

ВОСПРИЯТИЕ ЦВЕТНЫХ ПРЕДМЕТОВ¹

ИЗМАЙЛОВ Ч. А., МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва

ПАВЛОВА М. К., МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва

ХАНМАГОМЕДОВА М. А., МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва

В работе исследуется динамика цветового пространства в зависимости от усложнения паттернов стимуляции глаза, начиная от гомогенного светового излучения разного спектрального состава и интенсивности, которые при стимуляции ими сетчатки порождают апертурные цвета, и вплоть до изображения реальных объектов, характеризующихся разным фоном, разной текстурой и формой. Такие стимулы представляют цвет, наиболее близкий к цвету объекта, который мы видим в реальной среде. Построение цветового пространства во всех случаях основывалось на оценках больших надпороговых различий между стимулами и на анализе матрицы попарных различий одним и тем же методом многомерного шкалирования. В результате анализа полученных данных было показано, что цветоразличение более сложных с психофизической точки зрения стимулов (изображения реальных объектов, главной характеристикой которых были меняющиеся текстура и форма), согласно оценкам цветовых различий, представляет собой более простую геометрическую структуру, чем различение «простых» апертурных цветов. Упрощение цветового пространства реальных предметов касается как размерности цветового пространства (оно не увеличивается, а уменьшается), так и его метрики (которая вырождается до уровня порядковой шкалы).

В соответствии с этим формулируется положение, что восприятие цвета реальных предметов основано на категориальных принципах, имеющих общие языковые корни с речью. Таким образом, при разработке теории зрительного восприятия одной только психофизической методологии недостаточно для описания восприятия сложных стимулов (которые наиболее приближены к реальным объектам внешней среды), необходимо использовать также и психолингвистическую методологию.

Ключевые слова: апертурный цвет, предметный цвет, цветоразличение, цветовое пространство, цветовая метрика, многомерное шкалирование.

Введение

В исследовании цветового восприятия выделяют два типа цветовых образов, которые, в свою очередь, связаны с двумя типами цветовых стимулов. Первый тип стимулов – это гомогенные по пространству и по времени излучения разного спектрального состава и интенсивности стимулы, которые при своем воздействии на сетчатку порождают апертурные цвета (Katz, 1935). Апертурный цвет однозначно характеризуется тремя субъективными переменными, которые рассматриваются как основные цветовые характеристики: цветовой тон, насыщенность и светлота (Wyszecki & Stiles, 1982). В терминах геометрической модели цветового зрения (трехмерного цветового пространства) каждая субъективная переменная вычисляется как психофизическая функция от двух физических переменных: спектрального состава и интенсивности света. Принципиальная схема этой модели была отработана в рамках Международной комиссии по освещению, и ее развитие по разным направлениям цветового восприятия продолжается и в настоящее время (Wyszecki & Stiles, 1982). Второй тип стимулов – это гетерогенные по пространству и времени излучения; при такой стимуляции на соседние участки сетчатки попадает излучение разного спектрального состава и интенсивности, что приводит к качественно другому субъективному феномену, который

¹Работа поддержана грантом РГНФ № 07-06-00184а.



обозначается как предметный цвет или цвет поверхности объекта (Evans, 1964; Heggelund, 1974, 1992). В отличие от строгой математической модели, построенной для описания восприятия апертурных цветов, для восприятия предметных цветов решить аналогичную задачу не удастся. Рассмотрим эту проблему более детально.

Апертурный и предметный цвета традиционно различают прежде всего по физической природе стимуляции сетчатки. В первом случае – это излучение некоторого источника света, который попадает в глаз непосредственно от самого источника. Во втором случае стимул воспринимается как свет, отраженный от поверхности, освещенной внешним источником излучения, но самой свет не испускающей (Федоров, 1935; Кравков, 1953; Максимов, 1980). Однако исследователи давно обратили внимание, что при восприятии цвета как субъективного феномена физическая природа стимуляции никак не проявляется. Например, цвет лунного диска в ночной темноте апертурный, он воспринимается как цвет самосвещающегося объекта, хотя физически в наш глаз попадает световой поток отраженного от поверхности луны солнечного излучения. Противоположным примером (наиболее простым и физически измеряемым случаем) предметного цвета служит восприятие стимула в виде небольшого диска (порядка 1–3 угловых градусов), окруженного немного большим по яркости и значительно большим по угловой величине кольцом. Хотя сам диск и окружающее поле являются источниками излучения, однако субъективно мы видим диск не как самосвещающийся, а как кусочек поверхности, освещенный светом извне и окруженный самосвещающимся световым полем (Федоров, 1935; Wallach, 1963; Рок, 1980). Наличие одновременно двух разных излучений оказывается достаточной характеристикой стимуляции, которая переводит субъективный образ из качества апертурного цвета в предметный цвет. Принципиальное отличие первого примера от второго состоит вовсе не в том, излученный или отраженный свет попадает в глаз, а в том, является ли зрительное поле однородным или гетерогенным. Чем более разнообразно по спектральному составу и интенсивности световое поле, тем более «предметным» будет воспринимаемый цвет. Самым распространенным примером предметного цвета служит цвет яблока, лежащего на столе в комнате, освещенной солнечным светом из окна. Такие стимулы характеризуются существенно большей гетерогенностью зрительного поля, вызванной значительными вариациями спектрального состава и интенсивности светового потока, попадающими от разных участков стимульного поля в глаз.

Таким образом, с точки зрения психофизической методологии разница между апертурным цветом и предметным цветом реального объекта действительно определяется различными условиями стимуляции глаза, но не разницей излученного или отраженного света, а однородностью или гетерогенностью стимула. Иными словами, простой или сложный стимул действует на сетчатку. Апертурный цвет формируется в крайне редуцированных условиях стимуляции, поэтому он рассматривается как наиболее простой стимул, а предметный цвет, наоборот, связан с разнообразием этих условий, соответственно, это более сложный стимул. Другими словами, можно связать апертурный цвет с однородной стимуляцией глаза, а предметный цвет с гетерогенной. В частности, можно выделить три важных условия гетерогенности зрительного стимула для формирования предметного цвета: 1) фигурно-фоновая структура стимуляции, 2) наличие текстуры, 3) варьирование формы стимула.

Продолжая эту логику, предметный цвет, как и апертурный, может быть представлен теми же тремя субъективными характеристиками, поскольку каждый локально однородный участок зрительного поля имеет свою трехмерную характеристику. Кроме того, в математи-

ческой модели необходимо учитывать и определенные отношения между этими локальными участками. Например, при стимуле «центральный диск–окружающее кольцо» один и тот же физический состав излучения в центральном поле, порождающий светящийся апертурный желтый цвет i с заданными значениями цветового тона hi , насыщенности si и светлоты bi , в зависимости от яркости окружающего кольца может восприниматься как желтая поверхность, т. е. желтый предметный цвет, близкий по основным цветовым характеристикам к апертурному цвету, а может восприниматься как коричневая поверхность, совершенно непохожая ни на желтый апертурный цвет, ни на желтый предметный цвет. То есть цвет как трехмерная характеристика центрального поля зависит от такой же трехмерной характеристики окружающего поля. Соответственно, для «правильного» описания восприятия цвета центрального диска надо ввести «поправку» на восприятие цвета внешнего кольца. Аналогичные рассуждения лежат в основе большинства современных подходов к решению проблемы восприятия предметных цветов, а также такого частного аспекта этой проблемы, как цветовая константность (Максимов, 1980; Wallach, Galloway, 1946; Petrov, 1993). Таким образом, с позиции психофизической методологии решение проблемы взаимосвязи апертурных и предметных цветов заключается в разработке единой математической модели, включающей в себя как частный случай уже разработанную модель апертурных цветов.

Одно из наиболее распространенных решений этой проблемы связано с модификацией геометрической модели апертурных цветов путем некоторого изменения структуры базисных характеристик цвета. В отличие от цветового тона, который имеет оппонентную (или биполярную) структуру, насыщенность и светлота апертурного цвета имеют монополярную структуру. Модификация состоит в замене монополярной переменной насыщенности или светлоты биполярной характеристикой цвета. В этом случае, например, одна часть цветового пространства предметных цветов задается цветовым тоном, насыщенностью и белизной, и цвета, представленные в этой области цветового пространства, идентичны апертурным цветам, заданным цветовым тоном, насыщенностью и светлотой. Другая часть цветового пространства задается цветовым тоном, насыщенностью и чернотой: она представляет предметные цвета, совпадающие по первым двум характеристикам с апертурными, но переменная белизны меняет свой знак на противоположный (черноту). Наиболее известной геометрической моделью такого типа является цветное тело Мансела. Связь одной (белой) половины модели Мансела с геометрической моделью апертурных цветов показана для разных вариантов последней (Wyszecki, Stiles 1982; Izmailov, 1995). Связь другой (черной) половины модели Мансела решается включением в рассмотрение феномена одновременного цветового контраста, поскольку совершенно такая же структура стимула в виде фигуры диск–кольцо используется при формировании эффектов одновременного контраста для апертурных цветов. В наших работах показано, что геометрическая модель цветоразличения в условиях одновременного яркостного контраста (образованного стимулами диск–кольцо) включает в себя (как подпространство) геометрическую модель цветоразличения апертурных цветов. Это справедливо как для хроматических стимулов (Измайлов и др., 1999; Bimler et al., 2006), так и для ахроматических (Измайлов, 1981; Соколов, Измайлов, 1984; Izmailov, Sokolov, 1991).

Такое решение проблемы объединения апертурных и предметных цветов оказывается приемлемым, если речь идет о варианте негомогенности стимульного поля в виде фигуры диск–кольцо. Вопрос в том, насколько полно такая форма стимульного поля соответствует понятию предмета и предметного цвета. Не является ли данная негомогенность стимульного поля настолько вырожденной, что здесь необходимо вести речь, главным образом, о



включении в геометрическую модель апертурных цветов феноменов цветового контраста, а не о предметных цветах вообще?

Чтобы прояснить этот аспект проблемы взаимоотношения апертурных и предметных цветов, мы провели анализ серии экспериментальных данных по цветоразличению, включающих в себя различные виды цветовых стимулов, характеризующихся различной степенью гетерогенности зрительного поля, начиная от монохроматических и широкополосных световых излучений с максимальной гомогенностью зрительного поля, порождающих апертурные цвета, вплоть до изображений реальных предметов разного цвета с максимальной гетерогенностью зрительного поля.

Этот анализ проводится в рамках сферической модели цветового зрения, которая позволяет в единых математических терминах описывать различие широкополосных и монохроматических световых излучений разного спектрального состава и интенсивности (Измайлов, 1980, 1981; Izmailov, 1982; Sokolov, Izmailov, 1983; Izmailov, Sokolov, 1991), различие манселовских цветовых карт (Соколов, Измайлов, 1984; Izmailov, 1995), различие стимулов в виде фигуры диск–кольцо, создающих условия одновременного яркостного контраста для цветов разного спектрального состава и интенсивности (Соколов, Измайлов, 1984; Izmailov, Sokolov, 1991; Bimler et al., 2006).

Основной целью данного анализа является ответ на следующий вопрос: сохраняется ли структура цветового пространства (т. е. пространственные и метрические характеристики цветового пространства) несмотря на изменения текстуры, окружающего фона и формы стимула. Если ответ позитивный и структура цветового пространства сохраняется, то психофизическая методология в принципе позволяет решить проблему построения общей теории цветового восприятия. Если же это не так, тогда необходимо проверить, позволяет ли категориальная интерпретация данных объяснить полученные расхождения.

Поскольку в психофизическом подходе предполагается, что именно усложнение стимульной ситуации переводит зрительную систему из апертурного модуса в предметный, то в рамках используемого нами подхода (многомерное шкалирование больших межстимульных различий) к исследованию зрительного восприятия были выбраны показатели изменения сложности стимулов при сохранении во всех опытах единой экспериментальной процедуры, которая включает в себя: а) временные (длительность) и пространственные (угловая величина) характеристики предъявления стимулов, б) процедуру оценки стимулов испытуемым, в) метод обработки полученных оценок и г) метод математического представления данных.

Для анализа были использованы экспериментальные данные различения пяти типов стимулов, представляющих собой:

1) гомогенные световые излучения (эти стимулы вызывают апертурный цвет, характеризующийся отсутствием формы, текстуры и фона);

2) цветные карточки-выкраски, характеризующиеся наличием текстуры и фона, которые сохраняются постоянными для всех стимулов (они дают «цвет поверхности» – простейший предметный цвет);

3) стимулы в форме диск–кольцо, характеризующиеся наличием варьируемого фона, который создает ситуацию фигуру-фоновое взаимодействие, но при отсутствии текстуры (предметные цвета, создаваемые одновременным цветовым контрастом);

4) стимулы-вырезки, характеризующиеся наличием варьируемой текстуры и постоянного фона, но имеющие фиксированную форму стимула;

5) стимулы-объекты, характеризующиеся разной формой, разной текстурой, разным

фоном; такие стимулы представляют цвет, наиболее близкий к цвету объекта, видимый нами в реальной среде.

Данные, полученные для гомогенных излучений, цветов поверхности (предметных цветов) и стимулов диск–кольцо (первые три типа стимулов), взяты из наших предыдущих исследований; для четвертого и пятого типов стимулов получены по описанной ниже методике.

Методика

Особенности нашего подхода детально описаны в работах (Измайлов, 1980, 1981; Izmailov, 1982), поэтому здесь приводится только краткое описание методики.

В качестве стимулов-объектов использовали фотографические изображения 25 реальных объектов, цветов, ягод, фруктов и т.п. Их цветообозначения (по первым буквам цветовых названий), колориметрические характеристики (цветность в системе МКО-31), доминантная длина волны (в нанометрах) и яркость (в кд/м²) приведены в табл. 1. В одной серии опытов они предъявлялись целиком, как это изображено на рис. 1а. Каждый стимул был одинаковым по размеру фона, но различался отношением между объектом и фоном, а также формой и текстурой объектов. Во второй серии стимулы формировались как квадратные участки одинаковой величины, вырезанные из центральной части изображений реальных объектов, поэтому они различались между собой только по цвету и текстуре (см. рис. 1б). Далее они будут обозначаться как стимулы-объекты и стимулы-вырезки.

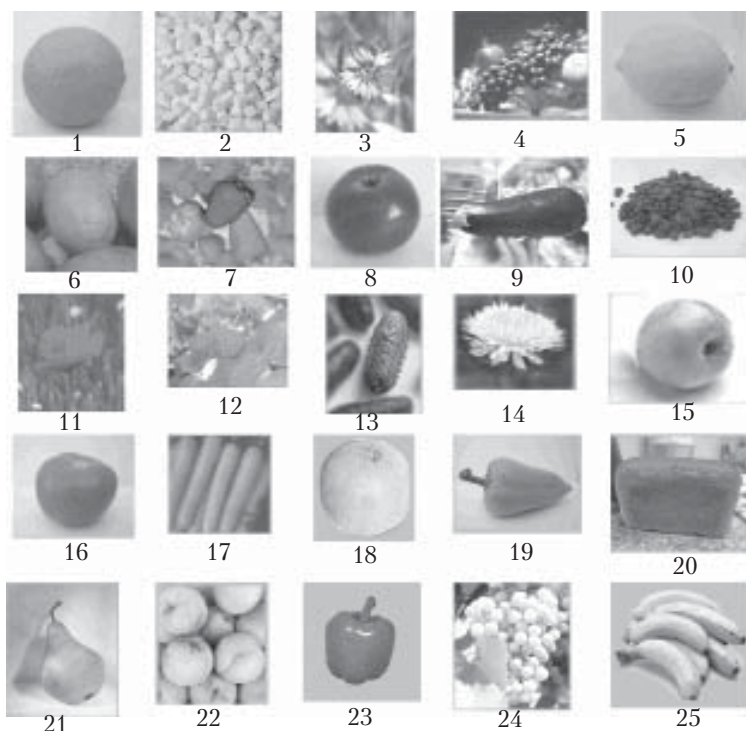


Рис. 1а. Стимулы – изображения реальных объектов, имеющих характерные цвета. В табл. 1 приведены названия объектов, их цветообозначения и координаты цветности в системе МКО-31. Излучение, которое попадает в глаз от этих стимулов, характеризуется максимальной гетерогенностью зрительного поля и характеризуется вариативностью текстуры, формы и фигуρο-фонового отношения.

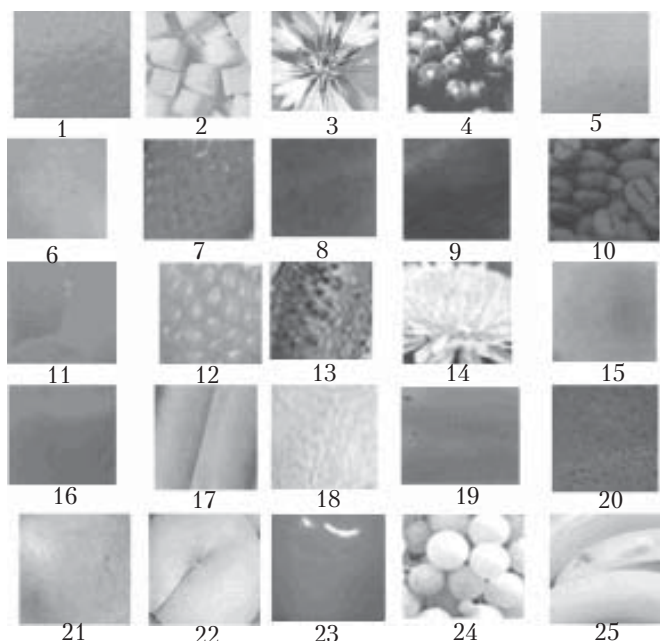


Рис. 16. Стимулы-вырезки, взятые как центральный участок изображения реальных объектов на рис. 1а. Обозначения этих стимулов такие же, как на рис. 1а. Излучение, которое попадает в глаз от этих стимулов, характеризуется только вариативностью текстуры.

Таблица 1. Названия стимулов-объектов, их цветообозначения, координаты цветности в системе МКО-31, яркость (кд/м²) и доминантная длина волны (нм)*

№	Названия объектов	Цвето-обозначения	X	Y	L	Длина волны
1	Апельсин	O1	531	395	8	592
2	Сахар	B1	252	280	34	
3	Василек	Г1	218	201	30	475
4	Виноград	Ч1	234	314	13	478
5	Лимон	Ж5	389	522	25	566
6	Картофель	Кo2	329	430	25	549
7	Клубника	К5	598	309	6	627
8	Яблоко	К4	432	346	3	610
9	Баклажан	Ф2	263	218	2	455
10	Виноград	Ф1	374	382	2	575
11	Роза	К1	598	344	11	611
12	Малина	М	449	354	19	598
13	Огурец	З1	269	478	11	523
14	Одуванчик	Ж1	397	522	60	568
15	Яблоко	З2	321	557	13	553
16	Помидор	К2	549	365	6	602
17	Морковь	O2	479	413	20	584
18	Яблоко	Ж2	395	499	54	568
19	Перец	З3	327	543	9	555
20	Хлеб	Кo1	468	393	3	588
21	Груша	ЖЗ	472	449	26	581
22	Абрикос	O3	437	482	42	575
23	Перец	КЗ	504	364	7	600
24	Виноград	ЖЗ	288	372	44	550
25	Банан	Ж4	420	494	36	572

*Те же характеристики сохраняются и для стимулов-вырезок.

Стимулы предъявлялись попарно на компьютерной установке с высококачественным цветным монитором. Пары выбирались из массива стимулов в случайном порядке. С учетом сохранения пространственной симметричности предъявления стимулов в паре общее число пар равнялось $N(N-1)$. Каждая пара предъявлялась одному и тому же испытуемому три раза. Предъявления были также рандомизированы. Длительность пары равнялась 2 с., длительность интервала между предъявлениями (время ответа) – 2 с. Наблюдение было бинокулярным. Расстояние от испытуемого до экрана равнялось 80 см. Размер стимула на экране – 10 x 10 см. Опыты проводились в условиях слабой световой адаптации при освещенности дневным светом 10 люкс.

Испытуемые. В опытах участвовали пять испытуемых-трихроматов в возрасте от 20 до 30 лет (женщины). Испытуемые оценивали степень цветового различия предъявляемой пары стимулов в баллах – от 1 (минимальное) до 9 (максимальное). Какое именно различие является максимальным, испытуемому не указывалось, он должен был выбрать его самостоятельно в ходе опыта. После окончания работы с каждым испытуемым оценки усредняли по предъявлениям. Далее проводился анализ оценок испытуемых по коэффициенту корреляции Пирсона. Для всех испытуемых коэффициент корреляции по симметричности треугольных матриц составил не менее 0,7, а между испытуемыми – не менее 0,6. В итоге данные также усредняли по испытуемым.

Результаты

Результаты опытов с двумя типами стимулов сведены в две треугольные матрицы (см. табл. 2): эти матрицы усредненных (по пяти испытуемым и 3 x 2 предъявлениям) оценок подвергались анализу метрическим методом многомерного шкалирования для определения пространства минимальной размерности, в котором межточечные расстояния максимально соответствуют исходным оценкам цветовых различий. В результате были получены координаты точек-стимулов в пятимерном евклидовом пространстве и показатели значимости для каждого измерения (Шепард, 1981; Измайлов, 1980).

Размерность цветового пространства изображений реальных объектов. В соответствии со сферической моделью различения стимулов, качество пространственного решения (goodness of fit) оценивается по двум формальным критериям: 1) стресс (или коэффициент корреляции) и 2) коэффициент вариации радиуса цветовой сферы (Измайлов, 1980; Измайлов и др., 1989). Первый показатель характеризует эффективность использования евклидова пространства для представления цветовых различий. Коэффициент корреляции показывает степень сходства между исходными оценками цветовых различий и межточечными евклидовыми расстояниями, а стресс, наоборот, показывает степень расхождения этих двух характеристик. Стресс и коэффициент корреляции показывают одно и то же, но взаимно обратным образом.

Второй показатель характеризует эффективность использования сферической модели для описания этих же оценок различий. Сферичность полученного пространства оценивается по величине коэффициента вариации, который характеризует отклонение экспериментальных данных от уравнения сферы. С этой целью для всех точек полученной конфигурации проверяется гипотеза о том, что они находятся на одной и той же четырехмерной поверхности, имеющей постоянную положительную кривизну. Для каждой конфигурации точек-стимулов в пространстве определяется геометрический центр. Теоретически эта центральная точка должна находиться на равном расстоянии от всех точек, представляющих



Таблица 2. Матрицы оценок попарных цветовых различий между стимулами-вырезками (верхний правый треугольник) и стимулами-предметами (нижний левый треугольник)*

№	X	Y	L	Длина волны	Сферическая координата
1	531	395	8	592	295
2	252	280	34		
3	218	201	30	475	110
4	234	314	13	478	103
5	389	522	25	566	247
6	329	430	25	549	250
7	598	309	6	627	332
8	432	346	3	610	345
9	263	218	2	455	94
10	374	382	2	575	295
11	598	344	11	611	325
12	449	354	19	598	326
13	269	478	11	523	192
14	397	522	60	568	259
15	321	557	13	553	206
16	549	365	6	602	325
17	479	413	20	584	306
18	395	499	54	568	265
19	327	543	9	555	197
20	468	393	3	588	294
21	472	449	26	581	295
22	437	482	42	575	275
23	504	364	7	600	335
24	288	372	44	550	220
25	420	494	36	572	257

*Номера стимулов соответствуют данным табл. 1. Каждый элемент матрицы представляет среднюю оценку цветового различия между стимулами по 30 предъявлениям.

стимулы. Поскольку экспериментальные данные содержат случайные ошибки, эти расстояния (радиусы) случайно варьируются, тогда центр сферы определяется таким образом, чтобы дисперсия радиусов была минимальной. Для решения используется итерационная процедура, которая минимизирует дисперсию радиальных расстояний, произвольно сдвигая точку центра. Полученная минимальная дисперсия характеризует разброс радиальных расстояний всех точек (т. е. толщину сферического слоя, в котором располагаются экспериментальные точки). Нормированное выражение этого разброса (отношение стандартного отклонения радиусов к среднему радиусу) и есть коэффициент вариации.

В идеальном случае коэффициент вариации и стресс должны равняться нулю, а коэффициент корреляции – единице. Степень расхождения полученных величин от идеальных значений этих критериев рассматривается как влияние экспериментального шума. Если величина шума находится в пределах 10 %, решение считается хорошим.

Анализ полученных данных показал, что для описания оценок цветовых различий необходимо не менее четырехмерного евклидова пространства. В табл. 3 приводятся значения коэффициентов вариации, стресса и коэффициента корреляции для цветовых пространств, представляющих разные типы стимулов, включая данные настоящих экспериментов. Из этой таблицы видно, что по формальному десятипроцентному критерию все данные хорошо согласуются со сферической моделью цветового зрения.

Таблица 3. Показатели, характеризующие сферическую модель цветоразличения, построенную по данным субъективных оценок надпороговых различий между стимулами разного типа

Показатели сферичности	Типы стимулов*				
	1	2	3	4	5
	Монохроматические	Пигментные	Диск – кольцо	Вырезки	Объекты
Средний радиус	50,5	1,03	6,14	1,04	1,12
Стандартное отклонение	5,3	0,12	0,18	0,11	0,15
Коэффициент вариации, %	10,4	10,6	3,3	10,8	13,7
Коэффициент корреляции	0,994	0,941	0,928	0,972	0,974
Стресс	0,01	0,04	0,08	0,05	0,04

*1. Монохроматические излучения. 2. Пигментные выкраски из атласа Мансела. 3. Монохроматические излучения при условии вариации одновременного яркостного контраста. 4. Вырезки – одинаковые по форме и величине участки изображений реальных объектов с вариацией текстуры. 5) Изображения реальных объектов с варьируемыми текстурой, формой, величиной.

Результаты и их обсуждение

Как показывают формальные критерии, пространство различения гетерогенных стимулов может быть представлено в виде гиперсферы в четырехмерном евклидовом пространстве. Однако эти критерии указывают лишь на необходимые условия решения, в то время как достаточность этих условий определяется содержательными критериями, основанными на психофизическом и нейрофизиологическом соответствии полученного решения и характеристик зрительной системы. В сферической модели различения зрительных стимулов это соответствие устанавливается за счет одновременной работы как механизма нейрофизиологического кодирования стимулов в зрительной системе (который представлен системой декартовых координат), так и механизма декодирования нейрофизиологического кода в перцептивные характеристики зрительного образа (который представлен системой сферических координат).

В терминах сферической модели процесс различения стимулов, имеющих несколько значимых физических характеристик, осуществляется соответствующим числом двухканальных модулей, которые могут работать параллельно и независимо, а могут взаимодействовать, образуя многоканальную сеть. В последнем случае геометрическая модель различения таких сложных стимулов представляет собой гиперсферу в евклидовом пространстве, размерность которого зависит от числа сферических координат, имеющих однозначную связь с субъективными характеристиками стимулов (Измайлов и др. 1989; Izmailov, Sokolov, 1991; Соколов, Измайлов, 2006).

Как было показано в наших работах, сферическое цветовое пространство состоит из пары двухканальных модулей-подпространств: хроматического, представленного плоскостью $X1X2$, и ахроматического, представленного плоскостью $X3X4$. На рис. 2 приводятся проекции точек-стимулов на хроматическую плоскость цветового пространства, полученного для двух типов стимулов: вырезок (2,а) и предметов (2,б). Для сравнения на этом же рисунке (2,в) приведены аналогичные данные для стимулов – пигментных цветов (Измайлов, 2010).

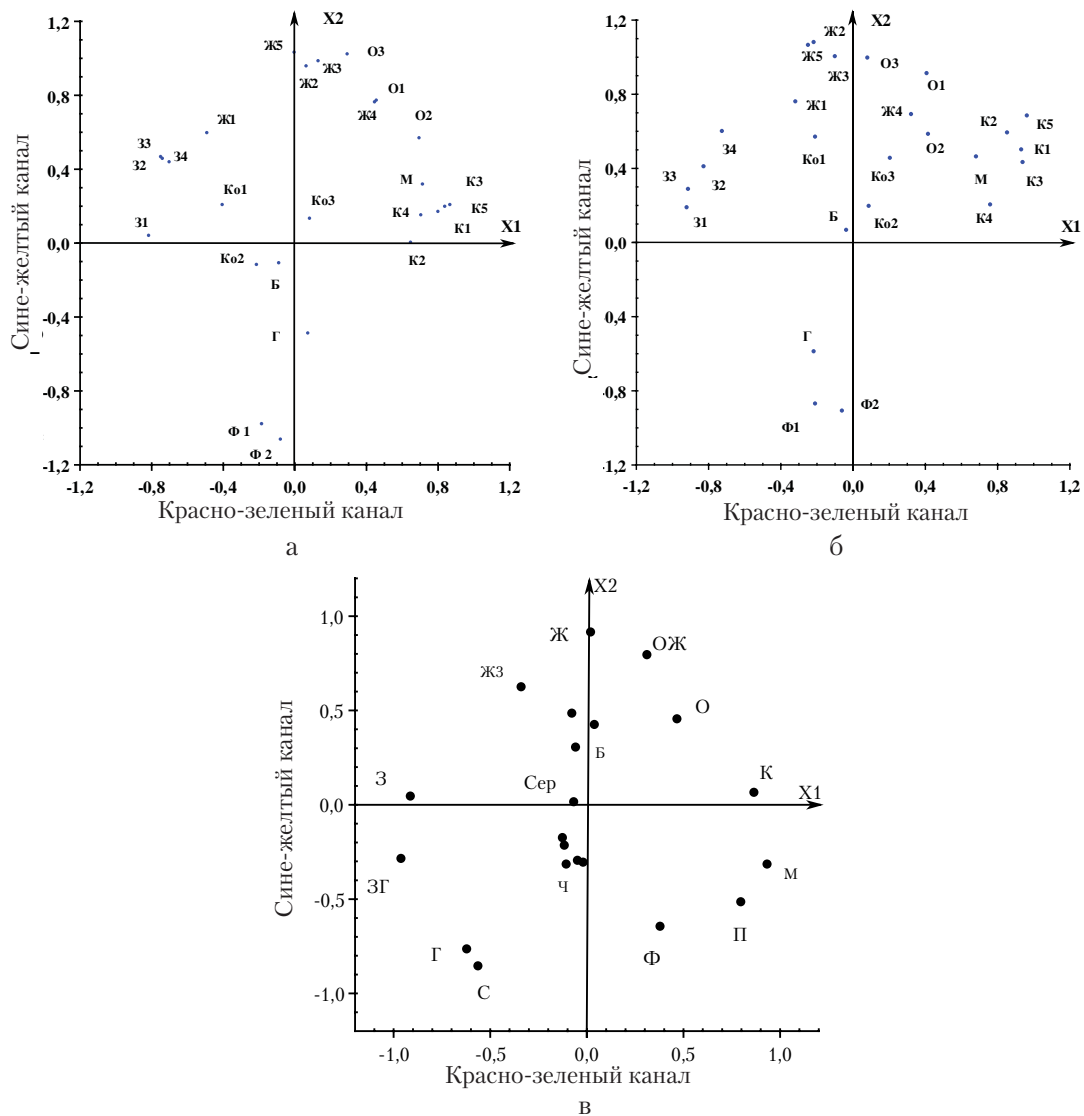


Рис. 2. Двухмерное хроматическое подпространство, представляющее собой проекцию четырехмерной цветовой гиперболы на плоскость цветоопонентных координат X1X2.

На графике 2,а приведены данные для стимулов-вырезков, на графике 2,б – для стимулов-предметов, а на графике 2,в – данные из работы Измайлова (2010) для стимулов-выкрасок (пигментные цвета). Во всех случаях круговая траектория основных цветов на плоскости (они обозначены первыми буквами цветовых названий стимулов из табл. 1) показывает полное соответствие с трихроматической и цветоопонентной феноменологией. Это позволяет рассматривать оси X1 и X2 как два нейрофизиологических канала зрительной системы, детектирующих спектральный состав стимула.

На этих графиках хорошо видно, что во всех случаях цветные точки располагаются в двухмерной евклидовой плоскости в общем соответствии с основными характеристиками цвета. Хроматические стимулы располагаются по цветовому кругу в соответствии с трихроматической и цветоопонентной феноменологией. Сферическая координата цветовой точки (горизонтальный угол, отсчет которого ведется от положительной полуоси X1 по часовой стрелке) в целом следует доминантной длине волны стимула. Ось X1 декартовой системы

координат представляет красно-зеленую цветоопонентную характеристику зрительной системы, а ось X_2 , соответственно, сине-желтую характеристику. Ахроматические цвета располагаются в центре хроматической плоскости. Таким образом, мы можем утверждать, что пространственное решение для хроматической характеристики всех типов стимулов получается одинаковым (Измайлов, 1980, 2010; Izmailov, Sokolov, 1991; Izmailov, 1995).

Другая картина получается при сравнении ахроматического подпространства этих же самых стимулов. В соответствии с четырехмерным пространством различения цвета, полученным нами для апертурных и пигментных цветов, все ахроматические подпространства, независимо от типа стимулов, образуют двухмерную декартову систему координат (см. рис. 3, а, б), одна ось которой X_3 интерпретируется как «световой» канал, представленный *on*-клетками зрительной системы, а другая ось X_4 – как «темновой» канал, представленный *off*-клетками зрительной системы. На рис. 3,а показано, что апертурные цвета, создаваемые за счет излученного света, от самого светлого (максимальное значение по оси X_3) до темного (максимальное значение по оси X_4) располагаются на плоскости X_3X_4 в одном квадранте, а цвета, создаваемые за счет отраженного света, от белого (максимальное значение по оси X_4) до черного (минимальное значение по оси X_3) располагаются в другом квадранте (Измайлов, 1981, 2010; Соколов, Измайлов, 1984; Izmailov, Sokolov, 1991). Сферическая координата точек-стимулов на этой плоскости характеризует воспринимаемую яркость каждого цвета. Для наглядности на графиках рис. 3, а стимулы, характеризующиеся одной и той же длиной волны, но различающиеся по яркости, связаны одной ломаной линией. На рис. 3,б приведен график аналогичного подпространства для пигментных хроматических и ахроматических стимулов, взятый из работы Измайлова (2010). Хроматические цвета с одинаковым коэффициентом отражения образуют на плоскости компактную группу, вытянутую вдоль оси X_3 . Ахроматические стимулы соединены прямыми отрезками, которые образуют на плоскости X_3X_4 криволинейную траекторию в полном соответствии с коэффициентом отражения стимула. Сферическая координата точки-стимула на этой плоскости в соответствии с ее интерпретацией как субъективной яркости стимула образует линейную функцию от логарифма физической яркости (рис. 3, в, г).

Если сравнивать ахроматическое подпространство стимулов вырезок и стимулов-предметов, которое приводится на рис. 4,а, б, с графиками на рис. 3,а, б, то заметны определенные отличия в положении точек-стимулов. Максимально светлые стимулы (Б – белый и Г – голубой) и максимально темные стимулы (Ф2 – фиолетовый и К0 – коричневый) располагаются в противоположных концах оси X_3 , но в целом цвета не образуют никакой круговой траектории на данной плоскости, которая соответствовала бы воспринимаемой яркости для этих стимулов. Все остальные цветные точки образуют достаточно широкую область в середине плоскости X_3X_4 на рис. 4,а и более локальную на рис. 4,б. Такая картина характерна для цветных стимулов одинаковой яркости (см. рис. 3,б) (Измайлов, 1980, 2010). Это означает, что в ахроматическом подпространстве, полученном для предметных цветов, только координата X_3 отражает в некоторой степени яркостную характеристику стимулов, а координата X_4 для этих стимулов представлена на уровне экспериментального шума. Чтобы удостовериться в этом, обратимся к рис. 4,в, г. На этих графиках показана связь третьей координаты ахроматического подпространства с яркостью для стимулов-вырезок из изображений предметов (4,в) и стимулов-предметов (4,г). На представленных графиках (см. рис. 4,в) можно видеть, что в случае стимулов-вырезок имеется некоторая связь третьей координаты с яркостью стимулов, однако она не является такой же явной, как в случае

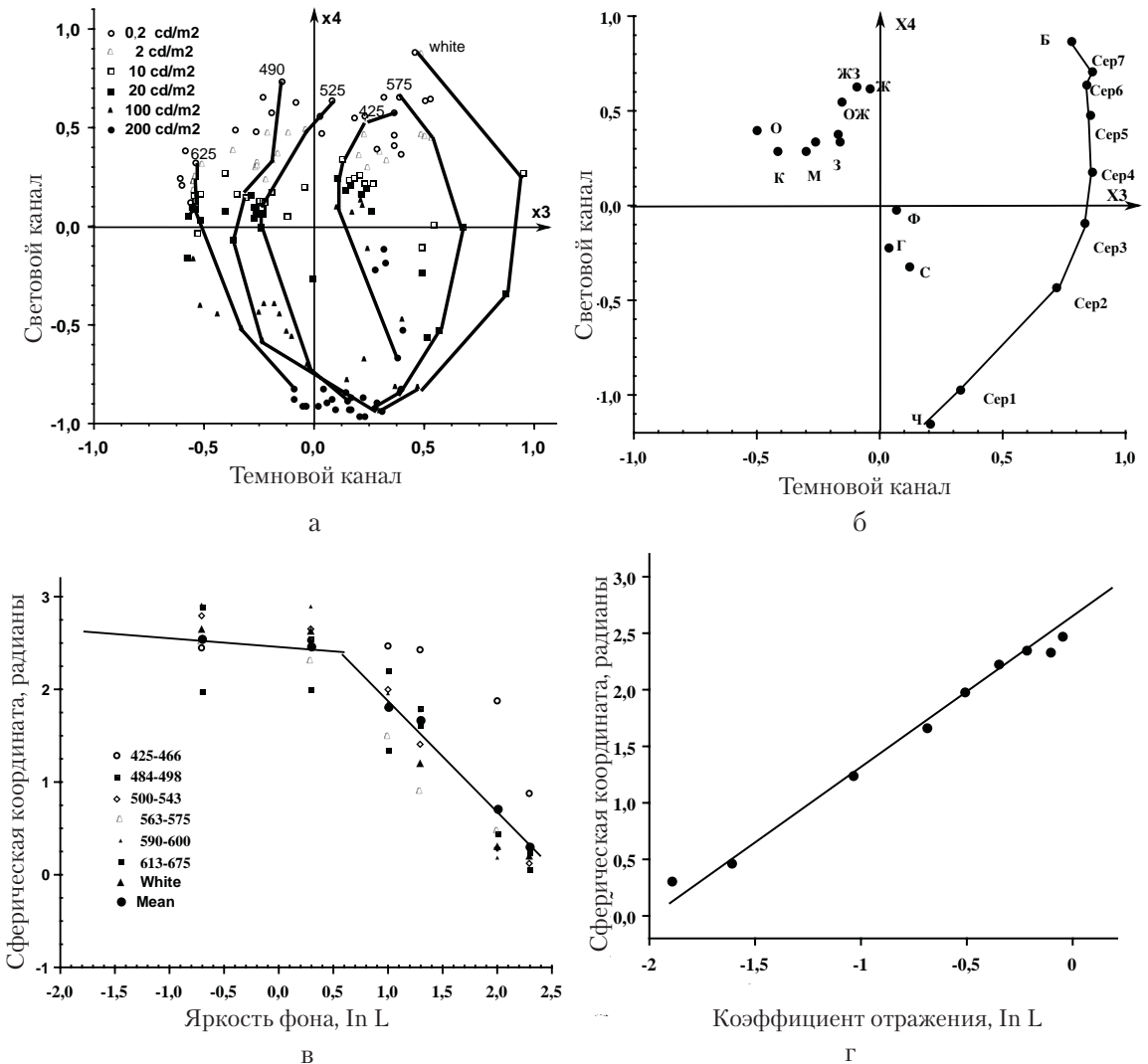


Рис. 3. Двухмерное ахроматическое подпространство, представляющее собой проекцию четырехмерной цветовой гиперсферы на плоскость координат X3X4.

На графике 3,а приведены данные из работы Бимлера и др. (Bimler et al., 2009) для стимулов диск-кольцо, которые позволяют представить как апертурные цвета (когда яркость окружающего кольца существенно меньше яркости диска), так и пигментные цвета (когда яркость окружающего кольца равна или больше яркости диска). Стимулы одной и той же длины волны, но различающиеся по яркости, связаны ломаной линией, кривизна которой демонстрирует, как меняется положение точки-стимула на цветовой сфере не только в зависимости от яркости, но также и от длины волны. На графике 3,б, взятом из работы Измайлова (2010), приведены аналогичные данные для пигментных стимулов-выкрасок, состоящих из группы хроматических стимулов с одинаковым коэффициентом отражения, и группы ахроматических стимулов, различающихся по коэффициенту отражения и располагающихся в центральной части ахроматической плоскости с разбросом, вызванным случайными ошибками в оценках испытуемых. На рис. 3,в и 3,г приведены психофизические функции яркости для стимулов диск-кольцо и пигментных стимулов, полученные в соответствии с интерпретацией сферической координаты точки-стимула как субъективной яркости. На рис. 3,в данные для соседних по спектру длин волн (например, 425–466 нм) усреднены для наглядности графика. Треугольники обозначают ахроматические стимулы. На рис. 3,г приведены только данные для ахроматических стимулов, поскольку хроматические стимулы имели одинаковую яркость.

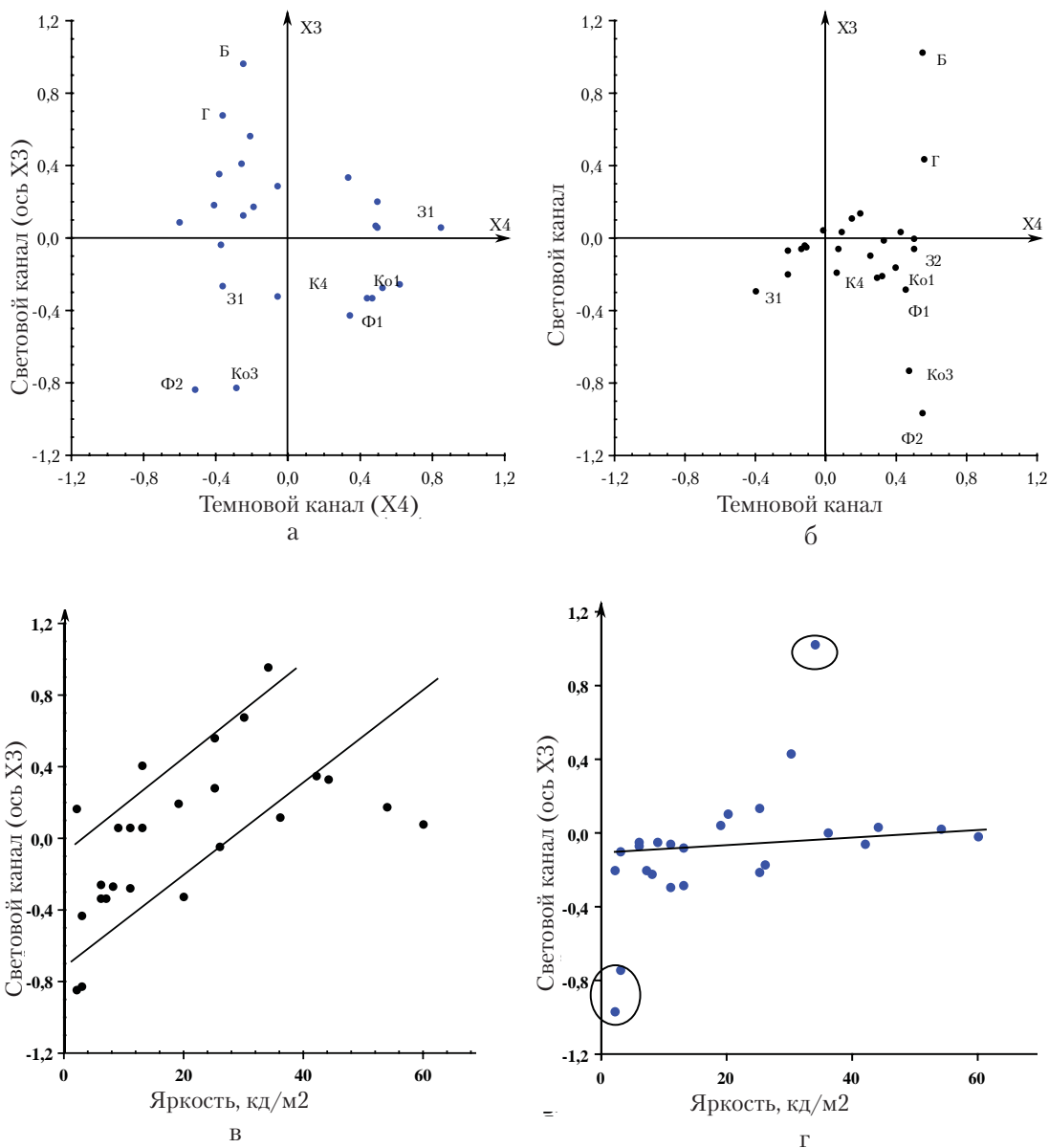


Рис. 4. Двухмерное ахроматическое подпространство, представляющее проекцию четырехмерной цветовой гиперсферы на плоскость координат X3X4.

На графике 4,а приведены данные для стимулов-вырезов, а на графике 4,б – для стимулов-объектов. Видно, что точки-стимулы одного цвета не образуют на плоскости X3X4 круговой траектории, поэтому нельзя рассматривать сферическую координату точки на этой плоскости как воспринимаемую яркость стимула. Расположение самого светлого (Б) и самого темного (Ф2) стимулов в противоположных концах оси X3 позволяет рассматривать только эту ось как яркостную характеристику стимулов. На рис. 4,в и 4,г приведены графики зависимости третьей координаты точки-стимула от яркости, полученные в соответствии с данной интерпретацией. Но и в этом случае можно говорить только о слабом порядковом соответствии. Характерно, что много точек, представляющих стимулы самой разной яркости, расположено в области нулевого значения оси X3, характеризующего средний уровень светлоты.



апертурных или пигментных цветов (см. рис. 3, в, г). Здесь из всего множества точек-стимулов можно выделить две группы точек, которые образуют линейный график (с учетом случайных флуктуаций). На рис. 4, г связь третьей координаты с яркостью стимулов еще слабее, ее можно выразить только через три кластера, которые образуют два самых темных стимула, два самых светлых, а также все остальные стимулы, группирующиеся в кластер средней яркости, расположенный между светлыми и темными стимулами. В данном случае нельзя говорить даже о приблизительной линейной связи, а только о порядковой кластеризации стимулов.

Таким образом, в отличие от гомогенных стимулов-излучений, (монохроматических, или широкополосных) и пигментных стимулов, стимулирующих глаз отраженным светом, для которых пространство различения имеет одинаковую структуру, составленную из двухмерного хроматического и двухмерного ахроматического подпространств, пространство гетерогенных стимулов (предметных цветов), у которых варьируют текстура и форма, имеет размерность меньшую, причем уменьшение размерности происходит за счет ахроматической составляющей цвета. Ахроматическая компонента предметного цвета не только теряет одно из двух измерений, но и оставшееся измерение лишается строгой функциональной связи с яркостью стимула, замещая ее порядковыми, качественными отношениями.

Изменение цветового подпространства изображений реальных объектов. Кластеризация стимулов происходит не только в ахроматическом, но и в хроматическом подпространстве. На графиках рис. 5 приведены функции цветового тона для гомогенных стимулов (излучений и пигментных выкрасок) и для гетерогенных стимулов, использованных в данном эксперименте. Цветовой тон – это основная хроматическая характеристика цвета. Под цветовыми названиями, такими, как красный, синий, зеленый, желтый, голубой и т. д., подразумевается именно цветовой тон. Для количественной характеристики цветового тона Л. Харвич и Д. Джемсон (Hurvich, Jameson, 1956) ввели понятие тонового коэффициента, который определяет его через отношение цветоопponentных координат (R–G) и (B–Y). В сферической модели цветового зрения этот коэффициент представлен сферической координатой цветовой точки на хроматической плоскости X_1X_2 : эта величина соответствует арктангенсу отношения цветоопponentных координат (см. рис 3, а, б). На рис. 5, а приведены два графика (обозначены кружками), показывающие зависимость тонового коэффициента от длины волны для монохроматических и пигментных стимулов. График тонового коэффициента представляет собой гладкую непрерывную кривую, которая обладает некоторыми характерными особенностями (Измайлов, 1980, 1981). Наиболее важная особенность этой психофизической функции – наличие трех плато в коротко-, средне- и длинноволновой частях видимого спектра. Они связываются с тремя типами фоторецепторов зрительной системы, определяя в значительной степени специфическую форму функции чувствительности зрительной системы к цветоразличению (Измайлов, и др., 1989). Еще одна особенность этой кривой – строгая монотонность – основывается на том, что гомогенные излучения, имеющие разные длины волн, могут иметь один и тот же цветовой тон, но стимулы с одинаковой длиной волны не могут иметь разные цветовые тона. Поэтому изменения стимула, которые приведут к изменению цветового тона, будут выражаться только в глобальном изменении всей функции (в виде константного сдвига или изменения наклона кривой, как это показано на рис. 5, а, б), но не могут внести локальных сдвигов, например, вывести цветовую точку за пределы этой кривой. Цветовая точка может смещаться только внутри этой кривой, но не может из нее выйти. Совершенно другую картину показывают

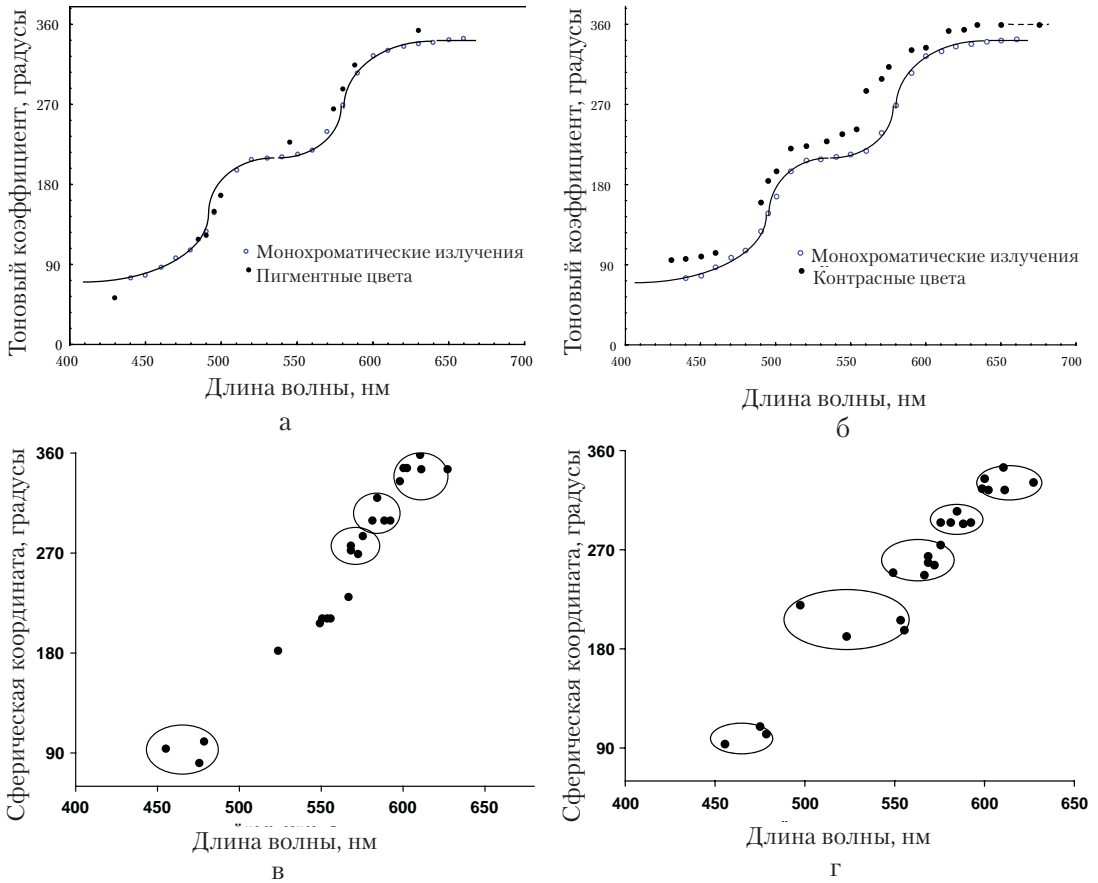


Рис. 5. Сравнение функции цветового тона монохроматических излучений с аналогичной функцией для пигментных стимулов (5,а) и для стимулов диск–кольцо, характеризующих цветовой тон в условиях одновременного яркостного контраста (5,б). Во всех случаях функция выражает строгую монотонно возрастающую связь цветового тона с длиной волны стимула и имеет три плато в области коротко-, средне- и длинноволнового участков спектра, характеризующие вклад рецепторного звена зрительной системы. Совсем другую картину обнаруживает график тонового коэффициента предметных цветов: для стимулов–вырезок из центральных участков изображений реальных предметов (5,в) и для стимулов–изображений реальных предметов (5,г). Психофизическая функция цветового тона превращается в последовательность кластеров, а не точек. Кругжками отмечены участки нарушения монотонности функции.

функции цветового тона для гетерогенных стимулов, которые представлены на рис. 5,в и 5,г. Напомним, что в первом случае стимулы-вырезки имеют разную текстуру, а во втором – стимулы-предметы отличаются друг от друга еще и по форме. На графиках видно, что если у тоновой функции стимулов с изменением текстуры (см. рис. 5,в) еще сохраняется в нескольких локальных зонах характерная монотонность, но общая форма нарушается, то для стимулов-предметов (см. рис. 5,г) монотонность нарушается на всем протяжении значений функции, и она приобретает форму категориальной шкалы.

Восприятие цвета предметов

Сравнение данных, полученных в опытах по зрительному различению разных цветовых стимулов – от наиболее простых (гомогенных излучений света, порождающих апертурные



цвета) до самых сложных в психофизическом смысле изображений реальных предметов (гетерогенных излучений света, порождающих предметные цвета), – показывает, что исходная идея об усложнении механизмов зрительного различения в соответствии с усложнением стимуляции сетчатки подтверждается лишь частично, но не в целом. Рассмотрим по порядку, какие изменения стимулов и каким образом влияют на структуру цветового пространства, служащего для нас математическим выражением зрительных механизмов восприятия цвета.

Из данных табл. 3 видно, что с формальной точки зрения показатели размерности и сферичности для всех пяти типов стимулов в случае четырехмерного цветового пространства очень сходны и разница между ними не выходит за пределы случайных флуктуаций. Однако содержательная характеристика пространства, как это видно из графиков, отображающих проекцию точек-стимулов на ахроматические оси (функции для стимулов–изображений реальных предметов (см. рис. 4,б), и стимулов–вырезок из этих изображений (см. рис. 4,а)), существенно меняется, причем не в сторону увеличения размерности пространства, как это следует из психофизической парадигмы, а в сторону его уменьшения, т. е. пространство предметных цветов не сложнее, а математически проще, чем пространство апертурных или пигментных цветов.

Аналогичное упрощение обнаруживается также из графиков функции цветового тона для стимулов–изображений реальных предметов и стимулов–вырезок из этих изображений (см. рис. 5, в, г). Эти графики показывают, что шкала цветового тона, которая выражается психофизической функцией от длины волны стимула, и является главной метрической характеристикой апертурных цветов, из «сильной» шкалы отношений преобразуется для самых сложных стимулов в «слабую» порядковую шкалу.

Психофизическая парадигма основывается на усложнении стимуляции как на причине приспособительного формирования зрительной системы, и сравнение цветовых пространств для стимулов-излучений, пигментных стимулов и стимулов диск–кольцо дает некоторые аргументы в пользу такого положения. Хотя пространственная и метрическая структура для этих типов стимулов глобально не меняется, но с усложнением стимула происходит переход от частичного (четверть для апертурных цветов, половина – для пигментных цветов) к полному охвату цветовой гиперболы (для стимулов диск–кольцо). Однако последующее усложнение стимула за счет вариаций текстуры или формы, как показывают приведенные здесь данные, не только не усложняет хоть в какой-то мере пространство цветоразличения, но, наоборот, упрощает его.

Как можно объяснить такое парадоксальное с психофизической точки зрения направление в устройстве зрительной системы? Мы предлагаем рассмотреть несколько положений о принципах этого устройства, что может способствовать лучшему пониманию данного вопроса.

Первое положение состоит в том, что зрительная система не подстраивается к особенностям внешней среды путем формирования новых механизмов или развития имеющихся, а использует одни и те же механизмы, которые сформировались у позвоночных и остаются неизменными миллионы лет. В этом смысле механизм цветового зрения низших позвоночных, птиц, рыб, млекопитающих устроен совершенно одинаково и не меняется, но используется по-разному. Второе положение касается принципов использования механизма цветового зрения и других аналогичных механизмов в зрительном восприятии: они используются не как составные части для конструкции более сложного механизма, а как некоторый набор, некоторая комбинация однотипных модулей, специфика которой опреде-

ляется не числом модулей, а их сочетанием. С этой точки зрения, комбинации из двух, пяти или десяти модулей не сложнее и не проще друг друга, они одинаково разные.

Цветовое пространство, полученное для изображений реальных предметов, по своим пространственным и метрическим характеристикам более сходно с семантическим пространством цветовых названий, чем с пространством апертурных цветов. В этом смысле примечательна одна особенность хроматического подпространства для стимулов-вырезок и стимулов-предметов, которая связана с такой характеристикой цвета, как насыщенность. В хроматическом подпространстве апертурных цветов (Измайлов, 1980, 1981) траектория монохроматических стимулов образует не правильный круг, а «треугольный овал», поскольку три из четырех основных цветов спектра (красный, зеленый и синий) имеют насыщенность существенно большую, чем основной желтый цвет. Именно поэтому хроматическая диаграмма в пространстве смешения цветов часто называется цветовым треугольником. А в хроматическом подпространстве предметных цветов (см. рис. 2, а, б) траектория наиболее насыщенных стимулов образует как раз правильный четырехугольник так, будто насыщенность желтого цвета такая же, как и у трех остальных основных цветов. Дело здесь вовсе не в том, что спектральное распределение излучения, поступающее в глаз от желтого предмета, имеет более узкополосную характеристику по сравнению с остальными стимулами. Колориметрические характеристики этих стимулов, приведенные в табл. 1, показывают, что все желтые объекты по насыщенности меньше зеленых и красных. Причина, на наш взгляд, кроется в деформации этой характеристики цвета, такой же, как и у цветового тона. Как и в случае цветового тона, метрическая шкала насыщенности, которая характерна для пространства апертурных цветов (Измайлов, 1980), в пространстве предметных цветов преобразуется в порядковую шкалу, и «максимально» насыщенные цвета в данной группе стимулов воспринимаются как «одинаково» насыщенные.

В заключение данной работы можно сформулировать некоторые положения, которые, на наш взгляд, необходимо учитывать при разработке теории цветового восприятия предметов. Не имеет принципиального значения физическая природа источника стимульного излучения. Зрительная система не отличает световой поток прямого излучения света от света, отраженного от поверхности несамосветящегося предмета. Этот тезис уже неоднократно формулировался в теоретическом анализе механизмов восприятия, но экспериментально он обосновывался только для простых стимулов, таких, например, как диск–кольцо (Wallach, Galloway 1946; Рок, 1980). В нашей работе он подтверждается и для сложных изображений реальных предметов на экране самосветящегося монитора. Специфика предметного цвета создается не за счет физических характеристик поверхности, от которой отражается свет, а от существенной (или несущественной) пространственной гетерогенности зрительного поля. Это означает, что зрительная система ориентируется не на оптические свойства среды, как это предполагается во многих теориях цветовой константности (Гельмгольц, 1999; Максимов, 1980; Гибсон, 1988), и, соответственно, не решает оптических задач – под каким углом и от какого источника идут лучи света в глаз, – а решает только категориальную задачу разделения зрительного поля на участки, имеющие разный цвет и светлоту, ориентируясь при этом не на количественные, а на качественные характеристики спектрального состава и интенсивности светового потока. Можно сказать, что сравнение геометрических моделей, полученных для стимулов со все более сложными стимульными характеристиками (и, соответственно, с большей выраженностью предметности цвета), показывает, что переход от апертурного цвета к предметному приводит к последовательному



преобразованию линейного пространства в категориальное. В этом смысле пространственные решения, полученные для цветных предметов, более сопоставимы с данными зрительного различения слов – цветовых названий, чем апертурных цветов, что подтверждает позицию исследователей (Грегори, 1972; Рок, 1980; Измайлов, Черноризов, 2005) о категориальной структуре восприятия. В то же время данные, свидетельствующие, что определенные типы усложнения стимуляции, которые формируют феномен предметности цвета, но тем не менее сохраняют для этих цветов структуру апертурного цветового пространства, указывают также и на то, что восприятие цветных предметов, меняющихся не только по цветовым, но и по конфигуративным характеристикам (фактура поверхности и форма), является двухстадийным процессом. Первая стадия этого процесса содержит психофизическое преобразование, подчиняется психофизическим закономерностям, а вторая стадия основана на категориальных преобразованиях. В терминах теории измерений восприятие – это формирование шкалы категорий, в которой устанавливается только отношение эквивалентности между стимулом и перцептом.

Более детально эту категориальную особенность восприятия можно выразить в лингвистических терминах (Измайлов, 2007). В соответствии с постулатом фон Гумбольдта, речевой язык – это бесконечное число произвольных комбинаций из ограниченного количества элементов. «Язык есть множество (конечное или бесконечное) предложений, каждое из которых имеет конечную длину и построено с помощью операции соединения из конечного множества элементов» (Хомский, 1965). Это положение можно распространить не только на речевые, но на все формы языка, если задать два типа комбинаций. Первый тип предполагает наличие небольшого числа элементов, из которых образуется большое, но ограниченное число комбинаций. Второй тип состоит в образовании бесконечного числа комбинаций из образований первого типа. В речевом языке первый тип комбинаций соответствует образованию слов из элементов алфавита, а второй тип – образованию предложений из слов. Лингвисты не акцентируют внимание на первом типе комбинаций, поскольку в речевом языке слово первично, а алфавит вторичен, он произвольно и независимо формируется в рамках уже существующего языка. Использование языковой аналогии в зрительном восприятии оставляет этот аспект открытым, поскольку произвольность и независимость не только алфавита, но и физического носителя «зрительного языка» совершенно неочевидны. Если рассматривать в качестве элементов зрительного языка психофизические функции, то перцепт можно соотнести с комбинацией второго типа, т. е. с предложением зрительного языка. Формирование комбинаций первого типа – «зрительных слов» – происходит по механическому принципу и может быть описано в рамках психофизической методологии, но формирование комбинаций второго типа – зрительных предложений – происходит по категориальному принципу и может быть описано только в рамках психолингвистической методологии.

Выводы

1. На основании экспериментов по цветоразличению более сложных с психофизической точки зрения стимулов (изображения реальных объектов, главной характеристикой которых были меняющиеся текстура и форма, и квадратных вырезок из этих изображений, у которых менялась только текстура) было показано, что в этом случае оценки цветовых различий представляют собой не более сложную (как следует из психофизической парадигмы), а, наоборот, более простую геометрическую структуру, чем сферическая модель различения апертурных цветов, а именно категориальную структуру, которая соответствует трехмерному семантиче-

скому пространству цветовых названий. Упрощение цветового пространства реальных предметов касается как размерности цветового пространства (оно не увеличивается, а уменьшается), так и его метрики (которая вырождается до уровня порядковой шкалы).

2. В соответствии с вышесказанным формулируется положение о том, что восприятие цвета реальных предметов основано на категориальных принципах, имеющих общие языковые корни с речью. При разработке теории зрительного восприятия одной только психофизической методологии для описания восприятия сложных стимулов (которые наиболее приближены к реальным объектам внешней среды) недостаточно, необходимо использовать также и психолингвистическую методологию.

Литература

- Гельмгольц Г.* О восприятии вообще // Хрестоматия по психологии. Психология ощущений и восприятия / Под ред.: Ю. Б. Гипенрейтер, В. В. Любимова, М. Б. Михалевской. М.: Изд-во МГУ. 1999.
- Гибсон Дж.* Экологический подход к зрительному восприятию. М.: Изд-во МГУ. 1988.
- Грегори Р.* Разумный глаз. М.: Изд-во МГУ, 1972.
- Измайлов Ч. А.* Сферическая модель цветоразличения. М.: Изд-во МГУ, 1980.
- Измайлов Ч. А.* Многомерное шкалирование ахроматической составляющей цвета // Нормативные и дескриптивные модели принятия решений. Матер. сов.-амер. симп / Под ред. Б. Ф. Ломова и др. М.: Наука, 1981. С. 98–110.
- Измайлов Ч. А.* Психофизика и психолингвистика: методологические основания теории зрительного восприятия // Материалы 4 съезда РПО. Ростов-на-Дону: Издательство «Кредо». 2007. Т. 2. С. 34.
- Измайлов Ч. А.* Геометрическая модель различения пигментных цветов // Сенсорные системы. 2010. Т. 24. № 1 (в печати).
- Измайлов Ч. А., Соколов Е. Н., Черноризов А. М.* Психофизиология цветового зрения. М.: Изд-во МГУ, 1989.
- Измайлов Ч. А., Соколов Е. Н., Штицуи С.* Сферическая модель цветоразличения в условиях одновременного цветового контраста // Вестник МГУ. 1999. Сер.14. Психология. №.4. С. 31–36.
- Измайлов Ч. А., Черноризов А. М.* Язык восприятия и мозг // Журнал ВШП. 2005. Т. 2. № 4. С. 22–52.
- Кравков С. В.* Глаз и его работа. М.: Изд-во АН СССР. 1953.
- Максимов В. В.* Трансформация цвета при изменении освещения. М.: Наука. 1984.
- Рок И.* Введение в зрительное восприятие, М.: Педагогика, 1980.
- Соколов Е. Н., Измайлов Ч. А.* Цветовое зрение М.: Изд-во МГУ: 1984.
- Соколов Е. Н., Измайлов Ч. А.* Вызванные потенциалы в рамках сферической модели когнитивных процессов // Нейрокомпьютеры. Разработка и применение. 2006. Т. 4-5. С. 90–105.
- Федоров Н. Т.* Курс общего цветоведения. М.: ОНТИ, 1935.
- Хомский Н.* Синтаксические структуры. М.: И. Л., 1962.
- Хомский Н.* Аспекты теории синтаксиса. М.: Изд-во МГУ, 1965.
- Шенард Р.* Многомерное шкалирование и неметрические представления // Нормативные и дескриптивные модели принятия решений. Матер. сов.-амер. симп. / Под ред. Б. Ф. Ломова и др. М.: Наука, 1981. С. 84–97.
- Bimler D. L., Paramei G. V., Izmailov Ch. A.* Hue and saturation shifts from spatially induced blackness // J. Opt. Soc. of Amer. 2009. V. 26(1). P. 163–172.
- Evans R. M.* Variables of perceived color // J. Opt. Soc. of Amer. 1964. V. 54. P. 1467–1474.
- Hegglund P.* Achromatic color vision. II. Measurement of simultaneous achromatic contrast within a bidimensional system // Vision Research. 1974. V. 14. P. 1079–1088.
- Hegglund P. A.* Bidimensional theory of achromatic color vision // Vision Research. 1992. V. 32. P. 2107–2119.
- Hurvich L. M., Jameson D.* A psychological color specification system // J. Opt. Soc. of Amer., 1956.



- Izmailov Ch. A.* Uniform color space and multidimensional scaling (MDS) // Psychophysical Judgement and the Process of Perception / Eds. I. G. Geissler, P. Pethold. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wiss., 1982. P. 52–62.
- Izmailov Ch. A.* Spherical model of discrimination of self-luminous and surface colors. In: Geometric representations of perceptual phenomena / Eds. R. D. Luce, M. D. D'Zmura, and A. K. Romney. Mahwah, New Jersey. Lawrence Erlbaum Associates Publishers. 1995. P. 153–168.
- Izmailov Ch. A., Sokolov E. N.* Spherical model of color and brightness discrimination // Psychol. Science. 1991. V. 2. P. 249–259.
- Izmailov Ch. A., Sokolov E. N.* A semantic space of color names // Psychol. Science. 1992. V. 3. P. 105–111.
- Jameson D., Hurvich L. M.* Some quantitative aspects of an opponent-color theory. 1. Chromatic responses and spectral saturation // J. Opt. Soc. of Amer. 1955. V. 45. P. 546–552.
- Katz D.* World of colour. New York.: Trench Trubner & Co., 1935.
- Petrov A. P.* Surface color and color constancy // Color Res. and Application. 1993. V. 18. № 4. P. 236–240.
- Sokolov E. N., Izmailov Ch. A.* The conceptual reflex arc: A model of neural processing as developed for color vision // Modern Issues of Perception / Eds. H. G. Geissler et al. Berlin.: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, 1983. P. 192–216.
- Wallach H.* The perception of neutral colors // Scient. Americ. 1963. V. 208. P. 107–116.
- Wallach H., Galloway A.* The constancy of colored objects in colored illumination. // J. Experim. Psychol. 1946. V. 36. P. 119–126.
- Wyszecki G., Stiles, W. S.* Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulas / New York.: John Wiley & Sons, 1982.

PERCEPTION OF COLORED OBJECTS

IZMAILOV CH. A., Moscow State University, Moscow

PAVLOVA M. K., Moscow State University, Moscow

KHANMAGOMEDOVA M. A., Moscow State University, Moscow

We study the dynamics of color space, depending on the complexity of pattern stimulation of the eyes, beginning from a homogeneous light emission of different spectral compositions and intensities, which, upon being stimulated by them, the retina generates the aperture colors, and up to the images of real objects, characterized by different backgrounds, different textures and shapes. Such stimuli present a color closer to the color of the object that we see in the real environment. Building a color space in all cases was based on assessments of large, above-threshold differences between the stimuli and on the analysis of the matrix of pair wise differences by the same method of multi-dimensional scaling. An analysis of the data showed that distinguishing of colors is more complex from the psycho-physical point of view stimuli (images of real objects, the main characteristics of which are changing texture and shape), according to the judgments of color differences, has more simple geometrical structure than the distinguishing of «simple» aperture colors. Simplification of the color space of real objects also regards the dimension of color space (it is not increased but decreased) as its metric (which degenerates to the level of an ordinal scale).

In accordance with this we can formulate a position that the color perception of real objects is based on categorical principles that have common linguistic roots with speech.

Thus, when developing the theory of visual perception psychophysical methodology alone is not enough for the description of the perception of complex stimuli (which are much more close to the real objects of the environment); a psycholinguistic methodology should also be used.

Keywords: aperture color, subject color, color distinguishing, color space, color-metric, multidimensional scaling

Transliteration of the Russian references

- Gel'mgol'c G.* O vosprijatii voobwe // Hrestomatija po psihologii. Psihologija owuwenij i vosprijatija / Pod red. Ju. B. Gipenrejter, V. V. Ljubimova, M. B. Mihalevskoj. M.: Izd-vo MGU. 1999.
- Gibson Dzh.* Jekologicheskij podhod k zritel'nomu vosprijatiju. M.: Izd-vo MGU. 1988.
- Gregori R.* Razumnyj glaz. M.: Izd-vo MGU, 1972.
- Izmajlov Ch. A.* Sfericheskaja model' cvetorazlichenija. M.: Izd-vo MGU, 1980.
- Izmajlov Ch. A.* Mnogomernoe shkallirovanie ahromaticheskoj sostavljajuwej cveta // Normativnye i deskriptivnye modeli prinjatija reshenij. Mater. sov.-amer. simp. / Pod red. B. F. Lomova i dr. M.: Nauka, 1981. S. 98–110.
- Izmajlov Ch. A.* Psihofizika i psiholingvistika: metodologicheskie osnovanija teorii zritel'nogo vosprijatija // Materialy 4 s'ezda RPO. Rostov-na-Donu, Izdatel'stvo «Kredo». 2007. T. 2. S. 34.
- Izmajlov Ch. A.* Geometricheskaja model' razlichenija pigmentnyh cvetov // Sensornye sistemy. 2010. T. 24. № 1 (v pečati).
- Izmajlov Ch. A., Sokolov E. N., Chernorizov A. M.* Psihofiziologija cvetovogo zrenija. M.: Izd-vo MGU, 1989.
- Izmajlov Ch. A., Sokolov E. N.* Shtitui S. Sfericheskaja model' cvetorazlichenija v uslovijah odnovremen-nogo cvetovogo kontrasta // Vestnik MGU. 1999. Ser. 14. Psihologija. № 4. S. 31–36.
- Izmajlov Ch. A., Chernorizov A. M.* Jazyk vosprijatija i mozg // Zhurnal VShP. 2005. T. 2. № 4. S. 22–52.
- Kravkov S. V.* Glaz i ego rabota. M.: Izd-vo ANSSSR. 1953.
- Maksimov V. V.* Transformacija cveta pri izmenenii osvewenija. M.: Nauka. 1984.
- Rok I.* Vvedenie v zritel'noe vosprijatie, M.: Pedagogika, 1980.
- Sokolov E. N., Izmajlov Ch. A.* Cvetovoe zrenie. M.: Izd-vo MGU. 1984.
- Sokolov E. N., Izmajlov Ch. A.* Vyzvannye potencijaly v ramkah sfericheskoi modeli kognitivnyh processov // Nejrokompijutery. Razrabotka i primenenie. 2006. T. 4–5. S. 90–105.
- Fedorov N. T.* Kurs obwego cvetovedenija. M.: ONTI, 1935.
- Homskij N.* Sintaksicheskie struktury. M.: I. L., 1962.
- Homskij H.* Aspekty teorii sintaksisa. M.: Izd-vo MGU, 1965.
- Shepard R.* Mnogomernoe shkallirovanie i nemetriceskie predstavlenija // Normativnye i deskriptivnye modeli prinjatija reshenij. Mater. sov.-amer. simp. / Pod red. B. F. Lomova i dr. M.: Nauka, 1981. S. 84–97.