признаками тревоги перед экзаменом (12 человек); IV—состояние успешно сдавших экзамен (15 человек). Оценка ЛТ производилась с помощью опросника Мельникова-Ямпольского. Состояние перед сдачей экзамена было выбрано в качестве модели состояния тревоги. Каждому испытуемому предлагалось заполнить опросник, выяснялось отношение к экзамену, если человеку предстояло его сдавать, или состояние после успешной его сдачи. Каждый испытуемый дважды, с интервалом 30 мин ранжировал цвета (по процедуре 8-цветного Люшера) по степени предпочтения.

Таблица 1

Средние ранги для каждого цвета по группам  
(по результатам оценки цветопредпочтения)

Группа	Проба	Цвет							
		фиолетовый	синий	голубой	зеленый	желтый	оранжевый	красный	пурпурный
Высокая ЛТ	1-я	5,5	4,4	3,1	3,7	5,7	5,5	4,2	3,7
	2-я	5,8	4,1	3,1	3,7	5,8	4,6	4,2	4,6
Низкая ЛТ	1-я	5,7	3,6	2,1	3	7,1	5,8	4,5	4,1
	2-я	5,9	3,8	2,0	2,8	7,0	5,6	4,2	4,5
До экзамена	1-я	6,3	5,7	3,1	2,8	5,9	5,6	2,9	3,1
	2-я	6,7	4,8	3,3	3,2	6,2	5,1	3,1	3,7
После экзамена	1-я	5,6	3,9	2,6	3,1	6,3	5,7	3,9	4,8
	2-я	6,0	3,7	2,1	3,1	6,5	5,7	4,3	4,0

Для каждого цвета подсчитывался средний ранг. В табл. 1 представлены средние ранги для каждого из цветов по группам.

В табл. 2 представлены усредненные последовательности предпочтения цветов в каждой из групп.

**Таблица 2**  
**Усредненные последовательности предпочтения цветов**

Группа	Цвет							
	голубой	зеленый	пурпурный	красный	синий	оранжевый	фиолетовый	желтый
Высокая ЛТ	голубой	зеленый	пурпурный	красный	синий	оранжевый	фиолетовый	желтый
Низкая ЛТ	голубой	зеленый	синий	пурпурный	красный	оранжевый	фиолетовый	желтый
До экзамена	зеленый красный		голубой	пурпурный	синий	оранжевый	желтый	фиолетовый
После экзамена	голубой	зеленый	синий	красный	пурпурный	оранжевый	фиолетовый	желтый

В табл. 3 представлены статистически значимые различия между группами по предпочтению отдельных цветов (по критерию Манна — Уитни).

**Таблица 3**  
**Различия между группами по предпочтению цветов**

Группа	Высокая ЛТ	Низкая ЛТ	До экзамена	После экзамена
Высокая ЛТ Низкая ЛТ	желтый $p \leq 0,05$			
До экзамена	голубой $p \leq 0,05$	красный $p \leq 0,02$ синий $p \leq 0,01$ голубой $p \leq 0,01$		
После экзамена			красный синий пурпурный голубой	$p \leq 0,1$ $p \leq 0,02$ $p \leq 0,1$ $p \leq 0,1$

Данные, представленные в табл. 1, 2 позволяют выделить некоторые закономерности предпочтения цветов, не зависящие от характеристик групп испытуемых. Так, голубой цвет во всех группах, кроме испытуемых в состоянии тревоги перед экзаменом, имеет наименьший средний ранг, т. е. его можно назвать наиболее предпочитаемым цветом вообще. Аналогично, желтый и фиолетовый цвета отвергаемы также независимо от общей характеристики группы. Такие данные соответствуют тому, что известно из предыдущего опыта экспериментирования в этой области. Так, в 70-е годы обсуждалось существование феномена «голубой—7» [9, 11], смысл которого заключается в том, что большинство европейцев и американцев называют своим любимым цветом голубой, а любимой цифрой—7. Желтый часто приводится в качестве примера не предпочитаемых цветов [7]. Это означает, что, возможно, существует некоторая относительно постоянная последовательность предпочтения чистых цветов, связанная в большой степени с характеристиками самих цветов.

Результаты, отраженные в табл. 3, позволяют связать характеристики, представленные в экспериментальных группах с отношением к разным цветам. Так, очевидно, что повышение уровня личностной тревожности связано с ростом предпочтения желтого цвета. Этот результат не противоречит данным И. Рима и М. А. Поллячека, в исследовании которых было зафиксировано большее предпочтение желтого цвета лицами с высоким показателем невротизма (по Айзенку) [14]. Группа, основной особенностью которой было состояние предэкзаменационной тревоги, отличается от двух других групп (с низким уровнем ЛТ и успешно сдавших экзамен) большим предпочтением красного и меньшим предпочтением синего цветов. По данным исследователей [1, 3], именно восприятие этих цветов изменялось в ситуациях, связанных с изменением состояния человека. Голубой цвет дифференцирует группы с высоким уровнем ЛТ от групп с низким уровнем ЛТ и перед экзаменом, и после экзамена. Низкий показатель тревожности связан с меньшим предпочтением голубого цвета. Этот факт можно интерпретировать по-разному: как связь голубого цвета с параметром тревожности в целом (ЛТ и СТ) или как результат близости характеристик голубого и синего цветов. Различие в предпочтении пурпурного цвета между группами до и после экзамена также трудно объяснить какой-либо особой эмоциональной характеристикой; можно предположить, что в восприятии пурпурного цвета доминируют характеристики красного.

Интересно отметить еще один факт. Несмотря на то что желтый и голубой цвета дифференцируют группы с различными показателями тревоги, положение их в последовательности предпочтения существенно не меняется—голубой остается в группе предпочитаемых цветов, а желтый—отвергаемых. Такое устойчивое положение голубого цвета можно рассматривать как аргумент в пользу его связи, подобно желтому,

с личной эмоциональной переменной, а изменение его положения в последовательности предпочтения в группе перед экзаменом объяснить его близостью к синему. Вместе с тем стабильность предпочтения или отвержения этих двух цветов и их вероятная связь с личностными характеристиками ставит вопрос о возможности влияния механизмов внутренней регуляции психической жизни человека на его отношение к цвету. Если вспомнить, что голубой цвет традиционно ассоциируется с представлением о покое, тишине, а желтый часто называется активным, иногда тревожным, то можно предположить, что такое стабильное отношение к этим цветам у людей, независимо от их психологических особенностей, отражает стремление к внутреннему гомеостазу. Безусловно, все последнее рассуждение можно рассматривать только как постановку проблемы, требующей дальнейшего экспериментального изучения.

### Выводы

1. Существует относительно устойчивая последовательность предпочтения цветов, обусловленная характеристиками самих цветов.

2. Эмоциональные переменные разного уровня (переменная личностной тревожности и переменная состояния тревоги) влияют на предпочтение разных цветов: ЛТ — желтого, СТ — красного и синего.

3. Предпочтение голубого и пурпурного цветов также изменяется в зависимости от эмоциональных особенностей человека, но связать отношение к ним с определенными характеристиками не представляется возможным.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Воробин В. Н., Жидкин В. Н. Изучение выбора цвета при переживании положительных и отрицательных эмоций дошкольников // Вопр. психологии. 1980. № 3. С. 121—124.
2. Ивашкин В. С. Изменение цветоощущения при мотивационном психическом напряжении // Структуры познавательной деятельности. Владимир, 1975. С. 87—108.
3. Ильин Е. П., Умнов В. П. Предпочтение цвета и типологические особенности свойства силы нервной системы // Психофизиологическое изучение учебной и спортивной деятельности. Л., 1981. С. 138—144.
4. Кравков С. В. Глаз и его работа. М., 1950.
5. Мельников В. М., Ямпольский Л. Т. Методическая разработка к 14-факторному личностному опроснику. М., 1987.
6. Попова И. А. К вопросу о возможных индикаторах некоторых эмоциональных особенностей // Личность и деятельность: Тез. докл. к V Всесоюз. съезду психологов СССР. М., 1977. С. 89—90.
7. Фрилинг Г., Ауэр К. Человек — цвет — пространство. М., 1973.
8. Akhtar S. N., Singh U. R. Colour preferences of criminals and non-criminals // Manas. 1974. Vol. 21, N 2. P. 35—41.

9. *Boutwell R. C., Fennell P.* Investigation and theoretical consideration of the «blue-seven» phenomenon//*J. Gen. Psychol.* 1974. Vol. 91, N 2. P. 301—302.
10. *Cattell R. B.* The nature and genesis of mood states: A theoretical model with experimental measurements concerning anxiety, depression, arousal and the mood states//*Anxiety, current trends in theory and research.* N. Y., 1972. Vol. 1. P. 118—185.
11. *Choungorian A.* Extraversion, neuroticism and color preferences//*Percept. and Motor Skills.* 1972. Vol. 34. P. 724—726.
12. *Dörnfeld R.* Color preference and the level of anxiety//*Koczchiki filoz. psychol.* 1982. Vol. 30, N 3. P. 61—72.
13. *Gerard R. M.* Color and emotional arousal//*Amer. Psychol.* 1958. Vol. 13, N 7. P. 340.
14. *Jacobs K. W., Suess J. F.* Effects of four psychological primary colors on anxiety state//*Percept. and Motor Skills.* 1975. Vol. 41, N 1. P. 207—210.
15. *Nakshian J. S.* The effect of red and green surroundings on behaviour//*J. Gen. Psychol.* 1964. Vol. 70. P. 143—168.
16. *Pasciak J., William R.* Note on the «blue-seven» phenomenon among male senior high students//*Psychol. Rep.* 1974. Vol. 35, N 1, pt 2. P. 49V.
17. *Peretti P. O.* Color-mood associations in young adults//*Percept. and Motor Skills.* 1974. Vol. 39, N 2. P. 715—718.
18. *Rim Y., Pollatschek M. A.* Colour preferences of stable and emotional extraverts and introverts//*Bull. psicol. appl.* 1977. N 143/144. P. 133—139.
19. *Sinha J. B. et al.* Sex difference in color preferences of adolescents//*Manas.* 1970. Vol. 17, N 1. P. 17—20.
20. *Spielberger C. D.* Anxiety as an emotional state//*Anxiety: Current Trends in Theory and research.* N. Y., 1972. Vol. 1. P. 30—50.
21. *Stimpson D. V., Stimpson M. F.* Relation of personality characteristics and color preferences//*Percept and Motor Skills.* 1979. Vol. 49, N 1. P. 60—62.
22. *Wilson J. D.* Arousal properties of red and green//*Percept. and Motor Skills.* 1966. Vol. 23. P. 947—949.
23. *Zuckerman M.* General and situation-specific traits and states: new approaches to assessment of anxiety and other constructs//*Emotion and anxiety: New concepts. Methods and applications.* New Jersey, 1976. P. 342—362.



## УРОВНЕВАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЦВЕТОВЫХ ФУНКЦИЙ (нейропсихологическое исследование)

К «цветовым функциям» можно отнести различные операции по переработке информации о цвете: цветоразличение, восприятие цветов, идентификацию, запоминание, сравнение, классификацию, называние цветов, ассоциирование цветов и предметов и др. Широкие возможности для изучения этих процессов открывает нейропсихологический анализ цветовых расстройств вследствие локальных поражений головного мозга, позволяющий оценить качественную специфику разных форм нарушений цветовых функций и тем самым исследовать структуру этой системы в целом.

В литературе описаны несколько типов дефектов, связанных с цветом. К первому типу относятся сенсорные нарушения цветового зрения. Больные либо полностью утрачивают ощущение цвета, и тогда видят мир в оттенках серого — от белого до черного цвета (так называемая ахроматопсия) либо у них наблюдается ухудшение различения некоторых цветов [31, 41, 46].

Ко второму типу можно отнести нарушения, проявляющиеся при выполнении достаточно трудных перцептивных заданий на дискриминацию и интеграцию зрительных параметров, таких, например, как тест Фарнворта — Манселла [50, 40, 48]. Так как непосредственное различение цветов в этих случаях остается сохранным, Е. Де Ренци с соавторами [50] предлагают вслед за Х. Лиссауэром называть такие нарушения апперцептивными, подразумевая под этим нарушение высшей перцептивной основы.

Следующий тип расстройств цветовых функций обозначается многими исследователями как цветовая агнозия [8, 24, 37 и др.]. Считается, что в случае цветовой агнозии нарушается способность к классификации цветов по оттенкам [13] и ассоциирование цветов со знакомыми предметами, хотя цветоразличение остается сохранным. При этом очень часто наблюдается нарушение называния цветов.

Стремясь разделить речевые нарушения цветового зрения и гностические, некоторые авторы [8, 24] наряду с цветовой агнозией предлагают выделять амнестическую цветовую афазию, когда теряется способность называть цвета при отсутствии цветовой агнозии, и сенсорную цветовую афазию, когда больной не понимает цветовых обозначений.

Н. Гешвинд и М. Фузилло [35] описали случай «чистого» нарушения называния цветов, когда сортировка цветов, чтение таблиц Ишихары и ассоциация цветов и предметов в вербальной и невербальной формах были доступны.

Желая пролить свет на природу цветовой агнозии, многие исследователи специально изучали способность ассоциировать цвет со знакомыми предметами [37, 51]. Было обнаружено, что наилучшие показатели по этому тесту наблюдаются у больных с афазиями. На основании этого одни исследователи [51] делают вывод, что в данном случае они имеют дело с общим нарушением концептуализации, наблюдаемым при поражении левого полушария, другие считают, что страдают более специфические процессы переработки зрительной информации [56].

В качестве отдельной самостоятельной функции ряд авторов выделяют мнестическую сторону оперирования с цветами [28, 36, 47].

Однако до сих пор отсутствует общая точка зрения относительно типов нарушения и их соотношения, т. е. общей структуры «цветовой системы».

В настоящей работе мы основывались на представлении об уровне организации цветových функций и возможности изолированного нарушения различных уровней. Ставилась задача исследования всей системы цветových функций комплексно с целью выявления их соотношения при различных дефектах и выяснения, расстройство какой (или каких) из них обуславливает наблюдаемый дефект. Анализ полученных результатов производился с точки зрения связи имеющегося дефекта с локализацией и латерализацией патологического процесса.

## 1. МЕТОДИКА И ИСПЫТУЕМЫЕ

### 1.1. Испытуемые

Ориентируясь на литературные данные, в качестве объекта изучения мы избрали группу больных с поражением преимущественно теменно-височно-затылочных отделов головного мозга. Для контроля исследование проводилось и на нормальных испытуемых.

В группу вошли 71 больной с локальными поражениями головного мозга (среди них 4 левши) и 40 здоровых испытуемых правшей. Среди испытуемых не было лиц с врожденными аномалиями цветового зрения. 52,5% здоровых испытуемых составили мужчины (21 человек), женщины — 19 человек. Средний возраст здоровых испытуемых был 43,6 года. 22 человека имели высшее и незаконченное высшее образование, остальные — среднее.

Среди больных 53,52% составляли мужчины (38 человек). Средний возраст группы больных равнялся 43,1 года. 41 больной имел высшее и незаконченное высшее образование.

22 человека — среднее, 8 человек — неполное среднее образование. В зависимости от локализации и латерализации патологического процесса все больные делились на шесть групп. Больные с поражением левого полушария: теменно-височно-затылочных отделов (ЛТЗ-группа) — 18 человек, теменно-височных отделов (ЛТВ-группа) — 7 человек; с поражением правого полушария: теменно-височно-затылочных отделов (ПТЗ-группа) — 19 человек, теменно-височных отделов (ПТВ-группа) — 9 человек и 18 больных с поражением обоих полушарий, из них 11 человек с поражением теменно-височно-затылочных отделов (ДТЗ-группа) и 7 человек с поражением заднелобно-теменных отделов (ДЛТ-группа).

## 1.2. Методика

Батарейка тестов состояла из 9 отдельных заданий.

1. Полихроматические таблицы Е. Рабкина [20]. Требовалось назвать, какие фигуры или цифры испытуемый видит на таблице. Паттерн ошибок у больных сравнивался с паттерном ошибок, характерных для дихроматов и аномальных трихроматов.

2. Идентификация цветов.

Испытуемому предъявлялись шесть эталонных образцов (красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, фиолетовый, коричневый) и предлагалось к каждому из них подобрать идентичный из используемого набора из 51 стимула. В него входили 5 красных, 5 желтых, 10 зеленых, 9 синих (вместе с голубыми), 4 фиолетовых, 2 пурпурных, 7 коричневых, 2 серых, черный и белый цвета, которые отличались между собой по цветовому тону, светлоте и насыщенности.

В случае неправильной идентификации разрешалось непосредственное сравнение стимулов и повторение попытки подобрать стимул к образцу. Фиксировалось количество попыток и номер подобранного стимула в каждой попытке, который характеризовал выбранный цвет.

Результаты выполнения задания выражались в баллах. Правильное выполнение при одной попытке оценивалось нулевым баллом. За каждую следующую попытку добавлялся один балл. Кроме того, оценивалось «качество» идентификации в каждой попытке. Если выбранный стимул находился в пределах того же класса цветов, что и эталон, добавлялся один балл, если в пределах соседних участков спектра — 2 балла. В случае, когда выбранный цвет был очень далеким от эталона, добавлялось 3 балла. Таким образом, плохое выполнение соответствовало высокой балльной оценке, и наоборот. Анализировался суммарный показатель по всем цветам.

3. Ранжирование цветов по цветовому тону. Этот тест аналогичен тесту Фарнsworthа — Манселла, который направлен на исследование нарушений цветовой перцепции.

Испытуемому предлагалось выложить в ряд восемь стимулов таким образом, чтобы получить плавный переход от одного цвета к другому в каждом из следующих участков спектра: красный—желтый, желтый—зеленый, зеленый—синий, синий—фиолетовый, фиолетовый—пурпурный, пурпурный—красный. Начальный и конечный цвета задавались. Для усложнения задания вводились дополнительно 6 альтернативных цветовых стимулов, немного отличающихся от стимулов ряда по цветовому тону, насыщенности и светлоте.

Для каждого испытуемого подсчитывался балл, характеризующий выполнение задания, по принципу, описанному у Г. Пердриэла [48]. Оценка для каждого ряда находилась как сумма разностей порядков каждого стимула с предыдущим и последующим в ряду. Если включался дополнительный стимул, то в зависимости от степени отличия его от стимулов прибавлялся 1, 2 или 3 балла.

Таким образом, чем хуже выполнялось задание, тем более высокий балл получал испытуемый. Анализировались показатели в каждом участке спектра и суммарный балл по всем секторам.

4. Запоминание цветов. Испытуемому предлагалось найти предъявленный стимул среди указанного набора. Ему по очереди предъявлялись 14 одиночных стимулов, два раза по два стимула и два раза по три. Время предъявления составляло 2 с. Требовалось по памяти найти точно такой же цвет среди используемого набора. Если испытуемый давал ошибочный ответ, то процедура повторялась до тех пор, пока пациент правильно не находил нужный цвет или не давал отрицательный ответ.

Результат выполнения оценивался в баллах, отдельно для запоминания одиночных стимулов и нескольких (двух или трех цветов). Способ подсчета был таким же, как и для теста на идентификацию. Кроме того, подсчитывалось общее количество ошибок в процентах для каждого испытуемого.

5. Подбор цвета к контурному изображению знакомых предметов. Это модификация теста на раскраску М. Левандовского [39], в котором испытуемому предлагалось находить подходящий цвет к изображенному предмету. Использовались изображения семи знакомых предметов: клубники, медведя, ели, лягушки, колокольчика, пламени свечи, цыпленка. Цвет подбирался из описанного ранее набора.

Для каждого стимула составлялась таблица вероятностей всех возможных ассоциаций по результатам нормы. Результат выполнения задания каждым испытуемым оценивался как сумма вероятностей использования выбранного цвета при подборе к каждому из 7 изображений.

6. Вербальная ассоциация—«знакомый предмет—цвет». Испытуемому предлагалось вспомнить и назвать цвет некоторых предметов: пожарной машины, вагона поезда, раствора марганцовки и др.

Производилась оценка количества ошибочных утверждений в процентах.

7. Вербальная ассоциация: «цвет—предмет». Испытуемого просили назвать 5 предметов из следующих цветов: красный, желтый, зеленый, синий. Требовалось называть предметы, для которых данный цвет является одним из характерных свойств. Например, «красный»—гвоздика, огнетушитель, «синий»—джинсы и т. д.

Анализировалось суммарное количество формальных ответов типа «одежда», «цветы», неадекватных ответов типа «желтый помидор» и отказов от выполнения.

8. Называние цветов. Использовался вышеописанный набор из 51 цветового образца. Испытуемым предлагалось называть предъявленные цвета как можно более точно, указывая оттенки, характеристики: яркий, светлый, темный и т. д. так, чтобы, ориентируясь на название, можно было представить себе цвет стимула.

По данным нормальных испытуемых для каждого из использованных стимулов составлялась таблица вероятностей всех встречающихся названий. В соответствии с этим каждое из использованных названий получило свою оценку в баллах, равную относительной частоте употребления этого названия для нормальных испытуемых. Затем для каждого испытуемого производился подсчет средней оценки по каждому классу цветов (красных, синих и т. д.) и суммарного показателя по всем классам. Помимо такого анализа, производился анализ типов названий, как это описано у Н. Николаенко [18]. Для каждого испытуемого подсчитывалось количество (в %): 1) простых названий (красный, желтый и т. д.), 2) названий с характеристиками цвета по светлоте, яркости и насыщенности (ярко-оранжевый, густо-зеленый и т. д.), 3) словосочетаний (серо-фиолетовый), 4) предметно-соотнесенных названий («цвет морской волны»).

9. Классификация цветов по цветовому тону. Это модификация хорошо известного теста на сортировку окрашенных мотков шерсти [см. 13]. Использовался набор из 51 цвета. Испытуемому предлагалось разложить цвета на группы похожих по цветовому тону.

Для анализа выбирался показатель количества ошибочных включений цвета в определенную группу по сравнению с нормой. Неправильной считалась такая классификация, которой не было ни у одного из нормальных испытуемых.

Во всех случаях испытуемые исследовались при дневном освещении, сидя спиной к источнику света. Стимульный материал находился на столе, на расстоянии около 30 см от глаз.

Перечисленные методики можно условно разделить на несколько групп.

1. Задание 1, удостоверяющее отсутствие врожденных аномалий цветового зрения.

2. Задания на идентификацию цветовых эталонов и ранжирование стимулов по цветовому тону (задания 2 и 3). Традиционно считается, что подобные тесты направлены на исследование перцептивного уровня анализа цветовой информации [50].

3. Задание (4), направленное на исследование кратковременного запоминания цветовых эталонов с последующим узнаванием.

4. Тесты на припоминание цвета знакомых предметов в вербальной и невербальной формах (задания 5, 6, 7). Такого рода задания относятся, по мнению Е. Де Ренци, Г. Скотти и Х. Спиннлера, к ассоциативным тестам, исследующим «связь между визуальными данными и образами в памяти и со словами» [50].

5. Задание по называнию цветов (тест 8). Оно направлено на исследование речевого оперирования с цветами — вербального обозначения цвета.

6. Тест на классификацию цветов (9); адресуется в большей степени к интеллектуальному уровню операций с цветовыми стимулами, требующему обобщения по определенному принципу.

Таким образом, использованная батарея методик была направлена на изучение нескольких уровней системы переработки информации о цвете: к сенсорному (задание 1), перцептивному (2, 3), мнестическому — кратковременной (задание 4) и долговременной (5, 6, 7) памяти, собственно речевому (8) и интеллектуальному (9).

Полученные количественные данные анализировались с помощью факторного дисперсионного анализа и/или *t*-статистики [10].

## 2. РЕЗУЛЬТАТЫ

**Полихроматические таблицы Е. Рабкина.** Все здоровые испытуемые и 46 больных с локальными поражениями головного мозга правильно читали таблицы, не сделав ни одной ошибки. Остальные больные в некоторых случаях допускали неправильное прочтение отдельных таблиц, что было обусловлено невнимательностью, оптико-гностическими нарушениями, игнорированием участков зрительного поля или фрагментарностью зрительного восприятия, сужением полей зрения.

Полученные результаты, наряду с данными анамнеза, говорят об отсутствии у обследованных больных и здоровых испытуемых врожденных аномалий цветового зрения.

**Идентификация цветов.** Средние показатели выполнения задания по всем группам испытуемых приведены в табл. 1.

При сравнении показателей с помощью *t*-статистики выявилось, что здоровые испытуемые значительно лучше выполняли это задание, чем другие группы испытуемых ( $p < 0,001$ ). Из всех групп больных худшие показатели наблюдались у лиц с поражением теменно-затылочных отделов правого и обоих

полушарий головного мозга. Так, значение *t*-критерия при сравнении показателей *ПТЗ* и *ПТВ*-групп составило — 2,58 ( $p < 0,02$ ), *ПТЗ* и *ЛТЗ* — 2,63 ( $p < 0,02$ ), *ПТЗ* и *ЛТВ* — 2,59 ( $p < 0,02$ ), *ПТЗ* и *ДЛТ* — 2,09 ( $p < 0,05$ ), *ДТЗ* и *ДЛТ* — 2,20 ( $p < 0,05$ ), *ДТЗ* и *ЛТЗ* — 2,46 ( $p < 0,05$ ), *ДТЗ* и *ЛТВ* — 2,51 ( $p < 0,05$ ), *ДТЗ* и *ПТВ* — 2,46 ( $p < 0,05$ ).

Для больных с поражением *ПТЗ*- и *ДТЗ*-областей характерным было действие, направленное на непосредственное сличение эталона с выбираемым цветом. У некоторых больных *ПТЗ*- и *ДТЗ*-групп имелась выраженная тенденция сравнивать с эталоном все цвета, принадлежащие к тому же классу, что и эталон, и даже цвета, относящиеся к соседнему классу. Если здоровые испытуемые давали окончательный ответ, не совершая внешних действий по непосредственному сравнению стимулов, при этом только в 12 случаях из 240 была допущена ошибочная идентификация, то у больных из этих групп действие из внутреннего плана переносилось во внешний. На нарушение идентификации цветов у больных с поражением правого полушария и, в частности, правой затылочной области прямо указывается в работах Н. Николаенко [18] и М. Сербиненко с соавторами [21].

Таблица 1

Средние показатели выполнения заданий по всем группам испытуемых

Задание	Группа испытуемых						
	Норма	<i>ПТВ</i>	<i>ПТЗ</i>	<i>ЛТВ</i>	<i>ЛТЗ</i>	<i>ДЛТ</i>	<i>ДТЗ</i>
Идентификация цветов (в баллах)	0,45	5,1	13,2	4,57	5,23	6,25	18,61
Ранжирование цветовых образцов (в баллах)	15,03	24,72	26,67	20,83	21,87	19,95	27,02
Запоминание цветов (в баллах):							
I стимул	2,85	11,06	26,3	14,79	18,57	18,57	29,13
более одного	7,13	26,1	40,42	34,5	26,58	36,25	40,57
Подбор цвета к контурному изображению знакомых предметов (в баллах)	2,45	1,58	1,55	1,74	1,51	1,62	1,53
Вербальная ассоциация «знакомый предмет—цвет» (в %)	0	4,44	6,91	14,78	9,46	5,84	11,42
Вербальная ассоциация «цвет—предмет» (число неадекватных ответов)	0	0,1	0,67	1	1,21	1	0,78
Вербальная ассоциация «цвет—предмет» (число ошибочных ответов)	0	1,9	5,42	5	6,43	5,83	3,67
Называние цветов (в баллах)	4,26	3,18	2,98	3,31	2,77	3,35	2,38
Классификация цветов (число ошибок)	0	0,75	2,047	0,86	2,58	2,17	3,29

Таблица 2

Средние значения выполнения задания по ранжированию цветов в различных участках спектра по всем группам больных

Испытуемые	Область спектра*					
	К—Ж	Ж—З	З—С	С—Ф	Ф—П	П—К
Норма	14,9	16,1	16,4	14	14,2	14,2
Больные	21,99	23,19	27,06	22,07	25,99	26,32

\* К—красные цвета, Ж—желтые, З—зеленые, С—синие, Ф—фиолетовые, П—пурпурные

**Ранжирование цветов по цветовому тону.** Показатели для всех групп больных значимо хуже, чем для нормальных испытуемых ( $p < 0,01$ ) (табл. 1). Как видно из таблицы, наихудшие показатели по этому тесту имеют больные ПТЗ- и ДТЗ-групп. Однако различия в показателях групп больных, у которых патологический очаг располагается в пределах одного и того же полушария, незначимы. Больные с поражением теменно-затылочных отделов правого полушария и обоих полушарий хуже выполняли это задание, чем ЛТВ-, ЛТЗ- и ДЛТ-групп.

При сравнении показателей больных с односторонними поражениями выделялись две независимые переменные: фактор латеральности (правое полушарие/левое полушарие); фактор вовлечения в патологический процесс затылочных отделов ( $3^+/3^-$ ). Значимым оказался фактор латеральности ( $F=9,7$ ,  $p < 0,01$ ). Таким образом больные, у которых патологический очаг располагался в правом полушарии, хуже выполняли это задание по сравнению с левополушарными больными.

Анализ показателей (табл. 2) ранжирования в различных частях спектра выявил, что худшие результаты у больных всех групп наблюдались в сине-зеленой и фиолетово-пурпурной областях ( $p < 0,01$ ).

Аналогичные данные были получены в исследованиях Г. Скотти и Х. Спинллера [52], Е. Капитани и др. [29], которые объясняют возрастание ошибок, связанных с этими участками спектра, ухудшением различения по цветовому тону, свойственным как больным, так и здоровым испытуемым.

**Заполнение цветов.** Средние значения показателей выполнения теста по группам испытуемых приведены в табл. 1.

Все группы больных показали худшие по сравнению с нормой результаты по этому тесту, однако наибольшие трудности испытывали больные ДТЗ- и ПТЗ-групп ( $p < 0,05$ ). Для анализа результатов больных с односторонними поражениями выделялись три независимые переменные: фактор полушария, фактор  $3^+/3^-$  и количество предъявляемых стимулов (один и более одного). Значимыми оказались фактор  $3^+/3^-$



( $F=4,41$ ;  $p<0,05$ ) и фактор количества стимулов ( $F=36,4$ ;  $p<0,01$ ). Особенно интересным фактором представляется значимость показателя взаимодействия первых двух факторов ( $F=11,41$ ;  $p<0,001$ ): полушария и вовлечения затылочных отделов. Таким образом ухудшение запоминания цветовых стимулов у группы больных с локализацией очага в теменно-затылочных структурах по сравнению с результатами больных с поражением теменно-височных структур, находится в зависимости от латерализации патологического процесса и резко выражено при поражении правого полушария.

**Подбор цвета к контурному изображению знакомых предметов.** Парный анализ оценок по этому тесту выявил одно значимое различие: по сравнению со здоровыми испытуемыми хуже выполняли задание больные с поражением левой теменно-затылочной области ( $p<0,05$ ,  $t=2,023$ ). Больные ДТЗ-группы также плохо справлялись с этим заданием, однако по сравнению с нормой различие находится на недостаточно высоком уровне значимости ( $t=1,953$ ). Как правило, больные подбирали цвет в пределах того же класса цветов, что и здоровые. Но некоторые больные сделали несколько неадекватных выборов, например к карточке с изображением мухомора подобрали бледно-лиловый цвет; к «цыпленку» — серый и др. У этих больных патологический процесс привел к дисфункции теменно-затылочных и теменно-височных структур левого полушария.

Полученные результаты и наблюдения совпадают с литературными данными [8, 37] относительно роли теменно-затылочных структур левого полушария в выполнении заданий на ассоциацию цвета со знакомыми предметами, дисфункция которых в грубых случаях ведет к возникновению цветовой агнозии.

**Вербальная ассоциация «предмет — цвет».** В качестве сравниваемых переменных служил показатель числа неадекватных ответов, таких, как: «снегирь — голубой», «йод — синий» и т. д. Данные приводятся в табл. 1. Наиболее высокий процент ошибочных ответов наблюдался в группах больных с поражением левой теменно-височной области и теменно-затылочных отделов обоих полушарий. Однако только результаты ЛТВ-группы значимо отличались от показателей других групп больных (кроме ДТЗ- и ЛТЗ-групп).

Обработка результатов с выделением: 1) фактор полушария, 2)  $3^+/3^-$  показала значимость фактора полушария ( $p<0,05$ ,  $F=4,65$ ): менее успешно выполняли это задание больные с левосторонней латерализацией очага.

**Вербальная ассоциация «цвет — предмет».** Результаты больных всех групп значительно хуже, чем у здоровых испытуемых ( $p<0,01$ ) (табл. 1). Лучшие результаты среди групп больных показали больные с поражением правой теменно-височной области ( $p<0,01$ ) (различия в показателях ПТВ-группы и ДТЗ; ПТВ и ДЛТ-групп незначимы).

Сравнение результатов, показанных больными с односторонними поражениями ( $L$ ) фактор полушария; 2)  $3^+/3^-$  выявило значимость второго фактора ( $p < 0,01$ ;  $F = 8,49$ ): худшие показатели по этому тесту имели больные, у которых патологический процесс распространялся на затылочную область.

В качественном отношении у больных различных групп не наблюдалось особых вариаций ошибочных ответов. Это были либо формальные ответы, например, «красная одежда», «синие машины», либо неадекватные — «желтая смородина», «синяя гвоздика», «зеленая свекла», либо отказ от дальнейшего поиска подходящих объектов. Число неадекватных ответов было максимальным у ЛТЗ-группы (табл. 1).

Дисперсионный анализ этих показателей выявил значимость фактора латеральности ( $p < 0,05$ ;  $F = 4,65$ ) и фактора  $3^+/3^-$  ( $p < 0,05$ ;  $F = 4,26$ ). Больные с левосторонней локализацией патологического очага давали большее число неадекватных ответов, чем группа больных с поражением правого полушария. Поражение теменно-затылочных структур приводило к росту числа неправильных ответов по сравнению с теми случаями, когда патологический очаг не распространялся на указанные структуры.

8. Называние цветов. Суммарная оценка названий для всех групп больных (табл. 1) оказалась ниже по сравнению с результатами для нормы ( $p < 0,001$ ). Существуют значимые различия суммарных оценок больных ДТЗ-группы и других групп ( $p < 0,01$ ), кроме больных с поражением левой теменно-затылочной области. В последнем случае различие недостаточно высоко ( $t = 1,39$ ). При сравнении результатов больных с односторонними поражениями выявляется значимость фактора  $3^+/3^-$  ( $F = 5,052$ ,  $p < 0,05$ ) при невыраженности фактора полушария. Таким образом больные с поражением теменно-затылочных отделов хуже называли цвета в этом задании по сравнению с теми, у которых опухоль располагалась в теменно-височных областях, при этом сильных латеральных различий не наблюдалось. Это означает, что при поражении как левого, так и правого полушария происходит ухудшение называния цветов, т. е. задача назвать цвет требует участия обоих полушарий. Такой вывод совпадает с результатами ряда авторов, которые показали, что больные с комиссуротомией могут называть цвет при предъявлении его в левую половину поля зрения, т. е. в правое полушарие [38], а время речевой реакции называния тахистоскопически предъявляемого цвета не зависит от половины поля зрения, в которое предъявляется цвет [34].

Производилось сравнение показателей по классам цветов и анализ типов называний. Сравнение показателей по классам цветов с выделением трех независимых переменных: фактора полушария, фактора вовлечения затылочных отделов ( $3^+/3^-$ ) и фактора «основные» — «промежуточные» цвета, выявило, что

Таблица 3

Средняя частота названий различных типов по группам испытуемых, %

Тип названий	Группа испытуемых						
	Норма	ПТВ	ПТЗ	ЛТВ	ЛТЗ	ДЛТ	ДТЗ
Простые	25,2	38,54	34,78	39,73	46,95	39,55	41,45
С характеристиками по светлоте и яркости	43,24	30,06	34,21	38,74	31,84	31,78	39,37
Предметные	26,57	22,54	25,31	18,66	15,53	21,78	11,06
Словосочетания	25,0	14,55	17,13	9,0	11,98	17,15	14,03

для «основных» цветов (красный, желтый, зеленый, синий) оценки были выше, чем для «промежуточных» (оранжевый, желто-зеленый, сине-зеленый, красно-синий) ( $p < 0,001$ ,  $F = 113,35$ ). Значимыми оказались фактор  $3^+/3^-$  и взаимодействие фактора  $3^+/3^-$  и фактора «основной — промежуточный», т. е. когда патологический очаг захватывал затылочную область, название «промежуточных» цветов страдало сильнее, чем когда опухоль располагалась в теменно-височных отделах.

Частоты различных типов названий в процентах представлены в табл. 3 (средние показатели по группам испытуемых).

Сравнение результатов здоровых испытуемых и больных показывает, что больные чаще, чем здоровые, пользовались простыми названиями для обозначения цвета и реже предметно-соотнесенными словосочетаниями и названиями с характеристиками по светлоте и яркости ( $p < 0,001$ ).

Сопоставление названий у больных с односторонними поражениями показало, что больные с поражением левого полушария чаще прибегают к простым названиям и реже к предметным ( $p < 0,05$ ), чем больные с поражением правого полушария. Фактор  $3^+/3^-$  в данном случае незначим.

Для правополушарных больных характерно использование очень отвлеченных названий, точно не соответствующих какому-либо определенному цвету. Предметное содержание таких предметно-соотнесенных названий оказывается весьма расплывчатым: «море во время бури», «цвет губной помады», «помидорный», «ржавая цистерна» и др. В названиях по типу словосочетаний такие больные иногда употребляли обозначения «светло-бледно-голубовато-фиолетово-розовый», «бело-серо-коричневый» и т. п.

Таковыми же названиями пользовались и больные-левши, у которых опухоль располагалась в левой теменно-затылочной области («цвет грязного ремонта», «выгоревший оливковый», «молочно-буро-розовый»).

Полученные нами результаты согласуются с данными Н. Николаенко [18], которая показала, что при левосторонних унилатеральных судорожных припадках происходит сужение

лексического поля вокруг простых названий, а при правосторонних имеется тенденция к его расширению и обогащению, зачастую за счет использования названий, малосоотносимых с каким-либо определенным цветом.

**9. Классификация цветов по цветовому тону.** При оценке выполнения этого задания за ошибку принималось такое отнесение цветового стимула к одному из классов, которое ни разу не встречалось у здоровых испытуемых. Как видно из табл. 1, больные с локализацией патологического очага в теменно-затылочных структурах хуже выполняли задание по классификации цветовых стимулов.

Сравнение результатов с помощью *t*-статистики выявило серьезные различия показателей ДТЗ-группы и ЛТВ ( $p < 0,05$ ,  $t = 2,66$ ); ДТЗ- и ПТВ-групп ( $p < 0,05$ ;  $t = 2,725$ ).

Остальные различия были незначимы.

Наиболее часто больные допускали ошибки отнесения светло-коричневых и оранжевых цветов к классу желтых; фиолетовых и оранжевых — к классу красных; светло-коричневых — к группе оранжевых, светло-голубого — к группе серых.

Для результатов по всем тестам проверялась выраженность факторов пола, возраста и образования. При этом выяснилось, что эти переменные вносили незначительный вклад в дисперсию оценок и оказались незначимыми. Показатели выполнения заданий на идентификацию, ранжирование и запоминание цветов анализировались с выделением одной переменной — тенденции к игнорированию сторон зрительного поля. Различия были недостоверными. При проверке этих гипотез из анализа исключались данные больных с двусторонними поражениями головного мозга, так как в этих случаях повреждения были более массивными и грубыми.

### 3. ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные результаты мы будем анализировать в двух аспектах: по уровню нарушения системы цветовых функций; по связи между нарушенной функцией и повреждением определенных структур мозга.

В «перцептивных» тестах наибольшее число ошибок допускали больные с двусторонними поражениями теменно-затылочных отделов головного мозга, а среди больных с односторонней локализацией очага — пациенты с поражением теменно-затылочных отделов правого полушария. Такие результаты еще раз подтверждают известную точку зрения относительно роли правого полушария в восприятии, которое обеспечивает мгновенное «схватывание» конкретных, чувственных характеристик объекта и формирование целостного перцептивного образа [3, 5, 14, 21, 44]. На ведущее значение правого полушария при идентификации цветов указывают Д. Давидовф [32, 33], Б. Пеннал [47], М. Сербиненко и др. [21].

Как отмечалось, в тесте на идентификацию больные с поражением правой теменно-затылочной области (так же как и больные ДТЗ-группы), замечали свою ошибку лишь при непосредственном сравнении стимула с эталоном, когда стимулы находились рядом. Перевод взора с выбранного стимула на эталон до такого сравнения не позволял испытуемому заметить ошибку. Полученный факт можно объяснить следующим образом.

Больные с поражением правой теменно-затылочной области не имеют прямых сенсорных дефектов цветоразличия, так как при непосредственном сравнении даже достаточно близких цветовых стимулов они все-таки замечают их различие (как, например, в задании на ранжирование цветов по цветовому тону). В соответствии с известными теориями переработки информации (см. [12]) внешний стимул сначала запечатлевается в сенсорном регистре (иконической памяти), затем образ переходит в кратковременную память и в последующем в долговременную. В иконической памяти след находится менее 1 с [12], постепенно угасая, или стирается при предъявлении другого стимула. Можно предположить, что у рассматриваемой группы больных след, находящийся в сенсорном регистре, угасает быстрее, чем у здоровых испытуемых. И поэтому время саккадического перевода глаз с выбранного стимула на эталон, которое вместе с промежуточной фиксацией и латентным периодом саккады не превышает 0,5 с даже в случае расстояния между стимулами 50 град (подсчет на основе данных, приведенных в [6]) и оказывается больше времени сохранения стимула в иконической памяти. Считая, что в норме подобная задача сравнения цветовых стимулов посредством перевода глаз решается главным образом благодаря иконической памяти, у больных не происходит оптимального сравнения стимулов, так как след предыдущего стимула уже успел угаснуть, а зрительный код, находящийся в кратковременной памяти, таков, что не дает возможности для выявления небольших цветовых различий. О том, что информация, хранящаяся в памяти, как кратковременной, так и долговременной, может быть представлена в зрительной форме, говорят эксперименты М. Познера [49], Р. Шепарда [54] и др. Р. Шепард и его сотрудники полагают, что зрительный код должен быть более или менее прямым отображением первоначального стимула, находиться в отношении «изоморфизма второго порядка» к соответствующей информации реального мира [53]. Об этом свидетельствуют данные Е. Н. Соколова и А. В. Варганова [23]. Реконструированное по оценкам различие между словесно обозначенными цветами, субъективное пространство оказалось изоморфно субъективному пространству цветоразличения.

Поскольку суммарное значение оценок кратковременного запоминания 14 стимулов здоровыми испытуемыми в баллах меньше, чем суммарная оценка идентификации 7 стимулов

больными ПТЗ-группы (2,85—13,21), которые подсчитываются одинаковым образом, постольку у данных больных зрительные копии стимулов, находящиеся в кратковременной памяти, «худшего качества». Иначе, если бы дело было в самом обращении к таким зрительным кодам, эти показатели у больных должны были быть лучше. Логично предположить, что ухудшение зрительных кодов вторично по отношению к дефектам иконической памяти, хотя обратное утверждение не обязательно верно. Опираясь на предыдущие рассуждения, равно как и на литературные данные относительно нарушений зрительной памяти при поражении задних отделов правого полушария [14, 17, 19], следовало бы ожидать, что в задании на кратковременное запоминание цветов наихудшие показатели должны демонстрировать те же группы больных: ПТЗ- и ДТЗ-группы. И действительно, сопоставление результатов выполнения этого задания различными группами больных выявило, что наибольшие затруднения при кратковременном запоминании цветов испытывали больные с поражением теменно-затылочных отделов правого и обоих полушарий.

В пределах этих групп несколько испытуемых с достаточно хорошими показателями в тестах на идентификацию и ранжирование имели значительное нарушение кратковременного запоминания. Это больные с поражением правой теменно-затылочной области и больной (левша) с поражением левой затылочной области. Вероятно, что в этих случаях мы имеем дело с относительно независимыми нарушениями кратковременной памяти. Для объяснения этого факта — хорошей идентификации и плохого запоминания цветов — имеются по крайней мере две возможности. Первая — это предположить у больных дефекты иконической памяти, не регистрируемые, однако, в нашей экспериментальной ситуации. Тогда плохое кратковременное запоминание есть следствие дефектов иконической памяти, и этот случай сводится к рассмотренному выше. Интересно, что близкое к подобному объяснение акустико-мнестической афазии, которая в легком случае проявляет себя невозможностью запомнить несколько слов, высказывает Л. С. Цветкова [26], считая, что у этих больных, вероятно, происходит нарушение иконической памяти как структурного компонента восприятия. Второе объяснение может исходить из предположения о сохранности иконической памяти и избирательного нарушения кратковременной. Это предположение можно конкретизировать, учитывая психологически сложное строение акта опознания [27]. В терминах развиваемых М. С. Шехтером представлений о процессах микрогенеза зрительного опознания наблюдаемые в нашем исследовании нарушения иконической памяти, обуславливающие, в свою очередь, дефекты зрительной кратковременной памяти, можно было бы обозначить как нарушение на уровне «базовых процессов», дефекты «базового» или «текущего перцептивного образа».

Такое предположение явилось бы конкретизацией имеющихся и упоминающихся ранее представлений относительно расплывчатости, нечеткости перцептивного образа при поражении правого полушария. Далее, логичным представляется связать нарушения кратковременной памяти без затруднений при выполнении задания на идентификацию, которые отмечались у части испытуемых рассматриваемой группы, с дефектом «верхнего полюса» идентификационных процессов — формирования эталонов памяти, целостных эталонов. Разумеется, объяснения такого рода гипотетичны и требуют экспериментальной проверки и глубокого теоретического анализа.

Продолжая обсуждение полученных результатов, нужно отметить, что среди ПТЗ-больных была испытуемая, у которой плохая идентификация сочеталась с относительно лучшим запоминанием цветовых стимулов (идентификация — 23,5 балла, запоминание — 22), и, вообще, у некоторых больных этой группы запоминание стимулов оказывается лучше, чем непосредственная идентификация. Однако такое кажущееся противоречие можно объяснить, обращаясь к гипотезе двойного кодирования [45], согласно которой существует два способа представления информации в памяти: словесное, или вербальное, лингвистическое, или невербальное, к которому, в частности, относятся зрительные образы. И если последнее нарушено, то вербальное кодирование может частично компенсировать дефект. Косвенным подтверждением этому является лучший результат больной в задании называния цветов. Так, у нее оценка называния цветов составляет 3,51 балла, тогда как для ПТЗ-группы в целом она 2,58, а для нормы — 4,26 балла. Субъективное обращение к той или иной системе кодирования и его успешность могут обуславливаться требованиями задачи, прошлым опытом или иными факторами. Представление о двойном способе кодирования информации находит некоторое подтверждение в работах ряда авторов, касающихся асимметрии полушарий в зрительном восприятии [4, 14, 17, 19 и др.]. Так, ранее считалось, что левое полушарие связано с вербальными функциями, правое — со зрительно-пространственным восприятием [15, 22]. Затем было показано, что правому полушарию доступны некоторые ограниченные вербальные функции, в то же время левое полушарие участвует в процессах зрительного восприятия [9, 22, 55]. Недавние исследования межполушарной асимметрии зрительного восприятия позволили более четко сформулировать представления о различиях функций правого и левого полушарий.

Так, по результатам Я. А. Меерсона [17], у больных с поражением правой затылочной области нарушается зрительная память на конкретные, наглядные свойства объектов. Вследствие этого процесс опознания происходит путем оценки класса объектов при игнорировании или неточном опознании отдельных деталей. При поражении

левого полушария нарушается оценка иерархии признаков зрительного образа — способность выделить значимые признаки и объединить их в единый зрительный образ, классификация зрительных стимулов, зрительная память на обобщенные категориальные признаки сигналов [17].

Н. Позин, И. Любинский и др. предложили гипотезу о двух типах преобразований в зрительной системе. В соответствии с этой гипотезой правое полушарие можно ассоциировать с подсистемой детального описания объекта, левое — с подсистемой для получения схематического описания, которая обеспечивает кодирование главных, информативных признаков. В основе различий способов обработки сенсорной информации левым и правым полушарием (схематическим и детальным, согласно их гипотезе) авторы на нейрофизиологическом уровне усматривают дихотомию «Х» (тонические) — «У» (фазические) клетки. При этом система тонических клеток связывается с правым полушарием и служит для выделения конкретных параметров стимула. Система фазических «У» клеток обеспечивает кодирование главных, информативных признаков и связана, по мнению авторов, с левым полушарием. Коровым аналогом «Х»- и «У»-клеток сетчатки и ЛКТ авторы считают нейроны с простыми рецептивными полями («Х») и сложными рецептивными полями («У»). Н. Позин, И. Любинский и другие предполагают, что в поле 17 и 18 зрительной коры еще нет различий между полушариями, т. е. обе подсистемы представлены в обоих полушариях. «На уровне поля 18 (или выше) происходит своеобразный „перекрест“ двух рассматриваемых каналов. Каналы схематического описания объединяются в левом полушарии, тогда как каналы детального описания объединяются в правом полушарии» [19, с. 307]. Перцепцию цвета Н. Позин, И. Любинский и др. [19] связывают с правым полушарием, так как концентрирующиеся там Х-клетки предположительно цветооппонентны.

Л. Леушина, А. Невская, М. Павловская [14] также считают, что различия между полушариями заключаются в разных способах обработки сенсорной информации и опознания образов. При этом левое полушарие решает задачу зрительного опознания методом последовательной классификации, а правое — структурным методом.

Вследствие противоположной направленности процессов (в левом полушарии процесс опознания направлен от общего к частностям, правое полушарие дает вначале полное описание изображений, лишь затем может перейти к описанию обобщенному) при сравнении двух изображений правое полушарие быстрее устанавливает их различия, левое — сходство.

Представление о двух типах опознавательных процессов развивает М. С. Шехтер [27]. Согласно его гипотезе, существует концептуальное опознание, опирающееся на выделение и сличение существенных признаков, и перцептивное опознание, в основе которого лежит сличение с целостными эталонами.



Учитывая имеющиеся в нейропсихологии и нейрофизиологии данные, их можно резюмировать таким образом, что существует две нейронные подсистемы кодирования цветовой информации. Одна подсистема обеспечивает абсолютную оценку цвета и реагирует на определенную комбинацию цветового тона, светлоты и насыщенности, вторая — служит для выделения формы, имеющей цветовую окраску. К ней относятся также нейроны, реагирующие на различные движущиеся цветные контрасты. Можно высказать предположение о связи этих двух подсистем с функционированием правого и левого полушарий мозга человека. О существовании подобных нейронов свидетельствуют данные С. Зеки [57], который показал, что в области V4 имеются нейроны с узкой спектральной настройкой (цветокодирующие нейроны) и данные других исследователей [42, 43], показавших, что в зрительной коре обезьян есть нейроны, оптимально реагирующие на движущийся цветовой контраст или цветовой стимул определенной формы.

Обсудим результаты, полученные при исследовании больных с поражением левой теменно-затылочной области. Характерной особенностью этой группы являются плохие показатели по всем ассоциативным тестам (задания 5—7). Такой тип нарушений свойствен больным с поражением левого полушария, на что указывают результаты многочисленных исследований. Вслед за Е. де Ренци с соавторами [50] этот тип можно назвать ассоциативным или выделить ассоциативный аспект в качестве определяющего дефекта зрительного восприятия при повреждении структур левого полушария. Эти авторы считают, что левое полушарие обеспечивает «высшие когнитивные функции идентификации значения». Роль левого полушария в обеспечении процессов обобщения, в частности обобщенного зрительного восприятия, подчеркивается большинством исследователей [13, 15—17, 30]. Дефектность зрительного обобщения возникает вследствие расстройства регулирующей функции речи «вне зависимости от того, пострадала ли сама речь или нет» [17, с. 23]. Однако другими авторами [14] вопрос ставится несколько иначе: так как асимметрия полушарий предшествует возникновению речи, «можно думать, что способ переработки информации — зрительной и других модальностей — является определяющим для развития речевых функций в одном из полушарий, а именно: классификация образов в левом полушарии... создает базис для формирования речи как высшей формы абстракции» [14, с. 93].

Таким образом, согласно упомянутым авторам, дефект зрительного обобщения первичен. Общеизвестно, что при поражении левого полушария страдает и вербальная память [11 и др.]. Что касается цветового восприятия, то именно трудности соотнесения объекта и цвета при поражении левой теменно-затылочной области и являлись для многих авторов [8, 24, 37 и др.] критерием для диагностики цветовой агнозии.

В наших исследованиях не наблюдалось значимого превосходства левого полушария в решении задачи называния цвета, хотя показатели ЛТЗ-группы были несколько хуже показателей других групп больных с односторонними поражениями. Вероятно, название цвета с учетом оттенков является трудной не только вербальной, но и перцептивной задачей и требует участия обоих полушарий. Это подтверждается значимым ухудшением результатов ДТЗ-группы. Тем не менее на ведущую роль левого полушария в цветообозначении указывает большее число ошибочных ответов — названий у ЛТЗ-больных по сравнению с ПТЗ-группой (ЛТЗ — 10, 79%, ПТЗ — 3, 45%;  $F=18,7$ ;  $p < 0,001$ ). Последнее требует пояснения. К ошибочным названиям мы относили неадекватные названия, такие, которые ни разу не употреблялись здоровыми испытуемыми. Ситуация назвать цвет ставит перед испытуемым задачу ориентироваться на существенный признак — цветовой тон, который позволит отнести предъявляемый стимул хотя бы к одному из основных классов цветов. Но именно способность выбрать главный, существенный признак для обобщения и опознания, оценить иерархию признаков и нарушается при поражении левой теменно-затылочной области [17]. Полученные результаты относительно характера изменения структуры лексического поля при поражении левого и правого полушарий полностью совпадают с имеющимися данными [18]. На наш взгляд, для правильного и точного называния цвета необходима сохранность системы не только вербального кодирования, но и перцептивного опознания. Поэтому использование названий, трудносоотносимых с каким-либо определенным предметом, обусловлено не только реципрокным усилением функции левого полушария, но и дефектом перцептивного типа, наблюдаемым при поражении правого полушария.

Не выпадают из общего контекста существующих представлений и результаты выполнения задания на классификацию цветов: больные с поражением левого полушария, в частности левой теменно-затылочной области, несколько хуже справлялись с этим заданием, хотя различия и не были значимы.

Отметим еще ряд факторов, а именно: вовлечение в патологический процесс затылочных долей резко ухудшает показатели практически по всем цветовым тестам. В этом смысле мы не получили подтверждения данных [29] о ведущей роли теменных структур в обеспечении процессов переработки информации о цвете [29].

Таким образом, экспериментальное исследование с помощью нейропсихологических методик позволило выявить дефекты процессов переработки цветовой информации трех типов, преимущественно связанные с механизмами правого и левого полушарий мозга. Первый, «перцептивно-мнестический», тип нарушений возникает при поражении правого полушария и проявляется в заданиях на идентификацию цветов, ран-

жирование стимулов по цветовому тону и кратковременное запоминание цветовых эталонов. Второй, «ассоциативный», тип нарушений наблюдается при дисфункции структур левого полушария и заключается в трудностях соотнесения предмета и присущего ему цвета как в вербальном, так и в невербальном заданиях. При этом наблюдается общее для обоих типов изменение структуры речевых обозначений цвета. Описанные нарушения имеют модально-специфический характер и наиболее отчетливы при вовлечении в патологический процесс затылочных областей. Анализ результатов показывает, что успешное оперирование с цветами достигается только при совместном участии обоих полушарий головного мозга.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Артемяева Е. Ю., Мартынов Е. М.* Вероятностные методы в психологии. М., 1975.
2. *Бабаджанова Н. Р.* Нарушение тактильных функций у больных с поражением теменных долей мозга: Автореф. дис. ... канд. психол. наук. М., 1984.
3. *Бартусявичюс Э. В.* Влияние сходства форм изображений на точность их узнавания: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Л., 1984.
4. *Балонов Л. Я., Деглин В. Я.* Слух и речь доминантного и недоминантного полушарий. Л., 1976.
5. *Белый Б. И.* Особенности переработки информации в правом и левом полушариях мозга человека // Журн. невропатологии и психиатрии им. С. С. Корсакова, 1982. Т. 82, вып. 7. С. 1091—1098.
6. *Гиттенпрейтер Ю. Б.* Движения человеческого глаза. М., 1978.
7. *Глезер В. Д., Дудкин К. Н., Куперман А. М.* и др. Зрительное опознание и его нейрофизиологические механизмы. Л., 1975.
8. *Давиденков С. Н.* Клинические лекции по нервным болезням. Л., 1956. Вып. 2.
9. *Зальцман А. Г.* О роли правого и левого полушарий мозга в процессах лицевого гнозиса // Физиология человека. 1982. Т. 8, № 1. С. 80—92.
10. *Кимбл Г.* Как правильно пользоваться статистикой. М., 1982.
11. *Киященко Н. К.* Нарушения памяти при локальных поражениях мозга. М., 1973.
12. *Клацки Р.* Память человека: структуры и процессы. М., 1978.
13. *Кок Е. П.* Зрительные агнозии. Л., 1967.
14. *Леушина Л. И., Невская А. А., Павловская М. Б.* Различия способов обработки зрительной информации в правом и левом полушариях // Психол. журн. 1981. Т. 2, № 3. С. 81—94.
15. *Лурия А. Р.* Основы нейропсихологии. М., 1973.
16. *Меерсон Я. А.* О некоторых механизмах нарушения зрительного гнозиса при локальных поражениях мозга // Журн. невропатологии и психиатрии им. С. С. Корсакова. 1981. № 3. С. 349—357.
17. *Меерсон Я. А.* Нарушения зрительного гнозиса при локальной патологии головного мозга: Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Л., 1982.
18. *Николаенко Н. Н.* О роли доминантного и недоминантного полушарий мозга в восприятии и обозначении цвета // Физиология человека. 1981. Т. 7, вып. 3. С. 441—448.
19. *Позин Н. В., Любисткий И., Левашов О. В.* и др. Элементы теории биологических анализаторов. М., 1978.
20. *Рабкин Е. Б.* Полихроматические таблицы для исследования цветоразличения. М., 1971.
21. *Сербиненко М. В., Голуцын Т. А., Репин В. Я.* Об участии левого и правого полушарий в восприятии вербальных и невербальных сигналов // Бессознательное. Природа. Функции. Методы исследования. Тбилиси, 1978. Т. 2.

22. Симерницкая Э. Г. Доминантность полушарий. М., 1978.
23. Соколов Е. Н., Вартапов А. В. Семантическое цветовое пространство // Психол. журн. 1985. Т. 6. С. 17—23.
24. Тонконогий И. М. Введение в клиническую нейрофизиологию. М., 1973.
25. Хомская Е. Д., Соркина Э. Г. Динамические нарушения цветового восприятия при поражении теменно-затылочных отделов мозга // Докл. АПН РСФСР. М., 1960. № 6.
26. Цветкова Л. С. Новый подход к афазии и научные основы восстановительного обучения // Актуальные проблемы современной психологии: Материалы междунар. конф. М., 1983. С. 237—240.
27. Шехтер М. С. Зрительное опознание. Закономерности и механизмы. М., 1981.
28. Boller F., Spinnler A. Visual memory for colors in patients with unilateral brain damage // Cortex. 1967. Vol. 3. P. 395—405.
29. Capitani E., Scotti G., Spinnler A. Colour imperception in patients with focal excisions of the cerebral hemispheres // Neuropsychologia. 1978. Vol. 16. P. 491—496.
30. Cohen R., Kelter S. Cognitive important of aphasics in a color-to-picture matching task // Cortex. 1979. Vol. 15. P. 235—245.
31. Crichtley M. Acquired anomalies of colour perception of central origin // Brain. 1965. Vol. 88. P. 711—724.
32. Davidoff J. B. Hemispheric sensitivity differences in the perception of color // Quart. J. Exp. Psychol. 1976. Vol. 28. P. 387—394.
33. Davidoff J. B. Hemispheric differences in hue discrimination // Mod. Probl. Ophthalmol. 1976. Vol. 17. P. 353—356.
34. Dimond S., Beaumont L. Hemisphere function and color naming // J. Exp. Psychol. 1972. Vol. 96. P. 87—91.
35. Geschwind N., Fusillo M. L. Color—naming defects in association with alexia // Arch. Neurol. 1966. Vol. 15. P. 137—146.
36. Hannay H. J. Asymmetry in reception and retention of colors // Brain and Lang. 1979. Vol. 8. P. 191—201.
37. Kinsbourne M., Warrington G. K. Observations on colour agnosia // J. Neurol., Neurosurg. and Psychiat. 1964. Vol. 27. P. 296—299.
38. Levy J., Trevarthen C. Color-matching, color-naming and color-memory in split-brain patients // Neuropsychologia. 1981. Vol. 19. P. 523—542.
39. Lewandowsky M. Veber Abspaltung des Farbenninnes // Ztschr. Psychiatr. und Neurol. 1908. Bd. 23. S. 488—510.
40. Lhermitte F., Chain F., Aron D. et al. Des troubles de vision des couleurs dans les lésions posterieurs du cerpean: A propos de 42 observations // Per. Neurol. 1969. Vol. 121. P. 5—29.
41. Meadows J. C. Disturbed perception of colours associated with localized cerebral lesions // Brain. 1974. Vol. 97. P. 615—632.
42. Michael C. R. Columnar organization of color cells in monkey striate cortex // J. Neurophysiol. 1981. Vol. 46. P. 587—604.
43. De Monasterio F. M., Schein S. J. Spectral bandwidths of color-opponent cells of geniculocortical pathway of macaque monkeys // J. Neurophysiol. 1982. Vol. 47. P. 214—223.
44. Nebes R. D. Perception of spatial relationships by the right and left hemispheres in commissurotomized man // Neuropsychologia. 1973. Vol. 11. P. 285—289.
45. Paivio A. Imagery and verbal processes. N. Y., 1971.
46. Pallis C. A. Impaired identification of faces and places with agnosia for colours // J. Neurol., Neurosurg. and Psychiat. 1955. Vol. 18. P. 218—224.
47. Pernal B. E. Human cerebral asymmetry in color discrimination // Neuropsychologia. 1977. Vol. 15. P. 563—568.
48. Perdriel G. Le test de Farnsworth 100 Hue // Ann. Oculist. (France). 1962. Vol. 195. P. 120—130.
49. Pozner M. J., Bries S. J., Sichelmam W. H., Taylor R. L. Retention of visual and name codes of single letters // J. Exp. Psychol. 1969. Vol. 79, N 1.
50. De Renzi E., Scotti G., Spinnler H. Perceptual and associative disorders of visual recognition. Relationship to the side of the cerebral lesion // Neurology. 1969. Vol. 19. P. 634—642.

51. *De Renzi E., Faglioni P., Scotti G., Spinnler H.* Impairment in associating colour to form concomitant with aphasia // *Brain*. 1972. Vol. 95. P. 293—304.
52. *Scotti L., Spinnler H.* Colour imperception in unilateral hemisphere-damaged patients // *J. Neurol., Neurosurg. and Psychiat.* 1970. Vol. 33. P. 22—28.
53. *Shepard R. N., Chipman S.* Second-order isomorphism of internal representations: Shapes of states // *Cognit. Psychol.* 1970. Vol. 1 P. 1—17.
54. *Shepard R. N., Metzler J.* Mental rotation of three-dimensional objects // *Science*. 1971. Vol. 171. P. 701—703.
55. *Sperry R. W.* Lateral specialization in the surgically separated hemispheres // *The neurosciences third study programm.* Cambridge (Mass.); L., 1974. P. 5—19.
56. *Varney N. R., Dique K.* Color «amnesia» without aphasia // *Cortex*. 1983. Vol. 19. P. 509—516.
57. *Zeki S. M.* Colour Coding in the cerebral cortex: the responses of wareleryth-selective and colour coded cells in monkey visual cortex to changes in wareleryth composition // *Neuroscience*. 1983. Vol. 9. P. 767—781.

## СЕМАНТИКА ЦВЕТА В ЭВОЛЮЦИИ ПСИХИКИ ЧЕЛОВЕКА

Связи цвета с психической деятельностью человека многочисленны и многосторонни. Феномен цвета для бодрствующего глаза лишь наполовину объективен, т. е. глазу для ощущения цвета необходим раздражитель в виде света, в остальном восприятие субъективно, но и лишенный света глаз (точнее, мозг) способен продуцировать цветовые образы, порой не менее яркие, чем бодрствующий [9].

Трудно назвать такую область культуры, где цвет не играл бы более или менее существенной роли. Это поистине вездущее явление.

Естественно, что человек как существо мыслящее постоянно пытается понять смысл цвета как в природе, так и в культуре; он задает вечные вопросы: «Что это?», «Откуда?», «Почему?», «Зачем?», т. е. пытается понять значение цвета, содержание скрытой в нем информации, его язык. Процесс раскрытия смысла цвета начался одновременно с началом его использования [24] и продолжается по сей день. В наши дни, говоря о смысле цвета, употребляют термины: «символика», «семантика», «информативность», «образ», «знак», «эмблема», «метафора», «аллегория» (возможны также названия других поэтических приемов).

С древнейших времен была замечена тесная связь цвета с психикой, способность его воздействовать на эмоции и даже на физиологические функции человека. Об этом говорят бесчисленные археологические и этнографические данные о ритуальной и военной раскраске древних и примитивных народов; об этом свидетельствуют также мифология и фольклор всего мира. Позднеантичная наука уже высказала гипотезу о причине столь сильного влияния цвета на душу: «Быть видящим,—сказал Аристотель,—значит быть каким-то образом причастным к цвету» [3, с. 425]. Плотин распространил эту идею на все процессы восприятия и познания, сформулировав закон «Подобное познается подобным» [17]. Материалистическая наука после античности знает, что в органе зрения человека (до сих пор еще недостаточно изученном) заложено нечто «цветное», отзывающееся на внешнее раздражение, а также способное проецироваться изнутри вовне. Говоря о взаимодействиях цвета с ощущениями и сознанием человека, мы используем термины: «психологическое воздействие цвета».

«чувственно-нравственное действие» (Гете), «эмоциональные или эстетические реакции на цвет», «выразительность», «суггестивность», «цветовые ассоциации», «синэстезии», «цветовое мышление», «цветочувствительность (сенсоризм по отношению к цвету) и др. Нередко в специальной литературе эти термины и понятия употребляются неверно, одно заменяется другим, категории объективного и субъективного рядов не различаются. Между тем излишне было бы разобраться во всех этих понятиях и привести их в некоторую (пусто и не идеальную) систему. Такая систематизирующая работа, как показала история науки, совершается не только во имя формы и не остается чисто формальной. Она может показать знакомые факты в ином свете и тем самым прибавить нечто к нашим знаниям о мире и человеке.

Вряд ли может быть оспорена гипотеза, что цвет — продукт человеческого органа зрения и психики в целом. Поэтому естественно рассмотреть феномен цвета с точки зрения исторического развития психики — индивидуальной и коллективной.

Первый цвет, замеченный и воспроизведенный людьми, был, по-видимому, красный. Академик А. Окладников объясняет это «первородство» красного тем, что он ассоциировался в сознании людей с кровью, огнем, солнцем, осенними листьями [24]. Многие мифы прямо отождествляют красную охру с кровью первых богов, титанов, первочеловеков, демидургов и т. п. существ [27]. И когда археологи находят в древнейших наскальных изображениях красные отпечатки рук, или изображение раны на теле бизона, или красную охру на черепе шумерского скелета, то здесь красный цвет воспроизводит действительность, является редупликацией крови и в таком качестве может быть назван только мифом (а не символом, как это встречаем в литературе). Верным критерием отличия мифа от других семантических модификаций может служить его происхождение: миф порождается только коллективным сознанием (и подсознанием), он поддерживается в своем существовании коллективным приятием и абсолютной общепонятностью. Мифологические значения цвета архетипичны, они базируются на неизменных свойствах как природы, так и человека. Кровь всегда была красной, и всегда ее вид волновал людей, вызывал в них избыточное по сравнению с нормой эмоциональное напряжение. Этим, кстати, объясняет первичность красного В. У. Тернер [28]. Мифотворчество предполагает полную нерасчлененность чувства и мысли, миф соединяет «все со всем», не смущаясь ирреальностями и алогизмами — ведь архаическое мышление не видит разницы между реальным и фантастическим, а логикой пользуется только на бытовом производственном уровне [22].

Цвет, употребленный в мифологическом значении, не символизирует что-либо, а является чем-либо. Так, например,

красная окраска столбов в критских дворцах, красные повязки, амулеты, вышивка на одежде являются средством против злых духов и враждебных сил, красное церковное вино—это кровь Христа (в сознании верующих—воистину, а не символически).

Другие цвета основной триады—белый и черный, как в древности, так и в другие времена, часто выступают в роли мифов, т. е. знаков, нераздельных с означаемым (еще не разделившихся или вновь воссоединенных волей художника). Так, например, белые одежды не только означают чистоту, но и воплощают ее. Так же неразделим белый с идеей абсолютного покоя, холода и пустоты, эквивалент которым—смерть. Поэтому белый—цвет погребальных саванов, привидений, траурной раскраски у примитивных народов, траурной одежды японцев и китайцев [28].

Белый—самый светлый из всех цветов, он светносен, и поэтому он не «обозначает» свет, а является им. Отсюда происходят белые одежды небесных богов и их земных заместников—царей, жрецов, вельмож. Холодность и мертвенность белого пришли в пору и таким пугающим загадочным явлениям, как альбиносы (которые у темнокожих народов почитаются как божества) или как сам дьявол в образе животного (Белый кит). Только в новое время белый стал обозначать радость и веселье, в древности и Средневековье он чаще всего мифологически отождествляется с безмолвием, бесстрашием, ритуальной (или физической) смертью. Поэтому в России вплоть до XIX в. свадебный наряд невесты во время «печальной» части свадьбы состоял из всего белого, без украшений, или из белого с черным, поскольку здесь черный оказывается эквивалентом белого (крайности сходятся) [18]. Заметим, что во второй, «веселой» части свадьбы преобладает красный цвет—и в одежде, и в свадебной утвари [18].

В наше время когда во всех областях духовной деятельности возрождаются мифологизм, белый цвет появляется в виде своеобразного «пугала», замораживающего кровь. Таковы, например, жилища, где поселяется смерть: дом Бернардины Альба (Лорка), комната Мэрилин Монро в последние месяцы ее жизни, комната героини Жана Конто в пьесе «Человеческий голос». Вот авторская ремарка к пьесе: «Ночная рубашка, пеньюар, потолок, дверь, кресла, чехлы, абажур лампы—ослепительно-белого цвета». Во второй половине XIX в. появилась гиперреалистическая скульптура из белоснежного гипса (Сегал), и даже такие «объекты», как 40-километровая белая стена из ткани, которую соорудил ленд-артист Кристо.

Для пионеров архитектуры XX в. и посткубистической живописи (супрематизм, неопластицизм) белый цвет стен или фонов картин отождествлялся с бесконечно-мерным свободным пространством. Белые стены воспринимались всеми людьми



(столь же коллективно, сколь и подсознательно) как бездонное свободное пространство, в чем европейцы ХХ в. на свой лад солидаризировались с японцами, китайцами и индусами начала нашей эры. Ведь и в китайских свитках белое—это пустота (шунья, тождественная плодотворной пустоте души, очищенной для появления в ней божества) [6]. Но разве мог бы сказать Ле Корбюзье или Фернан Леже, что белый цвет стен в их проектах что-то обозначает? Он не обозначает, а является простором, воздухом, светом, которых столь возжаждал ХХ в. после тесноты и духоты ХІХ в. Воображение рисует на белом любые картины, давая простор творчеству зрителя (кстати, такие картины тоже появлялись в наше время). По этой же причине ценили белую стену и в средние века. Как верно заметил В. Быков, «белый цвет—цвет предвечного безмолвия. Как белая стена или доска перед иконописцем, он таит в себе бесконечные потенции любой реальности, любой цветовой палитры [4].

Черный цвет также содержит мифические смыслы: он тождествен мраку—и физическому, и душевному. Отсюда его причастность к магии, преисподней (подземному царству), просто земле как убивающему и порождающему началу и, наконец, женственности как аналогу матери-земли. У примитивного народа ндембу «черный—это зло, дурные вещи», но вместе с тем он обещает счастье в любви. Женщины с очень черной кожей ценятся у этого народа не как жены, а как любовницы. Новобрачные юноши окрашивают половые органы черной краской, что придает им привлекательность [28]. Здесь черный цвет нерасторжимо соединен с самой сущностью явления и тем самым, несомненно, мифологичен. Но когда старухи племени ндембу мажут пороги хижин черной краской в знак счастливого брака, то здесь цвет является просто знаком, эмблемой (подробнее об этом позже). Очень верно и емко выражена мифологическая суть черного в строфе индийского поэта-мусульманина Хосрова Дехлеви:

Цвет славных Аббасидов—черный цвет,  
Принадлежит он первой из планет.  
И мрак ночей всегда бывает черным,  
Нисходит он покоем животворным.  
И родинка красавицы черна,  
Как смоль, ее густых волос волна [1, с. 62]

Наше время возродило с новой силой архетипический негативный смысл черного цвета. Он появляется в живописи как носитель идеи страдания, смерти (Уистлер), безумия, гибели мира (Чурленис), хаоса и содома (экспрессионисты), «смерти искусства» (Малевич). Тончайший цветочувствитель В. Кандинский воспринимает черное исключительно негативно—и в этом видится отзвук массового сознания, голос «духа времени»: «И как некое ничто без возможностей, как

мертвое ничто, когда солнце угаснет, как вечно молчание без будущего и без надежды звучит внутренне черное... Черное есть нечто погасшее, как сожженный костер,— нечто бездвижное, как дух, лежащее за пределами восприятий всех событий... мимо которых проходит жизнь. Это молчание тела после смерти, конца жизни» [10, с. 63]. Эти маленькие «стихотворения в прозе» о цвете нельзя считать просто индивидуальными ассоциациями художника, как, например, у А. Рембо, Л. Херна, А. Шлегеля, В. Набокова, Б. Пастернака, А. Вознесенского и множества других поэтов. Литературные произведения Кандинского потому и заслужили столь широкую известность и долгую жизнь, что их автор—носитель и выразитель коллективного сознания, наследник древних мифов и творец новых.

В приведенной здесь краткой выдержке о черном цвете это явствует из реалий, упоминаемых художником: смерть и молчание, мрак, уголь костра. Все это неразделимо связано с черным испокон веков и по сей день. В этом трагическом цвете наш век как будто видит сам себя, узнает в нем нечто близкое. Чем иначе объяснить такое явление, как выставка изобразительного искусства под названием «черное», состоявшаяся в Дюссельдорфе в начале 80-х годов? Шедевром выставки было произведение Йозефа Бойса. «Он показал на белой стене небольшой черный круг, похожий на лоскуток черного материала. Подойдя ближе, можно убедиться, что выставлена... пустота. В стене зияет дырка, наподобие отверстия для печной трубы» [29, с. 25]. Обозреватель журнала «Шпигель» трактует это произведение как «черный юмор», но, думается, он неправ. Идея Бойса может быть понята гораздо глубже; художник стремился показать истинный, абсолютно черный цвет, который невозможно передать никакой краской, а только физическим устройством, представляющим собой полость с небольшим отверстием, вычерненную внутри. Это и сделал Бойс, предоставив возможность зрителю погрузиться взглядом в бездонную глубину абсолютного мрака и пережить его древний ужас. Ведь абсолютно-белый цвет только мыслим, но недостижим земными средствами. Слишком яркое сияние ослепляет глаз, а умеренно-белый, доступный восприятию, всегда имеет хроматическую примесь (по этой причине импрессионисты заявляли, что в природе нет чисто-белого и чисто-черного). Произведение Бойса невольно напоминает эпизод из детства Ж.-П. Сартра, рассказанный им в книге «Слова». Ребенком он увидел приоткрытый люк погреба, и тут же понял, что такое смерть. Черная яма больше сказала ему о смерти, чем, например, вид покойницы-бабки в гробу, который его нисколько не растрогал [25]. Черное у Бойса или Сартра—типичные примеры цвета-мифа. Такое же самодовлеющее переживание цвета и углубленное проникновение в него является художественной задачей поп-арта, «искусства жеста» (экспрессивного абстракционизма), а также

отчасти геометрической живописи. Они творят новые мифы, но нередко воспроизводят и древние.

Классический пример мифологизации зеленого цвета в Египте описан М. Э. Матье [20]. На праздник воскресения Осириса египтяне приготавливали своеобразную икону: насыпали в плоский ящик землю и сеяли в нее ячмень, причем контур засеянного пятна имел форму человека, Осириса. Ко времени воскресения бога ячмень прорастал и контур покрывался молодой зеленью. Нельзя представить себе более тесной связи между зеленым цветом, возрождением, божественной сущностью хлеба, идеей единства смерти и жизни. Это типично мифологический синкретизм, нераздельность идеи и ее материального воплощения. Здесь зеленый не символизирует Осириса, а является им самим.

«Цветовые мифы» обильнее всего «произрастают» в древних культурах, но не иссякают и по сей день, поскольку не иссякают в психике человека пралогическое и подсознательное начало, к тому же соединенное с инстинктом стадности (или коллективизма).

Дифференциация и расслоение человеческого общества, возникновение социальной иерархии сопровождаются также расслоением мыслительных структур и психики. Развитие художественного творчества раздваивает мир на реальный и изображенный. Развитие речи и появление письменности (пиктографии хотя бы) приучает сознание человека к разделению на знаки и означаемое. Логическое мышление, разделение понятий занимают в жизни все большее место. Здесь и появляется цветовая символика.

Символ—это нечто, обозначающее не само себя, а что-то другое. В символике десигнат и денотат разделены, хотя связь между ними еще не устранена окончательно. Уже в доисторическом искусстве возникают пластические, графические и цветовые символы, как, например, столбы, обелиски и башни, обозначающие мужское начало, дольмены, «птички», треугольники и ромбы (женское начало), бусы, кольца, браслеты, повязки—символы космических и апотропейных сил и прочее. Древняя и средневековая культуры полны всевозможной символикой. В Древнем Китае существовали сложные символические системы, связывающие цвета со сторонами света, времени года, животными, стихиями (материалами), органами тела, видами оружия, орудиями труда, духами и первопрародителями. Аналогичные системы, несколько более компактные, существовали в Древней Индии, Монголии, Тибете [26]. Широко развита цветовая символика в Древней Анатолии, Элладе, Риме. Античные философы до Аристотеля находятся как бы на полпути от мифологизма к рационализму, и такое промежуточное состояние и является почвой для возникновения символики. Эмпедокл обозначает свои четыре стихии четырьмя цветами: красным, желтым, черным, белым

[14]. Геометрические фигуры (многоугольники) и планеты в школе Пифагора, а затем Платона также получают каждый свой цветовой символ [2].

Символизация возможна лишь на таких этапах развития психики, когда осознано разделение на разум и чувство, сформировано понятие о различии реального мира и его отражения в искусственных формах. Но символ может иметь место только в обществе, спаянном единством культуры, сохраняющем коллективизм (или корпоративность), общность идеологии. Ведь символ должен быть общепонятен. Поэтому невозможен полный отрыв цветковых символов от мифологических значений цвета. Так, если красный символизирует любовь, то это, конечно, не прямая мифологическая редупликация, так как любовь — абстрактное понятие, не имеющее внешности. Но можно реконструировать цепочку из двух-трех промежуточных звеньев, приводящую к первоначальному мифологическому архетипу. Так, можно составить последовательность: любовь — источник жизни — жизнь — кровь (как условие жизни) — красный цвет. Эта цепочка может быть и несколько иной: любовь — повышенное эмоциональное возбуждение — жар, огонь — красный. И если, например, христианский бог и святые носят красно-зеленую или красно-синюю одежду, то это не просто условный знак, а сложный символ, где красное обозначает царственный чин или кровь, пролитую во спасение рода человеческого, а зеленый — земную жизнь, через которую прошли и Христос и святые.

Другой пример, в китайской системе красный соотносится с югом, летом, огнем, птицей Феникс. Это не случайные обозначения, так как все они связаны с понятиями о горячем и огненном.

В эпоху Возрождения средневековая корпоративность начинает распадаться. Психология коллективизма понемногу уступает место психологии индивидуализма; эта эпоха, как известно, «породила титанов». Но известно также, какой вред принес обществу в целом этот титанизм и какими последствиями он был чреват [26]. Наглядно свидетельствуют о разобщении людей процессы, происходящие в искусстве. На место канона, освященного традицией, приходит индивидуальный вкус заказчика или художника, а то и просто каприз. Труд средневекового художника оценивало и оплачивало общество, теперь же заказчиком и ценителем является частное лицо: феодал, купец, банкир. Происходит отчуждение личности от общества, в том числе и художника; он уже не стремится быть общепонятным. В XVI в. этот процесс отчуждения и «отстранения» дошел до того, что художники намеренно вводят в свои произведения всевозможные загадки и странности. Этим отличается весь стиль, называемый теперь маньеризмом. Еще в начале XVI в. Леонардо да Винчи явил собой яркий образец художника нового типа. Его загадки

невозможно разгадать и по сей день. Даже свои записи он вел секретным шифром, чтобы скрыть свои мысли от современников.

В этой атмосфере отчуждения, естественно, начался процесс отмирания символов и замены их другими значениями — более мелкомасштабными, имеющими сравнительно узкое хождение в ограниченном кругу людей (классе, группе). Эти значения называют аллегориями, или иносказаниями. Время жизни аллегорий значительно короче, чем у символов и тем более мифов. Оно ограничено временем существования данной микрокультуры, в которой эти аллегории возникли. В изобразительном искусстве иносказательность процветает пышным цветом. В картинах ренессансных мастеров чуть ли не каждый изображенный предмет или персонаж обозначает что-то другое, а не сам себя. При этом расстояние между знаком и обозначаемым становится еще больше, чем в символе; возможна даже замена одного знака другим. Так, например, на картине Ван Эйка «Чета Арнольфини» изображено несколько аллегорий супружеского единства и верности: собачка, домашние туфли, кольца, жест соединенных рук супругов и даже объединение всего интерьера в выпуклом зеркале на заднем плане. В известной мере сочетание доминирующих цветов — красного и зеленого — также обозначает диалектическое единство противоположных начал: мужской — активный красный и женский — пассивный зеленый (здесь можно усмотреть и аналогию женского начала с землей, за которой уже в средние века был закреплен зеленый цвет). Однако цвет в этой картине символичен, а предметные знаки — аллегоричны. Об этом говорит хотя бы их множественность и взаимозаменяемость, в то время как заменить цвета или поменять их местами было бы нелепо и невозможно.

Цветовая символика древнего происхождения сохраняется и в культуре Возрождения, но большей частью мы встречаем ее на «верхних» этажах культуры: в философии (Пико делла Мирандола, Марсилио Фичино), в литературе (Рабле, Томас Мор, Кампанелла, Фрэнсис Бэкон), в живописи (в той мере, в какой она сохраняет средневековые традиции). На «нижнем», бытовом, уровне культуры символизм мельчает, забывается и вырождается в аллегоризм; так, при дворах итальянских феодалов дамы и кавалеры изощрялись в роскоши одежд, изобретали «говорящие» и многозначительные (для них) сочетания цветов. Например, белое с красным означало «любезность и личные достоинства», белое с голубым — «любовность и постоянство», белое с фиолетовым — «небрежность, холодная вежливость». «Количеством и подбором цветов в одежде, — пишет М. Жепиньска, — можно было выразить такие сложные сообщения, как, например, угрозу кавалера, что в случае, если возлюбленная покинет его, то он совершит самоубийство» [34, с. 287].

Подобное употребление «языка цвета» можно видеть и в Испании конца XV в. в придворном быту мавританских королей, а также христианского рыцарства. Здесь на языке цвета сообщали обо всех своих делах и переживаниях. Перес де Ита описывает страдания некоего рыцаря Саида, отвергнутого дамой: «А Саид между тем менял свои одежды, облакаясь каждый раз в цвета, соответствовавшие владевшему им чувству. Иногда он одевался во все черное, а иногда в черное с серым; иногда в лиловое с белым, чтобы показать, что он еще не потерял веры; а то — в коричневое, чтобы показать свои мучения; иногда — в синее, ибо синий цвет был символом бешеной ревности; а иногда — в зеленое, дабы свидетельствовать о своей надежде; иногда же — в желтое, чтобы заявить о своем недоверии. В день же, когда говорил с Саидой, он облакался в пурпур и белое — цвета радости и удовлетворения. Таким образом, всей Гренаде ясно были видны судьбы его любви» [31, с. 41].

Здесь цвета нельзя назвать символами, это типичные аллегории, т. е. условные обозначения, смысл которых может быть заменен каким-либо другим, например желтый можно трактовать и как измену, но и как богатство, власть (если этот цвет имеет оттенок золота). Китайские императоры тоже одевались в желтые одежды, но отнюдь не в знак недоверия.

Аллегория выбирает из множества возможных символических значений какое-либо одно, она значительно беднее и уже символа, это вполне естественно, так как аллегория бытует в более узкой области культуры.

По своей функции и происхождению аллегория близка к метафоре. И та, и другая приписывают вещи «несобственные» свойства. И если уж искать различие между этими понятиями, то, по-видимому, оно кроется в локализации понятия в том или ином регионе культуры. Аллегория входит в язык, в канон искусства, в общественное употребление, метафора же может оставаться в пределах творчества того или иного художника, поэта. В наше время имеют широкое хождение такие цветковые аллегории, как «белая ворона», «голубая (или розовая) рецензия», «черный юмор», «розовые очки», «белый билет», «желтая пресса», «голубой фильм». Последние три выражения, кстати, менее известны у нас, чем в капиталистических странах.

Процесс измельчания семантики цвета, начавшись вместе с Возрождением, уже в середине XVI в. фиксируется в живописи, в научной и дидактической литературе; стало быть, с этого времени он будет развиваться все более быстрым темпом, лавинообразно. Повод для такого заключения дает в целом все искусство XVI в. с его маньеристической индивидуализацией и бесконечными странностями. Но особенно четко сформулирована эта тенденция в трудах теоретиков живописи того времени. Вот как учит живописцев Лодовико

Дольче: «Художнику следует избегать, чтобы его живопись, ничего не пробуждая в зрителе, оставляла впечатление холодной и мертвой. В зависимости от предмета изображения она должна воздействовать на души людей, одних — волнуя, других — веселя, третьих — делая благочестивыми, четвертых — гневными. Ибо без этой приправы всех достоинств художника его произведения будут ничтожны» [34, с. 285].

Итак, искусство апеллирует к каждому отдельному человеку, стремясь вызвать у него индивидуальный душевный отклик. Соответственно и художник не ищет абсолюта, общезначимую истину и прочее, — он воспринимает и отражает мир по-своему, индивидуально. Он оказывается как бы в сфере микрокультуры, контактирующей с микрокосмами зрителей по законам симпатии или антипатии, сродства или отталкивания. Осмысление цвета в таких микрокультурах не прекращается, но смыслы его локализуются в узкой или очень узкой области — в одной какой-либо картине, серии картин, стихотворении, поэме. В другой картине тот же цвет может быть переосмыслен. Таким смыслом, думается, лучше всего соответствует название «образ». Если мифы порождаются общечеловеческим сознанием, символы — национальным, аллегии — классовым и групповым, то образы — порождения индивидуальной психики, не осознающей себя неотделимой частицей коллектива и удовлетворенной этим своим обособленным существованием. Цветовые образы могут как угодно далеко отстоять от мифических или символических значений. В образе как раз ценится неожиданность, «свежесть», в то время, как в символе ценится традиционность.

В новейшее время, когда процесс атомизации общества дошел до крайнего предела, цветовые образы расцвели как никогда ранее: Почвой для них явилась необыкновенная восприимчивость людей нашего времени и способность «резонировать» в ответ на внешние раздражители порой самым неожиданным образом. Так, вдруг обнаружилось множество фактов цветовых синэстезий. Воображение человека порождает цветовые образы в ответ на звуки, формы, вкусовые и осязательные ощущения — практически любому ощущению или переживанию оказалось возможным сопоставить цвет, возникающий в мозгу воспринимающего самопроизвольно и спонтанно или в результате небольшого творческого усилия. И обратно, любой цвет может вызвать целый вихрь ассоциаций любого рода. Можно назвать множество имен поэтов и писателей с «живописным» видением мира, тонким и разнообразным ощущением цвета: Н. Гоголь, Ф. Достоевский, И. Бунин, В. Набоков, В. Хлебников, К. Паустовский, М. Пришвин, О. Уайлд, О. Генри, Д. Сэлинджер, Б. Пастернак, О. Мандельштам, Ф. Лорка, Янис Рицос, Жан Кокто, С. Есенин, В. Маяковский, Ф. Феллини, М. Антониони, Кобо Абэ, Кэндзабуро Оэ, Такубока (и, по существу, все японские поэты). Этот список можно продолжать сколь угодно далеко.

С. Эйзенштейн описал заинтересовавшее его явление цветовых синэстезий в статье «Вертикальный монтаж» [32]. Кинорежиссер излагает цвето-звуковые параллели Л. Херна, А. Рембо, А. Шлегеля, В. Кандинского. Но, пожалуй, самой крупной жемчужиной в этой коллекции был бы Владимир Набоков. Приведем небольшую выдержку из его автобиографической повести «Другие берега», где он описывает ассоциации, вызываемые в его ощущениях буквами алфавита: «...Чернобурую группу составляют: густое, без галльского глянца *А*; довольно ровное ... *Р*, крепкое каучуковое *Г*; *Ж*, отличающееся от французского, как горький шоколад от Молочного; темно-коричневое отполированное *Я*. В белесой группе буквы *Л*, *Н*, *О*, *Х*, *Э* представляют ... довольно бледную диету из вермишели, смоленской каши ... (и т. д.). Группу мутных промежуточных оттенков образуют клистирное *Ч*, пушисто-сизое *Ш* и такое же, но с прожелтью *Щ*. Переходя к спектру находим: красную группу с вишнево-кирпичным *Б* (гуще, чем *В*), розово-фланелевым *М* и розовато-телесным ... *В*; желтую группу с оранжевым *Ё*, охряным *Е*, палевым *Д*, светло-палевым *И*, золотистым *У* и латуновым *Ю*; зеленую группу с гуашевым *П*, пыльно-ольховым *Ф* и пастельным *Т*... и, наконец, синюю, переходящую в фиолетовое, группу с жестяным *Ц*, влажно-голубым *С*, черничным *К* и блестяще-сиреневым *З*. Такова моя азбучная радуга (ВЁЕПСКЗ)» [23, с. 142—143].

Разумеется, синэстезии Набокова не совпадают с таковыми у других писателей; у каждого они чисто индивидуальны.

Процесс отчуждения личности и атомизации искусства дошел в наше время до того, что каждое произведение нужно понимать как микрокосм, замкнутую в себе знаковую систему со своими автономными законами, или, по меткому выражению М. Пришвина, «всякому блину требуется своя сковородка». В литературе и философии эта истина подтверждается широким распространением экзистенциализма, а в психологической науке — необыкновенным авторитетом фрейдизма, изучающего отдельного человека изнутри, проникающего в темные, недоступные даже его собственному сознанию глубины. В искусстве цветовой образ свободно и непредсказуемо отражает индивидуальное чувство художника. Поэтому так часто образы не совпадают по своему значению с символами, а иной раз прямо противоречат и оптической реальности, и традиционной семантике цвета.

Таковы, например, цветовые образы Федерико Гарсиа Лорки:

... и жарки зрачки у Кармен,  
а волосы снежно-белы.

... и ангел черней печали

Тела окропил росую,  
Ангел с оливковым сердцем  
И смоляною косою.



И в лиловой ночи  
Под зелеными купами рош  
Вспыхнет черной радугой он. [13, с. 232]

Цветовое образотворчество захватывает не только поэтов, писателей, живописцев, кинорежиссеров, но и работников декоративно-прикладного искусства или художественных ремесел. Особенно активна деятельность в этом направлении модельеров одежды и художников по текстилю. Некоторое представление об этом дает «словарь цветов» Пауля и Мерца 1930 г. [33], в котором собрано и проиллюстрировано свыше 4 тыс. названий цветов, имевших хождение в промышленности и торговле начала века. Каждое из названий — миниатюрная картина, вызывающая самые разнообразные ассоциации: здесь цветы и птицы, города и страны, художники и пророки, игры, танцы, вина, боги... Вот несколько примеров названий цветов из красно-пурпурной группы: флинт, портвейн, Бахус, амарант, ренессанс, фанданго, Челлини, каприз, микадо, кокетка, пират, фантом, Гойя, танго, Экклезиаст, Мекка... Средневековая культура Японии и Китая дала в свое время множество образных названий цвета; богатый словарь отличает также культуру французского рококо XVIII в. И в том и в другом случае наблюдается своего рода культ души, повышенное внимание к внутренним переживаниям личности, иными словами, культуру характеризует то состояние, которое называется словом «психологизм». Литература «женского потока» в Японии IX—XII вв. достигла такой тонкости и изощренности в исследованиях индивидуальной психики, которые в Европе появляются лишь в XVIII—XIX вв. Все говорит о том, что углубленный психологизм присущ угасающим культурам, сходящим с исторической арены. Такое «сумеречное» состояние сопровождается активизацией и обострением цветочувствительности, цветовой фантазии, ассоциаций и синэстезий. Отсюда и обилие цветковых образов в искусстве, литературе, театре.

Характерно, что во времена превосходства разума и науки отвергается ценность мифа, символа и подсознательной деятельности психики. Носители философии Просвещения развенчивают и дезавуируют все, что выходит, по их мнению, за грань рационального. Индикатором подобного взгляда на вещи может служить отношение того или иного деятеля культуры к проблеме семантики цвета. Отрицание символики цвета начинается (явно) с Леонардо да Винчи, затем идет по восходящей линии вместе с философией естествознания XVII в. и Просвещением XVIII. В XIX в. наступает и растет реакция в культуре романтизма, но одновременно возрастает скептицизм к цветовой символике, связанный с развитием естественных наук. И наконец, в XX в. романтическая линия приводит к возрождению мифологизма и символизма, а научно-рациональная — к отрицанию значения этих категорий

в искусстве. Яркий пример видим мы в литературных трудах С. Эйзенштейна, который, основательно исследовав историческую и современную семантику цвета, делает весьма неожиданный вывод о ее непригодности для искусства и даже «вреде». Он готов признать факты эмоционально-психологического воздействия цвета на человека, но решительно отрицает существование общекультурных или общечеловеческих значений цветов, называя их «абсолютными соответствиями».

«В искусстве решают не абсолютные соответствия,— пишет Эйзенштейн,— а произвольно образные, которые диктуются образной системой того или иного произведения» [32, с. 201—234]. В доказательство кинорежиссер приводит свое цветовое решение фильма «Александр Невский». Присвоив немецким рыцарям белый цвет, а русским воинам черный, Эйзенштейн полагал, что на деле свел значение цвета к простому коду, знаку, произвольно выбранному для данного сценария. Ведь знак—это младшая категория цветовой семантики, расположенная на нижней ступеньке иерархической лестницы значений цвета. Знак может бытовать и вне искусства, так как функции его ограничены простой информатикой. Здесь десигнат и денотат максимально разобщены, т. е. цвет—знак—может быть целиком условным и подчиняться исключительно воле своего создателя. Но даже простой знак может быть общепонятен и устойчив во времени только в том случае, когда он хоть тонким корешком уходит в древнюю мифологию. Так, например, красный цвет как знак опасности, связан с цветом крови и огня, а красная подкладка генеральского пальто или лампасы такого же цвета указывают на связь с Марсом, богом войны.

«Перепутав» значения белого и черного цветов и превратив их таким способом в простые произвольные знаки, Эйзенштейн в действительности лишь подтвердил значение древних символов. Ведь и белый, и черный цвет имеют каждый по две серии символических и мифологических смыслов—положительную и отрицательную, поэтому в конкретной ситуации противоположным началам можно присваивать по выбору белый—черный или черный—белый цвета. Нельзя делать только одного: экстремальному цвету, носителю архетипических смыслов, противопоставлять какой-либо сложный и «новообразованный». Например, белый и беж не могут составить полярной пары, также красный и, к примеру, изабелловый. Такие образы останутся непонятыми и автоматически «канут в лету». Но Эйзенштейн и не пытался идти в своих экспериментах так далеко.

Начиная с эпохи Возрождения, происходит процесс десемантизации цвета. Чем больше красочных вещей видит человек, тем меньшее значение придает он цвету. Иначе и не может быть: ведь для осмысления зрительных ощущений требуется психическая энергия; современный человек тратит ее на более необходимую ему в повседневной жизни работу. Отсюда и

наблюдается в наше время скептическое отношение к цветовой семантике и вообще к значению цвета в жизни. Конечно, проблемы цвета кажутся несущественными в сравнении с другими актуальными проблемами нашего времени (так ли это в действительности — приходится усомниться, так как цвет в жизненной среде человека формирует его психику, а психика — великая и еще далеко не дооцененная социальная сила). В XX в. даже художники нередко высказываются нигилистически по отношению к цвету (М. Эрнст, дадаисты, Ж.-П. Сартр, У. Моррис), юмористы оттачивают свое перо на иронических названиях цвета («сон перед ревизией», «цвет бешеной собаки», «вырви-глаз» и др.). В архитектуре, декоративно-прикладном искусстве, живописи цвет, по замыслу авторов, не несет никаких сверхсмыслов, не семантизируется. Больше других жанров сохраняют семантику цвета театр, кино и литература. В реалистической живописи цвет большей частью передает натуру, т. е. служит воспроизведению внешнеоптических свойств изображаемого. В нефигуративной живописи функция цвета чаще всего ограничивается конструктивностью. Цвет служит выявлению формы, организации пространства картины. В интерьерах жилых и общественных зданий, в одежде функция цвета — в основном эстетическая, иногда технологическая (в рабочем костюме). Иными словами, в массовой культуре нашего времени почти иссякла семантика цвета, почти забыты его древние значения, сформированный традицией язык.

Однако забвение старого языка не означает отмирания языка вообще. Как будто парадоксально, но на самом деле вполне закономерно, что именно в XX в. появляются феномены необыкновенно высокой чувствительности к цвету и большой изощренности в выражении средствами колорита тончайших и разнообразнейших движений души. Современный художник живет в автономном и суверенном «космосе» своей индивидуальности. И если он отражает этот космос (или хаос) в зеркале своего искусства — то разве это не мифологизм (хотя бы и в миниатюре)? Марк Шагал, Сальвадор Дали, Эдвард Мунк, Жан-Поль Сартр, Альбер Камю, Федерико Феллини изображают лишь жизнь своей души, они по-видимому не ищут за внешностью вещей чего-то скрытого, какого-то абсолюта или высшей истины. Все они — дети XX в. с их индивидуальной душевной жизнью, признающей высшую ценность в себе самой. Но поразительное явление — их индивидуальная исповедь оказалась наполненной общечеловеческими смыслами, притом непередаваемыми на язык известных понятий. Смысл их произведений неразрывно связан с самим текстом. Не напоминают ли нам эти слова чего-то очень знакомого? Да, это определение мифа. В силу диалектического закона схождения крайностей процесс психической индивидуализации на определенном критическом этапе сам порождает обратное стремление — к объединению индивидуумов и к психологии коллективизма.

Свое, затаенное, сугубо личное, будучи выраженным, оказывается общим, свойственным всем людям. В семантике цвета действует та же закономерность. Художник выражает только свое, не думая о всеобщем и вневременном, а получается новый миф или новый символ. Вот, например, как осмысляет Кобо Абэ синий цвет: «Синева волн, бурлящих за гребными винтами корабля... Стоячая вода на месте заброшенных серных рудников... Синий крысиный яд, приготовленный в виде желеобразной тянучки... Фиолетовый рассвет, который наблюдает, ожидая первой электрички, чтобы поехать куда глаза глядят... цветные стекла в очках любви, рассылаемых «клубом смерти в душевном покое», назову его так, если другое его название — «общество помощи самоубийцам» — недостаточно благозвучно... Цвет дождя, от которого простужается нищий... цвет времени, когда закрываются подземные магазины... цвет не выкупленных в ломбарде часов, подаренных в память об окончании университета... цвет ревности, разбивающейся о кухонную мойку из нержавеющей стали... цвет первого утра после потери работы... цвет чернил на ставшем ненужным удостоверении личности... цвет последнего билета в кино, купленного самоубийцей... и другие цвета ... зимней спячки, смерти как средства облегчения страданий, дыры, проеденной сильнейшей щелочью — временем» [11, с. 393].

Есть у синего и положительные смыслы; достаточно вспомнить таких поэтов синевы, как А. Блок, С. Есенин, И. Бунин, В. Хлебников, М. Шагал, И. Грабарь, В. Борисов-Мусатов (не говоря уже о Хокусаяе). Пожалуй, основной вывод, который напрашивается в результате изучения современной семантики цвета — полисемантичесность его, амбивалентность и психически-эстетический плюрализм в оценке цвета. Это как нельзя лучше выразили русские поэты-символисты начала века:

Все краски люблю я, и свет белизны  
не есть для меня завершенье.  
Люблю я и самые темные сны,  
и алый цветок преступленья.  
Оранжевый, желтый и красный огонь  
мне желанен, как взор темно-синий.  
Не знаю, что лучше: снега ли вершин,  
или вихри над желтой пустыней.  
И стебель зеленый с душистым цветком —  
прекрасен, прекрасна минута,  
Не странно ли было б цветку объявить,  
что он только средство к чему-то...

Это стихи К. Бальмонта (1904 г.). А вот признание Валерия Брюсова:

...Я ждал себе одной награды,  
Предаться вновь влеченью снов,  
И славить мира все улады  
И «Радуги» все семь цветов!

(март, 1917)

В контексте микрокультуры (т. е. духовной жизни одного человека) цвет так же полисемантичен, как и в контексте общечеловеческой культуры. Семантика же в конечном счете связана с аксиологией. Если смыслов слишком много, то не становятся ли они равноценными? В наше время появилось достаточно симптомов нивелирования смыслов, значений, ценностей; с точки зрения традиционной морали (имеющей биологические корни), это явление скорее негативно, чем безобидно. В сущности, во все времена духовной зрелости человечества (или, как сказал бы Гегель, во времена «истинной религии»), начиная от середины первого тысячелетия до н. э., осуждалось смешение понятий и неразличение смыслов — например, добра и зла. Библейская мораль категорически запрещает смешение разнородного во всех случаях жизни, и хотя пророки и (даже сам бог) не всегда умеют отличить «ржи от плевелов», но и они стремятся к этому и в конечном счете твердо уверены в успехе своего суда, хотя бы это был последний, страшный суд. Но принципиальный отказ от оценок, от разделения хотя бы на две категории — добра и зла, «да» или «нет», чреват тяжелыми последствиями. Пророк в стихотворении Вячеслава Иванова гласит народу:

И страсть вас ослепит, и гнева от любви  
Не отличите вы в их яром искаженье.  
Вы будете плясать, и пав в изнеможенье,  
Все захлебнуться вдруг возжаждете в крови ... [7, с. 156]

К счастью, плюрализм и «иммориализм» в области цвета не так опасен, как в других областях, но он служит индикатором процессов, происходящих в социальной психологии и в общественной жизни.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Амир Хосров Дехлеви*. Восемь райских садов. М., 1975.
2. Антология мировой философии: В 4 т. М., 1969. Т. 1.
3. *Аристотель*. О душе // Соч.: В 4 т. М., 1976. Т. 1.
4. *Бычков В. В.* Византийская эстетика. М., 1977.
5. *Вознесенский А.* Витражных дел мастер. М., 1976.
6. *Завадская Е. В.* Эстетические проблемы живописи старого Китая. М., 1975.
7. *Иванов Вяч.* Астролог // Стихотворения и поэмы. Л., 1976. С. 156.
8. *Ильф И., Петров Е.* Золотой теленок. М., 1975.
9. *Канаев И. И.* Очерки из истории проблемы физиологии цветового зрения от античности до XX века. Л., 1971.
10. *Кандинский В.* О духовном в искусстве. М., 1971.
11. *Кобо Абэ*. Чужое лицо. Сожженная карта. Человек — ящик. М., 1982.

12. Кучкина О. «Группа» // Комс. правда. 1988. 21 янв.
13. Лорка Ф. Г. Избранное. Театр. Стихи. Минск, 1983.
14. Лосев А. Ф. История античной эстетики (ранняя классика). М., 1963.
15. Лосев А. Ф. Проблема символа и реалистическое искусство. М., 1976.
16. Лосев А. Ф. Эстетика Возрождения. М., 1982.
17. Лурье С. Я. Демокрит. Л., 1970.
18. Маслова Г. С. Народная одежда в восточно-славянских традиционных обычаях и обрядах XIX—начала XX веков. М., 1984.
19. Мамытов Жолон. Продавец семян // Юность, 1985. № 6. С. 65.
20. Матье М. Э. Древнеегипетские мифы. М.; Л., 1956.
21. Махабхарата. Рамаяна. М., 1974.
22. Мелетинский Е. М. Поэтика мифа. М., 1976.
23. Набоков В. Другие берега // Дружба народов. 1988. № 5. С. 142—143.
24. Окладников А. П. Утро искусства. Л., 1967.
25. Сартр Ж.-П. Слова. М., 1966.
26. Семека Е. С. Антропоморфные и зооморфные символы в четырех- и восьмичленных моделях мира // Труды по знаковым системам. Тарту, 1971. Т. 5. С. 103—105.
27. Сказки и легенды маори. М., 1981. С. 14.
28. Тэрнер В. У. Символ и ритуал. М., 1983.
29. Творчество. 1982. № 4. С. 25.
30. Фрэнгер Д. Д. Фольклор в Ветхом Завете. М., 1985.
31. Хинес Перес де Ита. Повесть о Сегри и Абенсеррахах. М., 1981.
32. Эйзенштейн С. М. Избранные произведения: В 6 т. М., 1964. Т. 2. С. 201—234.
33. A dictionary of color / Ed. A. Maerz and M. R. Paul. N. Y., 1930.
34. Rzepinska M. Historia koloru w dziejach malarstwa europejskiego. Krakow, 1983.

## ДИНАМИКА ФОРМЫ И ЦВЕТА В ТВОРЧЕСТВЕ ВАСИЛИЯ КАНДИНСКОГО И КАЗИМИРА МАЛЕВИЧА

В этой статье речь пойдет о некоторых особенностях психологического воздействия цвета и формы объектов на зрителя. Такой подход к проблеме представляется естественным, поскольку тесное сотрудничество физиков, физиологов и психологов стало сегодня одним из условий дальнейшего развития науки о цвете. Самые точные физические характеристики цвета и самые совершенные технологии изготовления красок теряют подчас свой смысл, если при практическом использовании цвета в нашей повседневной жизни не учитываются закономерности психологического влияния цвета на человека.

Из многих возможных психологических подходов к проблемам цветоведения мы взяли искусствоведческий. При этом наш выбор остановился на творчестве двух хорошо известных художников начала века — В. Кандинского и К. Малевича. Такой выбор имеет свои причины. Оба художника были не только выдающимися мастерами, но и теоретиками искусства, стремящимися к научному обоснованию своего творчества. Оба относятся к родоначальникам нового для того времени направления абстрактного искусства. При этом и тот, и другой старались выявить психологические механизмы воздействия на зрителя различных изобразительных средств. Очень показательна в этом отношении анкета для художников, разработанная Кандинским в 1920 г., когда он стал сотрудником Института художественной культуры. Анкета содержала, например, такие вопросы:

«Считаете ли Вы возможным выразить какие-нибудь Ваши чувства графически, т. е. какой-нибудь прямой или гнутой линией, какой-нибудь геометрической фигурой или произвольно очерченной плоскостью или целой комбинацией линий, плоскостей и пятен (черных и белых)?

Обратите основное внимание на то, не изменится ли выражение одной формы от соседства ее с другой, и запишите Ваши впечатления.

Замечали ли Вы действие цвета, когда он нанесен на какой-нибудь предмет (на какой), или тогда, когда Вы видите его изолированным?

Действует ли на Вас какой-нибудь цвет, когда Вы его не видите, а только себе представляете? Кажется ли Вам этот

мыслящийся цвет лучше всех его видимых форм? Какой цвет Вам легче всего представить? Почему именно так?

Если какой-нибудь основной цвет не подходит по Вашему чувству ни к одной геометрической форме, то попробуйте найти подходящую к нему не геометрическую форму, а свободную» (цит. по: [6, с. 34]).

Даже из этого небольшого фрагмента анкеты можно предположить теоретический подтекст планируемого исследования, который имел в виду Кандинский. Цвет и форма тесно связаны в нашем восприятии. Цвет вне формы имеет какое-то совсем иное бытие. Форма и цвет как бы ищут и находят друг друга. Их соединение может быть гармоничным и дисгармоничным. В зависимости от этого меняется эмоциональный тон восприятия. Различные цвета и формы по-разному связаны с эмоциональной сферой человека и, видимо, должны коррелировать с его личностными особенностями. Обобщая субъективные впечатления художников и зрителей, можно найти «основные элементы» изобразительного искусства и «корень общего закона».

В немногих сохранившихся на русском языке фрагментах теоретических работ К. Малевича мы также находим интересные высказывания о взаимодействии цвета и формы.

Продолжая мысль Кандинского об «элементах» изобразительного искусства, надо сказать, что абстрактные произведения выбранных нами художников подходят для психологического анализа, так как оба художника используют преимущественно локальный цвет и сравнительно простые геометрические формы. Поэтому эффект, производимый на зрителя определенными изобразительными средствами, не связан в данном случае с влиянием сюжета картины, как это бывает при восприятии реалистических полотен.

Необходимо, однако, отметить, что стремление Кандинского раскрыть с помощью абстрактных форм духовный мир человека не было связано с отрицанием других художественных стилей. Хотя он и утверждал, что абстрактные формы — «равноправные граждане духовной державы» и ведут в ней «свою жизнь», он в то же время считал, что «ограничиться чисто отвлеченными формами художник ныне не может» [2, с. 78]. Абстрактная живопись, по мысли Кандинского, не только не отвергает иных художественных решений, но и сама может существовать лишь в ряду различных «необходимостей», искусства. Так, каждый художник необходимо выражает и то, что свойственно только ему, и то, что присуще данной эпохе, и, наконец, он должен суметь выразить то, что свойственно искусству вообще [6].

Эти мысли Кандинского (как и все его теоретическое наследие) приобретают особое значение на современном этапе развития советского искусства и советского искусствоведения. На смену упрощенной трактовке реализма и примитивному



отрицанию любых нереалистических направлений сейчас приходит понимание необходимости взаимопроникающего многообразия художественных стилей и осознанию того, что граница между реализмом и не-реализмом в искусстве может быть только условной. С этой новой для нас многообещающей платформы открываются новые возможности для искусствоведческих и психологических исследований.

К сожалению, очень интересные теоретические и творческие начинания Кандинского и Малевича, их попытки соединения искусства с наукой не получили соответствующего продолжения в нашей стране, а само их творчество быдо до последних лет недоступно широкой публике. Из зарубежных примеров психологического анализа изобразительного искусства может быть названа известная книга Р. Арнхейма «Искусство и визуальное восприятие» [9].

Авторами была предпринята попытка экспериментального психологического исследования так называемых супрематических произведений К. Малевича [5]. Эта работа была проведена и опубликована 20 лет назад, т. е. в те годы, когда имя Малевича у нас не упоминалось.

Возвращаясь теперь к аналогичному анализу творчества двух наиболее выдающихся представителей абстрактного искусства (Малевича и Кандинского), мы убеждаемся в огромном богатстве оставленного ими наследия. Чтобы разобраться в этом богатстве, потребуется время и объединенные усилия искусствоведов, психологов, философов. Пока что мы стоим в начале этого пути. Что же касается настоящей статьи, то в нем авторы затрагивают лишь один из возможных аспектов анализа: проблему динамичности плоскостного изображения, лишенного конкретного сюжетного (в обыденном понимании) содержания. При этом мы не стремимся к окончательным решениям и будем удовлетворены, если удастся хотя бы обозначить проблему и пробудить к ней профессиональный интерес наших зарубежных коллег. Итак, речь идет о динамике цвета и формы в работах художников-абстракционистов.

Широкие возможности изображения динамики на реалистических сюжетных полотнах достаточно очевидны. Здесь художник как бы схватывает и фиксирует отдельный типичный момент незавершенного действия: определенные позы и жесты персонажей, согнутые ветром ветви деревьев, влекомые водным или воздушным потоком предметы и т. п. По выражению Джеймса Гибсона, уделявшего много внимания психологии восприятия картин, художник изображает в таких случаях некоторые «событийные инварианты» [10]. В то же время Гибсон весьма скептически относится к возможности передачи пространства и движения средствами абстрактной живописи. С этой последней установки Гибсона можно, на наш взгляд, спорить, хотя бы с позиций Кандинского, утверждавшего, что цвет наподобие звука движется в пространстве.

Давайте посмотрим на иллюстративном материале, в какой мере могут быть убедительными некоторые исходные положения в системах Кандинского и Малевича.

Рис. 1 воспроизводит иллюстрации к известной теоретической работе Кандинского «О духовном в искусстве» [2]. Здесь демонстрируются одновременно три феномена. Во-первых, один и тот же цвет воспринимается субъективно по-разному в зависимости от окружающего фона — в данном случае черного или белого. (С этим сегодня вряд ли кто-нибудь станет спорить, хотя количественные показатели таких изменений мало исследованы. Во-вторых, представленные здесь цвета имеют разную динамику: желтый движется в горизонтальной плоскости по направлению к зрителю, синий — от зрителя, а красный содержит лишь «движение в себе». Не представленный здесь зеленый цвет характеризуется отсутствием движения. В скобках надо заметить, что принцип выступающих (теплых) и отступающих (холодных) цветов был известен художникам и ранее, но применение его в абстрактной живописи стало одним из наиболее действенных средств. С позиций психологии восприятия этот феномен был подтвержден в экспериментах советского психолога С. Н. Беляевой-Экземплярской [1], проведенных в 20-х годах и непосредственно связанных с теоретическим поиском Кандинского.

Наконец, в-третьих, каждый представленный здесь цвет связан Кандинским с определенной формой. Наиболее активный и динамический желтый цвет ассоциируется с наиболее активной и динамической треугольной формой. Неактивный синий воплощен в пассивную круглую форму, а обладающий внутренним движением красный — в устойчивую квадратную форму. Можно, конечно, оспаривать универсальный характер таких связей, но нам думается, что полученная в массовом эксперименте статистика могла бы хорошо подтвердить существование таких психических ассоциаций.

Кандинский отмечает, что воспринимаемый зрителем цвет движется не только в горизонтальной плоскости, но и в плоскости картины. Теплые и светлые цвета имеют тенденцию к расширению своих границ, холодные и темные — к сужению. Наиболее демонстративно это проявляется в отношении желтого и синего цвета. Для цветных кругов эта закономерность схематически представляется в виде действия центробежных или центростремительных сил (рис. 2).

Широко известные супрематические композиции Малевича образованы сравнительно простыми ахроматическими формами, размещенными на плоскости листа с большей или меньшей степенью динамичности. Эта серия работ открывается знаменитым «Черным квадратом». Квадрат в супрематическом «наборе» — одна из главных форм наряду с кругом, крестом и прямоугольником. Впечатление, производимое этой картиной, психологически можно, по-видимому, объяснить заключенной

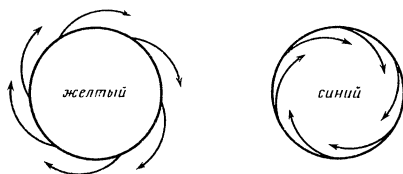


Рис. 2. Расширение и сужение границ разных цветов (тепло- -- светлого и холодного -- темного)

в ней своеобразной диалектикой динамики и статики. С одной стороны, квадрат, объединяя вертикаль и горизонталь (т. е. главные пространственные ориентиры человека), упорядочивает наше восприятие и создает впечатление устойчивости. С другой стороны, возникает типичная флуктуация фигуры и фона: квадрат воспринимается попеременно то как твердое тело, то как бесконечное черное пространство.

Динамичность элементов композиции определяется у Малевича его местоположением на изобразительной поверхности, ориентацией и характером взаимодействия с другими элементами. При этом автор допускает возникновение субъективного ощущения изменений цвета фигуры. Так, круг, расположенный в центре листа, очень статичен и сохраняет свой фактический цвет. Продвигаясь к краю, он обретает динамичность (как бы плывет) и начинает казаться Малевичу зеленым. При столкновении с границей круг воспринимается напряженно и становится красным. А поднявшись вверх и как бы застряв в верхнем углу, становится белым и невесомым.

Вполне возможно, что иллюзии такого рода имеют сугубо индивидуальный характер. Поэтому возникает естественный вопрос: а можно ли, используя какой-либо объективный метод, проверить наличие общих закономерностей при восприятии несмысловых композиций разными зрителями? Мы склонны утвердительно ответить на этот вопрос, поскольку авторами настоящей статьи был найден такой объективный метод и получены положительные результаты в проведенном экспериментальном исследовании [8]. Тест-объектами в наших опытах служили те самые супрематические композиции Малевича, о которых сейчас идет речь. При предъявлении каждой композиции регистрировались движения глаз испытуемых. Зафиксированная на окулограммах последовательность обзора элементов показывала, в какой мере эти композиции способны управлять вниманием зрителя и детерминировать процесс восприятия. Сопоставление индивидуальных окулограмм показало, что как минимум 7 из 10 зрителей (а чаще — 8—9) осматривают элементы композиции в одинаковой последовательности. Таким образом, каждая из проверенных нами 10 композиций способна при ее короткой (2-секундной) экспозиции достаточно жестко управлять зрительным процессом. Чем же

достигается такой эффект? Прежде всего соотношением и взаимодействием статических и динамических элементов. Различная степень динамичности элементов наделяет их своеобразной «индивидуальностью» и дает возможность «жить своей жизнью».

Интересно отметить, что в некоторых композициях Малевича отчетливо наблюдается тенденция к преодолению земного притяжения и приданию изображаемому им движению космического характера. Упорядоченная динамика элементов настолько очевидна, что ее прослеживание взором становится естественным, привычным для человека. Из других факторов, определяющих последовательность обзора, надо указать следующие. На начальном этапе восприятия внимание зрителя часто привлекают формы, создающие впечатление большой массы. В дальнейшем наиболее активными зонами композиции оказываются те, где наблюдатель видит (или предполагает) взаимодействие элементов. Простые геометрические формы выделяются быстрее, но сложные и необычные дольше задерживают внимание зрителя.

Рассмотрев некоторые технические приемы из творческого арсенала художников-абстракционистов и механизмы их воздействия на зрителя, попробуем ответить (с наших позиций) на стандартный вопрос, вызывающий неизменные дискуссии: в какой мере абстрактные произведения способны создать у зрителя целостный художественный образ? Обратимся для этого к разработанной в советской психологии теории фазности восприятия [4, 7]. С позиций этой теории восприятие картины проходит несколько стадий. Первая предварительная ориентировка и общий эмоциональный настрой зрителя создаются размерами полотна, распределением масс, цветовой гаммой, преобладающим цветом. Затем определенные композиционно-психологические средства, используемые автором (такие, как соотношение статики и динамики, симметрии и асимметрии, пропорционирование, ритм, цветовые контрасты и нюансировка цвета), как бы ведут взор и внимание зрителя по тому пути, который по замыслу (или интуиции) художника позволяет наиболее полно раскрыть содержание и смысл картины. На следующей, завершающей стадии происходит ознакомление зрителя со всеми деталями картины, выявление смысловых связей, объединение всех элементов в целостный образ, а затем формирование оценочного отношения: эмоционального, интеллектуального, эстетического. Первый этап описанного процесса может быть назван подготовительным, второй — организованного восприятия и третий — целостного образа и его оценки [3].

Нам представляется, что талантливые художники-абстракционисты могут прекрасно организовать два первых этапа (стадии) восприятия художественного произведения. Что же касается третьей стадии, то она предполагает в этом случае определенное «сотворчество» зрителя, и, может быть, в этом

и заключается главная притягательная сила и своеобразная прелесть абстрактного искусства!

Необходимо, однако, еще раз подчеркнуть, что ни Малевич, ни Кандинский не стремились к полному отрыву абстрактного от конкретного, понимая, что «собственная жизнь» абстрактных форм возможна лишь постольку, поскольку они тесно связаны нашими психологическими ассоциациями с реальными предметами и реальными процессами. Наглядным подтверждением этому могут служить хорошо изветные картины Кандинского «Красное пятно» и «Наступление коричневого». Первая из них (рис. 3), созданная в 1920 г., всем своим строем и символикой отражает революционную ситуацию тех лет и отношение к ней художника. Форма центрального красного пятна и асимметричность композиции задают общее поступательное движение всех элементов слева направо. В сочетании цветов и взаимодействии форм явно чувствуется борение враждебных сил. Но «черная сила» (левый верхний угол картины) остается позади и как бы отстает от общего движения в сторону светлого—к правому краю. При этом у многих зрителей, центральные формы композиции ассоциируются с головой лошади под дугой и тем самым—с тачанкой как одним из атрибутов гражданской войны.

Вполне понятные политические ассоциации вызывает картина «Наступление коричневого», датированная 1933 г. Находившийся в то время в Германии Кандинский выразил в художественной форме свое отношение к захвату власти фашистами. Символика картины достаточно очевидна: светлое начало жизни, представленное в центре полотна многообразием форм и красок, обречено на гибель сдавливающими его с двух сторон неумолимыми коричневыми шеренгами. Глядя на эту картину, почти органически начинаешь ощущать медленное, но неотвратимое движение тяжелых коричневых форм, подчеркнутое их ритмическим построением.

Возобновившийся в настоящее время интерес к творчеству Малевича и Кандинского может, как нам представляется, положительно повлиять на решение той задачи (на стыке искусства, науки и техники), с которой нам уже сегодня приходится сталкиваться, а именно—с проблемой компьютеризации искусства, в том числе—изобразительного. Можно, разумеется, спорить о достоинствах такого рода искусства, но вряд ли удастся избежать его вторжения в некоторые сферы нашей жизни—по крайней мере, в промышленное проектирование и эстетизацию искусственной среды обитания. И здесь каноны абстрактной живописи могут служить отправной точкой для дальнейшего поиска.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Беляева-Экземплярская С. Н.* Об иллюзии выступающих вперед цветов // Психология, неврология и психиатрия. М., 1924. Т. 4.
2. *Кандинский В. В.* О духовном в искусстве // Тр. I Всесоюз. съезда художников. Пб., 1914. Т. 1. С. 60—96.
3. *Кудин П. А., Ломов Б. Ф., Митькин А. А.* Психология восприятия и искусство плаката. М., 1987.
4. *Ломов Б. Ф.* Методологические и теоретические проблемы психологии. М., 1984.
5. *Малевич К. С.* Супрематизм. Витебск, 1920.
6. *Мигунов А. К., Перцева Т. М.* На рубеже искусства и науки: К творческой биографии В. В. Кандинского // Искусство. 1980. № 1. С. 30—36.
7. *Митькин А. А.* Системная организация зрительных функций. М., 1988.
8. *Митькин А. А., Перцева Т. М.* Опыт экспериментального исследования восприятия бессмысловых композиций // Техн. эстетика. 1970. № 8. С. 4—6.
9. *Arnheim R.* Art and visual perception. Berkeley; Los Angeles, 1965.
10. *Gibson J. J.* The ecological approach to visual perception. Boston, 1979.

---

---

## ПРОБЛЕМЫ ЦВЕТА В ДИЗАЙНЕ

Значение цвета в нашей жизни многогранно. Бесцветных предметов не существует. Все естественные и искусственные системы обладают цветовыми характеристиками. Предметно-пространственная среда, в которой мы живем, воспринимается нами и колористически как проявление существующей и исторически сложившейся цветовой культуры.

Цвет и форма неотделимы друг от друга. Как элемент формы цвет несет определенный смысл и психологическую содержательность, цветовые сочетания вызывают эстетические переживания. Один из видных представителей французского дизайна Бернар Ласюль писал, что цвет может все, что он может построить здание, но он же может его разрушить. Значение этих слов нельзя преуменьшить. Можно привести много примеров, когда у нас в стране градостроительные комплексы, отдельные интерьеры и сооружения, объекты дизайнерской деятельности, предметы декоративно-прикладного и монументального искусства, книжной графики и т. д. отличаются колористическим совершенством. Созданы новые материалы и в них воплощены новые цвета. Однако в нашей повседневной жизни, особенно городской, производственной, бытовой, в сфере обслуживания следы «разрушений», произведенных цветом, мы видим на каждом шагу. Это или цветовая нищета, или цветовой хаос, функционально, информативно и эстетически не оправданный. Ряд промышленных изделий, прежде всего товары народного потребления, производят удручающее впечатление именно по своей колористике и стилистической несогласованности различных цветовых материалов, примененных в одном изделии. Соединенные воедино в бытовой среде такие изделия «спорят» между собой по цвету.

Есть объективные причины непродуманного отношения к цвету. Они тесно взаимосвязаны, тем не менее их можно разделить на две группы: причины «внешние» по отношению к дизайнеру, связанные с проблемой выпуска цветоносительных материалов (первая), и причины «внутренние», творческие, связанные с профессиональным уровнем создателей цветовых решений предметов и в целом колористики предметно-пространственной среды (вторая).

ВНИИ технической эстетики неоднократно анализировались причины низкого качества цвета промышленной продукции, но при этом особо подробно и всесторонне рассматривались

проблемы разработки, выпуска и нормативного использования цвета материалов [13, 14]. Причины второй группы мною практически не рассматривались, однако анализы уровня цвета изделий машиностроения и культурно-бытового назначения свидетельствуют о том, что создание цветового облика предметов и среды в целом должно быть результатом проектировочной деятельности профессионалов-архитекторов, дизайнеров, художников, колористов. В этом процессе есть свои творческие проблемы, так как цвета для различных изделий и объектов предметно-пространственной среды выбираются на основе учета многих факторов как объективного характера (функции и условия эксплуатации объекта, психофизиология восприятия цвета и формы, художественный образ, культурные и национальные традиции в области цвета, его символика, информативность и т. д.), так и субъективного (предпочтение цветов и определенных сочетаний, индивидуальное чувство гармонии и т. д.). А. Г. Устинов рассматривает и вводит понятие цветоформы как особого феномена в проектировании, особой автономной субстанции [19]. И все же «автономность эта... относительна, ибо существует ее внутреннее смысловое единство с объектом» [19, с. 11].

Тезис о самостоятельности колористики и суперграфики как сфер деятельности в дизайне обосновывался в докладе С. О. Хан-Магомедова «Культурно-исторические традиции и новаторство в проектировании цвето-световой среды» (научно-практический семинар «Цвет и свет в дизайне», проведенный ВНИИТЭ в апреле 1985 г.).

Особая роль цвета позволяет говорить о проектировании цвета при разработке нового объекта и объекта созданного и функционирующего (цветовой реконструкции). «Цветовое проектирование лежит в основе формирования цветовой среды», — отмечает А. В. Ефимов [1, с. 1].

Понятие «цветового проектирования», «проектирования колористики» введено у нас архитекторами, прежде всего А. В. Ефимовым. На наш взгляд, это понятие может быть использовано и в сфере дизайна.

Чтобы определить правомочность такого термина, будем исходить из того, что цветовое проектирование — это вид проектной деятельности, направленной на формирование колористики различных объектов и предметно-пространственной среды в целом. В качестве объектов могут выступать разные объемные формы (здания, оборудование, транспорт, холодильники, одежда и т. п.) и плоскости (ткани, ковры, полимерные материалы, плакаты и т. п.).

Проектную деятельность в области цвета мы называем колористической.

Проблемами колористики занимаются во многих странах, во Франции она давно (с начала 40-х годов) приобрела самостоятельное значение. Достаточно сослаться на многолет-



ний опыт французских дизайнерских бюро-консультантов по цвету Ж. Фиасье и Б. Ласюся. Их профессиональная деятельность основана на признании относительной самостоятельности цвета как средства формообразования предметной среды. Эстетические возможности цвета в сфере предметной среды они выявляют и изучают в связи с материалами, используемыми для всех форм предметного окружения, и в связи со светом. Так, в их практике возникли понятия «цвет-материал», «цвет-свет». Ж. Фиасье начал свою работу в области цвета в 40-х годах с изучения цвета материалов, создания гармонизаторов цвета и всю свою практическую деятельность по выполнению проектов колористики промышленных, жилых, выставочных зданий строил на основе использования цветового богатства материалов (как и Ласюсь).

Фиасье и Ласюсь — и практики, и теоретики, и исследователи, и экспериментаторы, и педагоги. В одном из своих докладов Ласюсь говорил, что новая колористика — это больше, чем практика, и больше, чем теория, так как включает в себя теорию практического применения цвета. Их интересный опыт, как и опыт работы зарубежных национальных институтов, центров и бюро по цвету у нас еще мало изучен и не обобщен.

Интерес к цвету и его практическому применению значительно возрос в последнее десятилетие. Причем «импульсы» идут от дизайна.

Так, начиная с 1980 г., в Штутгартском дизайн-центре проводится международный конкурс «Цветовой дизайн». Уже проведены три конкурса: 1980—81 г., 1983—84 г., 1986—87 г. Конкурсы с присуждением премий «За проектирование цвета» проводятся с целью выявить и поощрить новые возможности цветового проектирования в области архитектуры, дизайна и дидактики (последняя подразумевает теорию цвета — цветовые гаммы и цветовые системы, концепции, методы обучения). Интересно, что выставки работ, представленных на конкурс, проводятся одновременно с выставкой западногерманского дизайна.

В нашей отечественной практике дизайна цветовому проектированию уделяется мало внимания. Нередко в целомом процессе художественно-конструкторского проектирования того или иного объекта разработке цветового решения (или колористики, по вводимому нами понятию) отводится второстепенная роль. Об этом свидетельствуют наши анализы художественно-конструкторских проектов, разрабатываемых и дизайнерами ВНИИТЭ, и дизайнерами промышленных предприятий. Цвет все время как бы обречен на «реабилитацию», на доказательство его необходимости.

Несмотря на хорошие (и пока единственные в системе ВНИИТЭ) методические рекомендации по теоретическим и практическим вопросам использования цвета в производственной

среде [20], цветовые (колористические) свойства объектов художественного конструирования остаются на втором плане профессионального мышления, его теории и методики. На первый план долгое время выходили проблемы функциональной адекватности изделия, его пластического и объемного решения, тектоники вещи, модульно-пропорционального ряда в формообразовании и пр. Невозможно отрицать или уменьшить значимость всех этих вопросов. Однако они ни в коей мере не исчерпывают круга проблем художественного конструирования. Выделение их на первый план легко объяснить тем, с чего начал промышленный дизайн,— борьбой с украшательством вещи, с простой «покраской», орнаментацией промышленных изделий. Но при этом произошло и невольное смещение акцентов, обнаружившее теперь свою ущербность. Эта ущербность особенно проявилась тогда, когда проблемы формообразования, включая колористику, направленные на единичный предмет, сменились поисками средовых решений (фирменного стиля, дизайн-программ, стилистики предметно-пространственной среды).

В работах ВНИИТЭ [6, 7, 11], представивших некоторые подходы к цветовому решению групп промышленных изделий (транспортных средств, технологического оборудования, продукции культурно-бытового назначения), даны в основном готовые рекомендации по цвету материалов и их применению для рассматриваемых групп изделий с учетом возможностей реализации цвета, а в ряде случаев (стандарты на покрытия станков, на цвета безопасности) их нормативное использование. В них не рассматриваются принципы, способы и приемы работы с цветом, творческие аспекты деятельности по разработке колористики объектов.

В настольных книгах дизайнера («Методика художественного конструирования» и «Эргономика: принципы и рекомендации» [8, 21] даны системы проектных заданий, рассчитанные на совместное применение в проектно-творческих процессах. Раскрывая понятия дизайна как проектной деятельности, раскрывая процесс и содержание дизайнерского проектирования (художественного конструирования) и эргономического проектирования, а также содержание функционального морфологического и технологического проектирования, ставя задачу отразить в методике художественного конструирования вопросы, главным образом связанные с творческими аспектами деятельности дизайнера, в этих книгах не упоминается цвет (даже в разделе «Композиционное формообразование»). Казалось бы, рассматривая вещь как образ и функцию культуры, рассматривая «дизайн как деятельность по проектированию культурных образцов» [8, с. 11], авторы «Методики художественного конструирования» должны были бы хотя бы упомянуть про цвет, давно освоенный человечеством и ставший явлением культуры. То же в отношении использования психофизи-

ологических аспектов цвета в обеспечении функционирования системы «человек — машина».

В работах [10, 12, 15] над цветом в рамках художественного конструирования крупных комплексных программ (дизайн — программы БАМЗ, Культбытмаш-1 и др.) было практически выполнено колористическое проектирование в системе дизайн-деятельности. Проявилась она прежде всего в разработке образного представления цветовых решений изделий, причем цветовое моделирование типологических объектов, основанное на художественно-образном воображении и заданной типологии объекта подчас предшествовало моделированию формы. Однако этот опыт остался методически не осмысленным, а опубликованным результатом этих работ явились лишь рекомендации по цветам материалов и технологии, по нормативному содержанию выбора цвета на этапах художественного конструирования и разработки проектной документации. И в «Методике художественного конструирования. Дизайн-программа» [9] не отражены (и даже не названы) работы по цвету (кроме упомянутой в составе комплекса нормативно-технического обеспечения Карты цветофактурного решения и цветовой гаммы и образцов — эталонов цвета). Не потому ли конкретная практика художественного конструирования придает цвету второстепенное значение и цвет, как указывалось, приходится «реабилитировать»?

Таким образом, практика отечественного дизайнера не имеет фундаментальных методических пособий по цветовому проектированию. Изданные у нас в последние годы монографии по 'цвету касаются в основном архитектурной колористики [2, 5, 16, 17], текстильной колористики [4] и колористики в живописи [3]. Эти труды, конечно, полезны дизайнерам, но они не отражают специфики их деятельности, не могут быть для них методическими пособиями.

Актуальность подготовки методических рекомендаций по использованию цвета в дизайне очевидна. Такие рекомендации должны строиться на исследовании проблем цвета в дизайне и в первую очередь состоять в выявлении специфики проектирования колористами различных объектов, начиная от цвета материалов и кончая цветом предметных комплексов и всей среды (жилой, производственной, социально-культурной). Требуют решения и задачи цветового моделирования, учета культурно-исторических традиций и новаторского проектирования цветовой среды, разработку гармоний, выявления предпочтений и моды, взаимодействия цвета и формы, символики цвета. Путь к оптимизации проектирования идет через использование стандартных шкал цветов и каталогов с эталонными образцами цвета, цветоподборных устройств и видеокомпьютеров и т. д., а также — создание самих цветоносителей, обеспечивающих учет вышеизложенного.

Сложность их подготовки обусловлена тем, что при всей теоретической доказуемости необходимости интеграции

научных знаний о закономерностях колористического творчества проблема единой цветоведческой науки и построения общей теории колористики как одного из ее центральных разделов даже не поставлена в нашей литературе. Теоретические разработки понятия цветовой среды и цветовой формы (как внешнего выражения), цветового образа (как восприятия), цветовой композиции и в целом понятия цветового проектирования, колористической деятельности, колористики на разных ее уровнях представляются неоднозначными и неопределенными. Хотя опыт разработки колористических подпрограмм в дизайн-программах ВНИИТЭ, да и зарубежный опыт показывают, что колористическая деятельность приобретает профессиональный статус, а колорист как главное действующее лицо колористической деятельности все чаще становится равноправным партнером дизайнера или самостоятельной фигурой в проектировании и создании эстетики организованной материальной среды. Тем не менее реальное включение колориста (консультанта по цвету, колориста-технолога, архитектора-колориста, художника-колориста, дизайнера-колориста) прежде всего в проектную деятельность по созданию предметно-пространственной среды сложно, многопланово и противоречиво. С одной стороны, колорист, будь он практик или теоретик, приобретает относительную самостоятельность, и это объективно обусловлено собственной сложностью проблем колористики, а с другой — он все более зависим от усложняющихся задач, которые совместно вынуждены решать дизайнеры, технологи, экономисты, социологи, психологи и другие специалисты.

Во всяком случае, признание профессионального статуса колористического проектирования будет способствовать повышению уровня дизайна и цветовой культуры предметно-пространственной среды, развитию колористики как науки и практической деятельности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Ефимов А. В.* Цвет в предметной среде. Актуальные проблемы // *Технич. эстетика.* 1988. № 12. С. 1—3.
2. *Ефимов А. В.* Формообразующее действие полихромии в архитектуре. М., 1985.
3. *Зайцев А. С.* Наука о цвете и живопись. М., 1986.
4. *Козлов В. Н.* Основы художественного оформления текстильных изделий. М., 1981.
5. *Кравец В. И.* Колористическое формообразование в архитектуре. Харьков, 1987.
6. Материалы и отделка изделий культурно-бытового назначения отдельных номенклатурных групп. М., 1981.
7. Материалы и отделка промышленных изделий. Вып. 1. М., 1976; Вып. 2, 1978; Вып. 3, 1981.
8. Методика художественного конструирования. М., 1983.
9. Методика художественного конструирования. Дизайн-программа. М., 1987.

10. *Нурулдаева Р. Л.* Колористические решения магнитофонов // Технич. эстетика. 1988. № 11. С. 23—25.
11. Отделка промышленных изделий. М., 1975.
12. От проектов до внедрения цветофактурных решений магнитофонов. М., 1986.
13. *Печкова Т. А.* Актуальные проблемы использования материалов для изделий культурно-бытового назначения // Технич. эстетика. 1981. № 2. С. 1—3.
14. *Печкова Т. А.* Некоторые проблемы цвета промышленной продукции // Технич. эстетика. 1985. № 3. С. 2—6.
15. *Печкова Т. А.* Представление о цветовом образе бытовых магнитофонов и развитие колористических поисков // Повышение качества отделки бытовой аппаратуры магнитной записи. М., 1983. С. 52—54.
16. *Пономарева Е. С.* Цвет в интерьере. Минск, 1984.
17. *Степанов Н. Н.* Цвет в интерьере. Киев, 1985.
18. Требования к отделке на стадиях проектирования и изготовления изделий: Состав и содержание Карт цветофактурного решения изделий. М., 1981.
19. *Устинов А. Г.* Цветовая форма. Вопросы семантики // Технич. эстетика. 1988. № 12. С. 9—11.
20. *Устинов А. Г.* Цвет в производственной среде. М., 1967.
21. Эргономика: принципы и рекомендации. М., 1983.

## СОДЕРЖАНИЕ

---

Введение .....	3
· <i>Тонквист Г.</i> Аспекты цвета. Что они значат и как могут быть использованы .....	5
<i>Леонов Ю. П.</i> К теории цвета в евклидовом пространстве .....	54
<i>Леонов Ю. П.</i> Евклидово цветовое пространство. Оппонентные координаты .....	68
· <i>Матвеев А. Б.</i> Проблемы взаимосвязи цвета, цветового различия и цветового ощущения .....	75
· <i>Соколов Е. Н.</i> Цветовое кодирование .....	88
· <i>Сивик Л.</i> Цветовое значение и измерения восприятия цвета: исследование цветовых образцов .....	95
<i>Корж Н. Н., Ребеко Т. А.</i> Красный цвет: существует ли он? .....	121
· <i>Корж Н. Н., Лупенко Е. А., Сафуанова О. В.</i> Трудно ли запомнить цвет? .....	137
· <i>Гавриленко О. Н.</i> Параметр тревожности и цветопредпочтение .....	144
<i>Хомская Е. Д., Федоровская Е. А.</i> Уровневая организация цветовых функций (нейропсихологическое исследование) .....	151
· <i>Миронова Л. Н.</i> Семантика цвета в эволюции психики человека .....	172
· <i>Митькин А. А., Перцева Т. М.</i> Динамика формы и цвета в творчестве Василия Кандинского и Казимира Малевича .....	189
· <i>Печкова Т. А.</i> Проблемы цвета в дизайне .....	197

**Проблема цвета в психологии / Отв. ред. Н. Н. Корж,**  
П78 **А. А. Митькин. — М.: Наука, 1993—207 с.**  
**ISBN 5-02-013405-8**

**В книге отражена многоплановость подходов, связанных с изучением цвета. Рассматриваются теоретические проблемы цветового зрения, проблемы, связанные с искусствоведческим подходом и патологией цветовосприятия.**

**Для самого широкого круга читателей.**

П  $\frac{030303000-048}{042(02)-93}$  37-91-1

**ББК 88**

Научное издание

**ПРОБЛЕМА ЦВЕТА  
В ПСИХОЛОГИИ**

---

Утверждено к печати  
Институтом психологии РАН

Заведующий редакцией  
**М. М. Беляев**

Редактор  
**А. Л. Купрянова**

Художник  
**А. А. Кущенко**

Художественный редактор  
**И. Д. Богачев**

Технические редакторы  
**Ю. В. Серебрякова, Н. Н. Кокина**

Корректоры  
**Н. Б. Габасова, Ю. Л. Косорыгин**



ИБ № 47641

Сдано в набор 09.02.92

Подписано к печати 01.04.92

Формат 60 × 90 <sup>1</sup>/<sub>4</sub>

Гарнитура таймс

Печать офсетная

Усл. печ. л. **13,12** Усл. кр. отт. **13,98**

Уч.-изд. л. **13,5**

Тираж **2000** экз. Тип. зак. **4337**

Ордена Трудового Красного Знамени

издательство «Наука»

117864, ГСП-7, Москва, В-485,

Профсоюзная ул., 90

2-я типография издательства «Наука»  
121099, Москва, Г-99, Шубинский пер., 6

**В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ "НАУКА"  
ВЫШЛА ИЗ ПЕЧАТИ:**

**Сергиенко Е. А.  
АНТИЦИПАЦИЯ  
В РАННЕМ ОНТОГЕНЕЗЕ ЧЕЛОВЕКА**

12 л.

Автор рассматривает антиципацию как неотъемлемое свойство психического, а не как особый психический процесс. Непрерывность развития антиципации в онтогенезе человека отражает непрерывность развития индивида. Системно-эволюционный подход к проблеме позволяет показать закономерность и преемственность психического развития человека в эволюционном процессе. Основной акцент сделан на когнитивной функции антиципации. Одновременно показано единство социально-аффективных и когнитивных составляющих в психическом отражении. Анализируются уровни антиципации, которые проявляются в аффектах избирательности, направленности поведения, пространственно-временном предвосхищении событий.

Для психологов, биологов, медиков, а также обществоведов разного профиля.