

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

К ИССЛЕДОВАНИЮ СЕМАНТИЧЕСКОГО ЦВЕТОВОГО
ПРОСТРАНСТВА*Соколов Е. Н., Вартанов А. В.**Московский государственный университет, Москва*

В результате экспериментального исследования различий между цветовыми названиями с помощью методов многомерного шкалирования получены данные о том, что семантическое цветовое пространство изоморфно перцептивному цветовому пространству, построенному на основе воспринимаемых различий между цветами. Предложена гипотеза об источнике изоморфизма этих пространств.

Ключевые слова: цвет, различие, пространство, изоморфизм, сферическая модель.

Все множество воспринимаемых равноярких цветов можно представить на поверхности сферы в трехмерном пространстве так, что евклидовы расстояния между точками, обозначающими цвета, будут прямо пропорциональны субъективным различиям между этими цветами [1]. Цвета разной светлоты локализуются на поверхности сферы в четырехмерном пространстве [2, 4]. Декартовы координаты точек, представляющие цвета разной светлоты в перцептивном пространстве, образованы возбуждениями четырех оппонентных систем нейронов: красно-зеленых, сине-желтых, черно-белых и серых.

Цветовое пространство можно построить методом ранжирования цветовых различий и методом называния цветов. Матрица смещения, получаемая в результате называния цветов, сначала преобразуется в матрицу вкладов основных цветовых категорий. При этом каждый цвет характеризуется вектором вкладов цветовых названий. Различия между цветами рассчитываются как евклидовы расстояния между концами векторов, характеризующих цвета, и из них формируется матрица различий. В случае ранжирования цветовых различий такая матрица строится непосредственно по экспериментальным данным. Обе матрицы субъективных различий между цветами обрабатываются методом многомерного шкалирования. Цветовые пространства, полученные как прямым ранжированием цветовых различий, так и из матрицы смещения цветовых названий, совпадают [6].

Близкое совпадение точек, представляющих цвета в цветовых пространствах, полученных вышеуказанными способами, позволяет высказать гипотезу об изоморфности перцептивного и семантического цветовых пространств. Из этой гипотезы следует, что последнее, полученное ранжированием различий между цветовыми названиями, должно быть изоморфно первому, конструируемому на основе воспринимаемых различий между предъявляемыми цветами.

С целью проверки этого предположения была предпринята попытка построения семантического пространства цветовых названий русского языка.

МЕТОДИКА

Эксперимент проводился с испытуемым, нормальным трихроматом, русский язык для которого является родным, но который специально не обучался употреблению названий цвета. Стимулами в эксперименте служили только те цветовые названия, которыми испытуемый владел свободно. Список таких названий был составлен самим испытуемым на предварительном этапе эксперимента. При этом испытуемый получал инструкцию записать как можно больше знакомых названий цвета, включая как простые, так и необходимые, по его мнению, составные названия. Разрешалось использовать части слов: темно-, светло-, ярко-, бледно- и др. Порядок следования названий был произвольным — названия записывались по мере того, как испытуемый их вспоминал. Таким образом был составлен список из 58 наиболее отчетливо представляемых испытуемым цветовых названий (см. табл. 2).

На следующем этапе опыта испытуемый должен был сравнивать попарно названия из этого списка и оценивать степень различия между теми цветовыми образами, которые соответствуют, по его мнению, данным названиям. Оценка выносилась в баллах: от 0 (полное сходство) до 9 (максимально большое различие). Какие именно названия образовывали максимально различающиеся пары, испытуемому не указывалось, он должен был определить это сам, согласно своим представлениям. Каждая пара из этих 58 стимулов (всего 1653 пары) повторялась по 3 раза в случайном порядке. Из-за большого объема предъявляемого материала эксперимент проводился в течение нескольких сеансов на протяжении месяца.

Полученные оценки усреднялись по предъявлениям каждой пары и сводились в матрицу различий между стимулами. Эта матрица обрабатывалась метрическим методом многомерного шкалирования [7] на ЭВМ БЭСМ-6 с использованием стандартных программ из библиотеки НИВЦ МГУ для решения проблемы собственных значений и графического представления результатов.

Аналогичные опыты, но со значительно меньшим числом стимулов были проведены еще с пятью испытуемыми. В данной работе представлены результаты наиболее полного обследования одного испытуемого с построением перцептивного цветового пространства как методом ранжирования, так и методом названия цветов, что позволило более надежно интерпретировать семантическое цветовое пространство.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты обработки позволяют оценить размерность семантического пространства цветовых названий по распределению собственных чисел матрицы и по коэффициентам корреляции исходных различий с межточечными расстояниями в модели, которые вычислялись с учетом одной, двух и т. д. осей пространства (табл. 1). Полученные данные свидетельствуют о том, что семантическое пространство цветовых названий является не менее как четырехмерным. На рис. 1 видно, что собственные значения первых четырех измерений пространства существенно превосходят другие линейно убывающие собственные значения остальных 54 измерений. При этом половине этих оставшихся измерений соответствуют положительные, а половине — отрицательные собственные значения, задающие мнимое пространство, что характерно для матрицы, состоящей из случайных чисел. Следовательно, только первые четыре оси действительного евклидова пространства заданы различиями между стимулами, тогда как остальные измерения отражают случайный экспериментальный шум. На рис. 1, кроме того, показано распределение коэффициентов корреляции исходных различий с межточечными расстояниями в пространствах разной размерности. Видно, что четырехмерное пространство дает достаточно хорошее приближение экспериментальным данным, в то время как дальнейшее увеличение размерности пространства уже не приводит к существенному увеличению коэффициента корреляции.

Если перцептивное пространство равноярких цветовых стимулов трехмерно, то разные по яркости цветовые образцы располагаются в четырехмерном пространстве [2, 4]. В случае построения семантического пространства использовались названия «белый» и «черный», а также названия со «светло-» и «темно-», «ярко-» и «бледно-», которые отражают яркостные изменения цвета. Это и объясняет его четырехмерность.

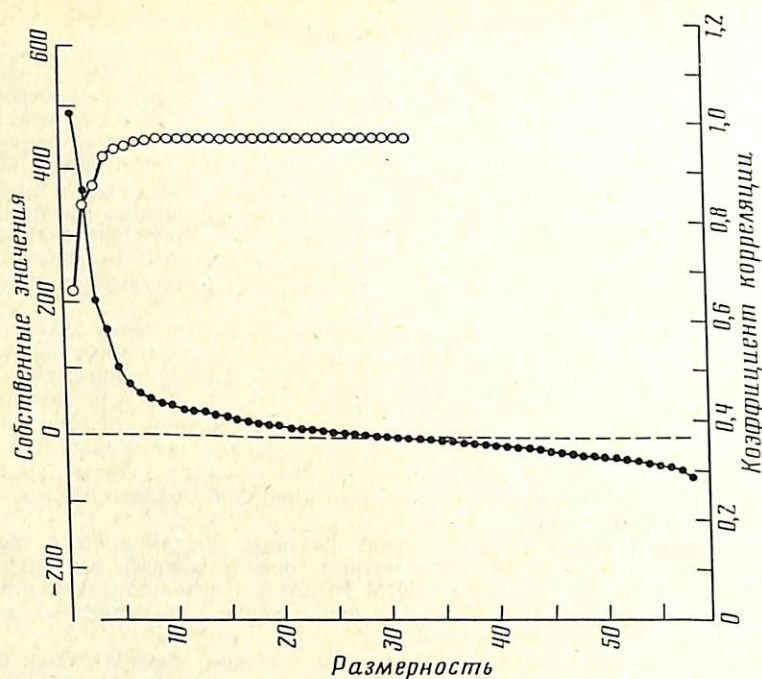


Рис. 1. Размерность семантического пространства цветковых названий. Темный кружок — собственные значения; светлый кружок — коэффициенты корреляции исходных оценок степени различия цветковых названий с межточечными расстояниями в модели при разной размерности пространства

Были вычислены также координаты точек-названий в четырехмерном семантическом цветовом пространстве. Оказалось, что эти точки заполняют данное четырехмерное пространство отнюдь не равномерно, а образуют сферическую поверхность. Удалось подобрать такие координаты центра четырехмерной сферы в нем, что расстояние от центра

Таблица 1

№	Собственные значения	Корреляция	№	Собственные значения	Корреляция	№	Собственные значения
1	487,7690	0,6460	20	18,7258	0,9641	39	—9,3765
2	368,2796	0,8163	21	14,7734	0,9648	40	—11,3637
3	201,6757	0,8522	22	13,3867	0,9657	41	—12,3756
4	157,6160	0,9099	23	12,5601	0,9668	42	—13,6550
5	100,3400	0,9244	24	11,4515	0,9678	43	—14,5905
6	75,4615	0,9311	25	8,8671	0,9680	44	—16,3026
7	61,3059	0,9385	26	8,4455	0,9691	45	—19,5822
8	53,1686	0,9409	27	7,0027	0,9697	46	—20,1704
9	46,0159	0,9477	28	5,4976	0,9703	47	—23,9683
10	44,1776	0,9475	29	4,0534	0,9711	48	—24,9342
11	38,6547	0,9488	30	2,2838	0,9719	49	—26,4045
12	36,2624	0,9503	31	1,9752	0,9725	50	—28,5923
13	34,5207	0,9511	32	1,1421	0,9727	51	—29,4094
14	31,7951	0,9527	33*	0,0000		52	—32,3838
15	29,2611	0,9526	34	—0,7287		53	—34,1345
16	27,0062	0,9546	35	—3,2402		54	—38,3786
17	23,1584	0,9579	36	—3,8156		55	—41,4151
18	20,7555	0,9603	37	—6,5025		56	—42,3011
19	19,1010	0,9616	38	—7,5978		57	—48,5063
						58	—60,4635

* Примечание. Коэффициент с этого номера не вычислялся, так как последующие значения соответствуют минимому пространству.

Таблица 2

Нормированные координаты точек-названий в семантическом четырехмерном сферическом пространстве

№	Название	Ось 1	Ось 2	Ось 3	Ось 4
1	Красный	0,884	0,357	-0,301	0,005
2	Пурпурный	0,887	0,182	-0,422	-0,044
3	Темно-красный	0,846	0,144	-0,425	-0,289
4	Светло-красный	0,902	0,284	-0,314	0,073
5	Зеленый	-0,867	0,274	-0,414	-0,050
6	Синий	-0,056	-0,841	0,528	-0,101
7	Бордо	0,871	0,210	-0,371	-0,244
8	Алый	0,882	0,135	-0,449	-0,047
9	Вишневый	0,827	-0,106	-0,529	-0,157
10	Рыжий	0,784	0,361	-0,257	-0,435
11	Ярко-красный	0,869	0,219	-0,439	-0,067
12	Розовый	0,859	0,291	-0,225	0,356
13	Малиновый	0,886	0,051	-0,350	0,300
14	Светло-синий	-0,025	-0,804	0,586	0,101
15	Оранжевый	0,506	0,683	0,098	0,517
16	Кремовый	0,320	0,732	0,487	0,353
17	Коричневый	0,300	0,721	0,469	-0,413
18	Темно-коричневый	0,340	0,564	0,426	-0,621
19	Светло-коричневый	0,295	0,783	0,469	-0,284
20	Кофейный	0,217	0,688	0,630	-0,287
21	Желтый	0,078	0,910	0,267	0,306
22	Светло-желтый	0,015	0,805	0,236	0,544
23	Ярко-желтый	0,013	0,842	0,287	0,456
24	Хаки	-0,315	0,804	0,432	0,259
25	Бежевый	-0,162	0,801	0,529	0,229
26	Желто-зеленый	-0,779	0,604	-0,127	0,114
27	Оливковый	-0,871	0,343	-0,279	-0,215
28	Светло-зеленый	-0,840	0,280	-0,342	0,315
29	Ярко-зеленый	-0,808	0,076	-0,572	0,120
30	Цвет морской волны	-0,849	-0,175	-0,173	0,468
31	Темно-зеленый	-0,877	0,053	-0,452	-0,157
32	Салатный	-0,835	0,490	-0,078	0,237
33	Бирюзовый	-0,727	-0,339	0,046	0,595
34	Светло-голубой	-0,134	-0,650	0,365	0,653
35	Голубой	-0,160	-0,668	0,605	0,403
36	Темно-синий	-0,024	-0,856	0,446	-0,261
37	Ярко-синий	0,000	-0,846	0,514	-0,142
38	Фиолетовый	0,489	-0,813	-0,217	-0,229
39	Сиреневый	0,452	-0,890	-0,047	0,037
40	Светло-серый	-0,087	-0,669	0,579	0,459
41	Темно-серый	-0,115	-0,621	0,771	-0,080
42	Серый	-0,124	-0,529	0,777	0,319
43	Белый	-0,071	0,084	0,595	0,796
44	Серебряный	-0,051	-0,401	0,485	0,775
45	Золотой	0,031	0,757	0,351	0,550
46	Цвет слоновой кости	-0,043	0,425	0,433	0,793
47	Кирпичный	0,862	0,202	-0,380	-0,270
48	Лимонный	-0,068	0,812	0,210	0,540
49	Серо-голубой	-0,039	-0,757	0,505	0,413
50	Черный	-0,020	-0,176	0,346	-0,921
51	Бледно-красный	0,793	0,427	-0,234	0,367
52	Бледно-синий	-0,081	-0,861	0,447	0,228
53	Бледно-зеленый	-0,904	0,222	-0,301	0,208
54	Бледно-желтый	-0,034	0,762	0,138	0,632
55	Бледно-коричневый	0,085	0,802	0,539	-0,244
56	Бледно-голубой	-0,036	-0,701	0,566	0,432
57	Бледно-розовый	0,620	0,055	-0,194	0,759
58	Бледно-серый	0,001	-0,500	0,597	0,628

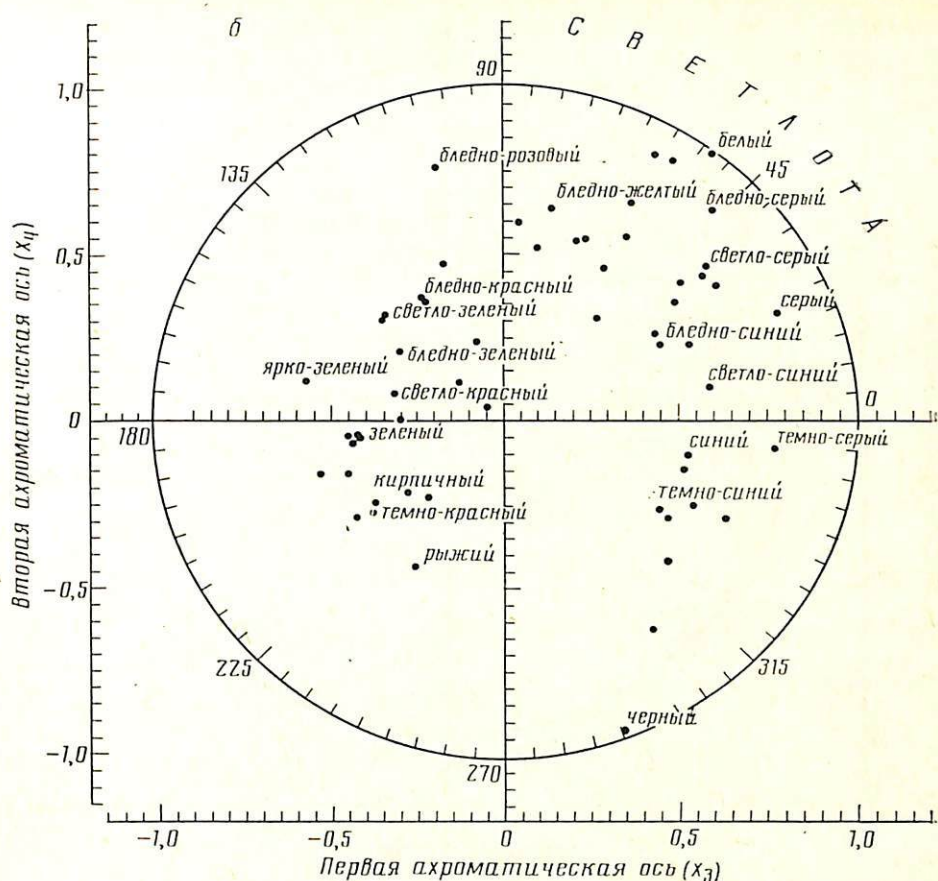


Рис. 26

екции точек на плоскость, образуемую этими осями, показаны на рис. 2, б. Четвертая ось (вторая ахроматическая ось) направлена от названий «черный» к названию «белый», параллельно этой же оси располагаются названия цветов от «темно-» до «светло-». Третья ось семантического пространства (первая ахроматическая ось на рис. 2, б) является монополярной. Наибольшим значением по этой оси обладает точка с названием «серый». Все остальные названия, соответствующие чистым цветам, имеют по этой оси значительно меньший вес. Аналогом этих ахроматических осей в модели цветояростного восприятия является система из двух нейронов, реагирующих на интенсивность светового потока возбуждением (В-нейрон) и торможением (Д-нейрон). В совокупности система В- и Д-нейронов обеспечивает анализ яркости света [2, 4, 5]. Обе ахроматические оси нашего пространства также обеспечивают различение цветовых образов, заданных названиями, по такому субъективному качеству, как светлота (субъективная яркость света). Это качество отражается в модели величиной угла в плоскости осей X_3 и X_4 . Первые две цветové оси пространства определяют цветовой тон: величина угла в плоскости X_1 и X_2 пропорциональна различию образов, соответствующих данным названиям, по их цветовому тону. Такое качество, как насыщенность цвета, также нашло свое отражение в структуре семантического пространства — это величина центрального угла, образованного вектором-точкой и плоскостью, заданной обеими ахроматическими осями. На плоскости X_1X_4 (рис. 2, в) цветовые названия упорядочены по их отличию от белого.

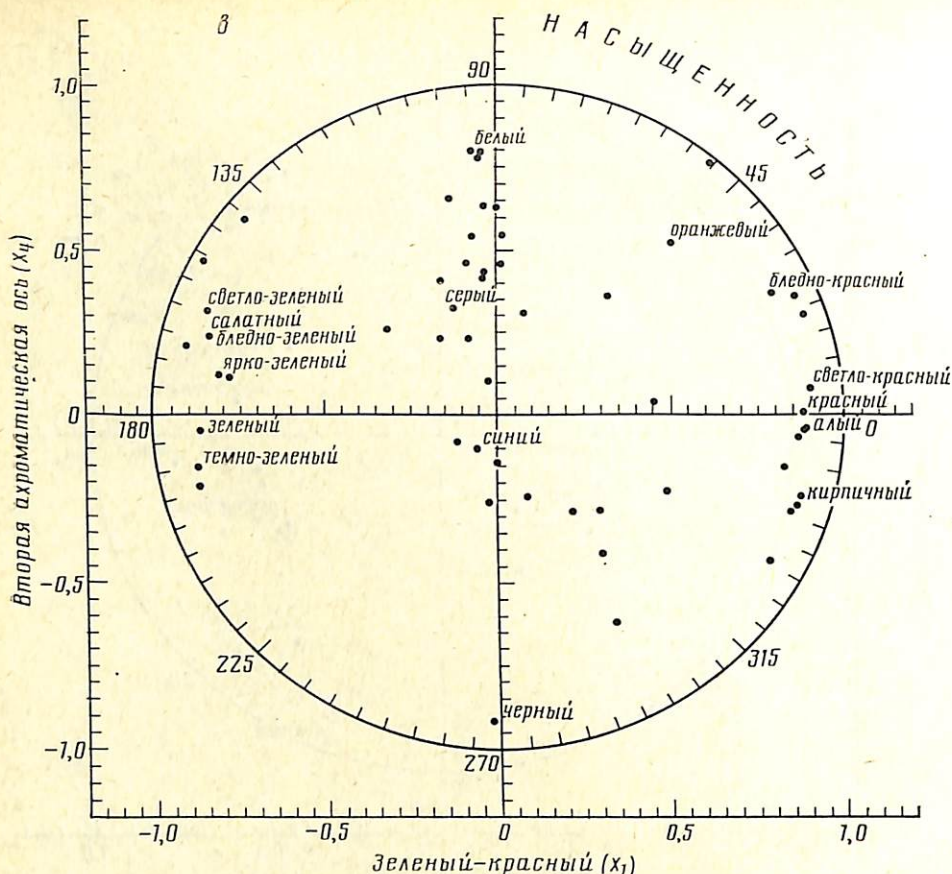


Рис. 2. Проекция точек-названий на плоскость первой и второй осей семантического пространства (а), третьей и четвертой осей (б), первой и четвертой осей (в)

ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные данные показывают, что структура семантического пространства цветовых названий данного испытуемого соответствует известной структуре перцептивного цветового пространства. Из этого следует, что сформировавшаяся у данного испытуемого система цветообозначений русского языка адекватно отражает действительные цветовые различия. Декартовы координаты семантического цветового пространства, совпадая с декартовыми координатами перцептивного пространства, по-видимому, также могут соответствовать характеру возбуждения нейронов-предетекторов [3]. В то же самое время полярные координаты семантического пространства, соответствуя полярным координатам перцептивного цветового пространства, характеризуют такие субъективные качества, как цветовой тон, светлота и насыщенность.

Изоморфизм перцептивного и семантического цветовых пространств позволяет высказать предположение о том, что принципы кодирования информации о цвете в перцептивном и семантическом пространстве аналогичны. Исходя из этого, можно утверждать, что отдельные цветовые названия семантического пространства «вырезают» соответствующие области перцептивного цветового пространства. Возникает вопрос о том, как, используя словесные символы, человек может оценивать различия между цветами, обозначаемыми этими символами.

Можно предположить, что все множество селективных детекторов цвета дублируется нейронами образной памяти. Словесные символы, активируя последовательно разные цветовые детекторы образной памяти,

ти, позволяют сравнивать цветовые названия по ассоциированным с ними представлениям. С этой точки зрения изоморфизм перцептивного и семантического пространства цвета является результатом изоморфизма перцептивного и мнестического цветовых пространств.

ВЫВОДЫ

1. Семантическое цветовое пространство представляет собой сферу в четырехмерном евклидовом пространстве.

2. Декартовы координаты четырехмерной сферы соответствуют возбуждениям четырех типов преддетекторов: зелено-красного, сине-желтого, черно-белого и серого.

3. Полярные координаты сферического семантического пространства цветовых названий соответствуют полярным координатам перцептивного пространства, характеризуя цветовой тон, светлоту и насыщенность.

4. Изоморфизм перцептивного и семантического цветовых пространств предполагает общие принципы кодирования информации в процессах восприятия и памяти на основе дублирования множества цветоселективных детекторов цветовыми детекторами образной памяти.

ЛИТЕРАТУРА

1. Измайлов Ч. А. Сферическая модель цветового зрения. М., 1980.
2. Кампа Г. Д. Перцептивное пространство пигментных цветов: Автореф. дис. на соискание уч. ст. канд. психол. наук. М., 1983.
3. Соколов Е. Н. Концептуальная рефлекторная дуга как принцип организации нервной системы. — Вестн. МГУ, Сер. 14. Психология, 1982, № 1, с. 3—12.
4. Соколов Е. Н., Измайлов Ч. А. Цветовое зрение. М., 1984.
5. Jung R. Visual perception and Neurophysiology. — In: Handbook of Sensory Physiology, vol. VII/3, central visual in formation «A»/Ed. by Jung R. N. Y. 1973, p. 3—152.
6. Sokolov E. N., Izmailov R. A., Schönebeck B. Vergleichende Experimente zur Mehrkimensialen Skalierung Subjektiver Farbunterschiede und ihrer internen Sphärischen Repräsentation. — Zeitschrift für Psychologie, 1982, B. 190, h. 3, p. 275—293.
7. Torgerson N. S. Theory and Methods of Scaling. N. Y., 1958, p. 37—40; 227—297.
8. Ostergard A. L., Davidoff G. B. Some effects of color on naming and recognition of objects. — J. exp. psychol.: learn. mem. and cognit. 1985, v. 11, № 3, p. 579—587.
9. Whitefield A. Individual differences in evaluation of architectural colour: categorisation effects. — J. perception and motor skills. 1984, v. 59, № 1, p. 183—186.