

УДК 535

DOI: 10.24160/1993-6982-2018-4-105-112

## Использование цветовой гармонии для выбора цветов географических карт

В.Ю. Снетков, А.А. Шамонова, Е.А. Алексеев

Восприятие информации с географических карт должно быть комфортным и безошибочным, поэтому важен и актуален технически обоснованный выбор соседних цветов в различных картах. С помощью анализа литературных данных не удалось выявить количественные светотехнические требования к цветам географических карт, таким образом были поставлены задачи использовать исследования по выбору гармоничных и хорошо отличимых друг от друга соседних цветов применительно к географическим картам, а также провести расчеты цветовых порогов между этими цветами в равноконтрастной системе.

Найдены и проанализированы географические карты как с гармоничными, так и с неудачными цветовыми решениями. Для выбранных сочетаний выполнены расчетные исследования с помощью равноконтрастной системы профессора А.Б. Матвеева и субъективные эксперименты по оценке хорошо отличимых и находящихся в гармонии соседних цветов с использованием шкалы качества метода категорий на экране ноутбука.

По оценкам наблюдателей и расчетам были определены средние баллы цветовых сочетаний, характеризующие степень гармонии соседних цветов и цветовые контрасты. В результате предложено использовать в географических картах цветовые сочетания с оценками выше 3,5 баллов (выше границы между категориями «удовлетворительное» и «хорошее» по гармонии сочетание цветов). Установлено, что цветовой контраст в 15 порогов уверенно различим, но из комментариев отдельных наблюдателей следует, что такое различие цветов в сочетании может быть недостаточно и еще сложно восприниматься при чтении карт. Сделан вывод, что в географических картах правильнее применять сочетания с цветовым контрастом не менее 20 порогов. Для замены в конкретных фрагментах географических карт с неважно сочетающимися цветами предложены более гармоничные (в среднем на 1,2 балла по всем рассмотренным сочетаниям) и комфортные (с цветовым контрастом более 28 порогов) по восприятию наблюдателей цвета с измеренными координатами цветности и яркостями.

*Ключевые слова:* цветовая гармония, контраст и оформление географических карт, координаты цветности и яркость.

*Для цитирования:* Снетков В.Ю., Шамонова А.А., Алексеев Е.А. Использование цветовой гармонии для выбора цветов географических карт // Вестник МЭИ. 2018. № 4. С. 105—112. DOI: 10.24160/1993-6982-2018-4-105-112.

## Using Color Harmony to Select the Geographical Map Colors

V.Yu. Snetkov, A.A. Shamonova, E.A. Alexeev

The perception of information from geographical maps should be comfortable and free from errors. Therefore, a technically validated choice of adjacent colors in different maps is an important and relevant issue. An analysis of published sources did not make it possible to identify quantitative lighting requirements for the colors of geographical maps. This circumstance prompted the authors to use the results from studies on selecting harmonious and well-distinguishable adjacent colors as applied to geographical maps and to calculate the color thresholds between these colors in a uniform-chromaticity system.

Geographical maps with harmonious colors and with poor color solutions have been found and analyzed. The selected combinations were subjected to computational studies using Professor A.B. Matveev's uniform-chromaticity system along with subjective experiments on evaluating well-distinguishable and harmonious adjacent colors using the quality scale of the method of categories on the laptop screen.

The estimations of observers and the calculation results were used to determine the average rating grades of color combinations characterizing the degree of harmony between the adjacent colors and color contrasts. As a result, it was suggested to use color combinations in geographical maps with scores above 3.5 points (i.e., a combination of colors assessed, in terms of their harmony, above the boundary between the categories "satisfactory" and "good"). It has also been determined that the color contrast of 15 thresholds is positively discernible, although it follows from the comments of individual observers that such a difference of colors in their combination may be insufficient and still difficult to perceive in reading the maps. A conclusion has been drawn that it is more appropriate to use combinations with a color contrast of at least 20 thresholds in geographical maps. Specific fragments of geographical maps containing poorly matched colors are pointed out, for which more harmonious colors were suggested (by 1.2 points on average for all combinations considered in the article), as well as comfortable ones (with a color contrast of more than 28 thresholds) for the perception of observers with the measured chromaticity and brightness coordinates.

*Key words:* color harmony, color contrast, contrast and typography of geographical maps, chromaticity coordinates and brightness.

*For citation:* Snetkov V.Yu., Shamonova A.A., Alexeev E.A. Using Color Harmony to Select the Geographical Map Colors. MPEI Vestnik. 2018;4:105—112. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2018-4-105-112.

Современные исследования в области восприятия цветных изображений на цветных фонах позволяют по-новому подойти к существующим визуальным сервисам [1 — 3]. В частности, практическое значение имеет колориметрически грамотный подход к построению визуальной информации в области картографии. Путешествующие люди непременно ищут разнообразные сведения на карте местности или экране электронного устройства. Объем представленной информации может быть достаточно большим, время наблюдения при этом — ограниченным, а условия восприятия — не всегда идеальными. В этом случае составителям географических карт очень важно выбирать цветовые сочетания, которые обеспечат либо гармонию соседних цветов с достаточным цветовым контрастом, либо такие сочетания, которые позволят в условиях ограниченных визуальных возможностей получить максимальный объем информации. К подобным задачам можно отнести быстрое визуальное распознавание нюансных цветов или цветов с близкой насыщенностью. В картографии это может быть градиентное выделение различных глубин водной поверхности, высотные отметки на равнине или рельефе. Представляется важным и технически обоснованный выбор соседних

цветов в различных картах. С помощью анализа литературных данных, в том числе [4], не удалось выявить количественные светотехнические требования к цветам географических карт, поэтому было принято решение, прежде всего, использовать исследования по выбору гармоничных [1, 5] и хорошо отличимых друг от друга соседних цветов применительно к данной задаче, а затем — провести расчеты цветовых порогов в равноконтрастной системе и в результате определить минимальное количество порогов для комфортного изучения и чтения карт.

Рассмотрены географические карты различных типов и выбраны три характерных, фрагменты которых имели недостаточную цветовую гармонию: физическая, политическая карты и карта природных зон (рис. 1). Из них были составлены цветовые триады и диады, которые сложны в восприятии или цвета в которых недостаточно гармоничны. На замену существующим цветовым сочетаниям предложены новые.

Первоначальный выбор базируется на ранее выполненных исследованиях на кафедре светотехники НИУ «МЭИ», кроме того, экспериментально подобран ряд сочетаний, исходя из принципов цветовой гармонии [1, 5] и на основе собственных оценок. Для даль-

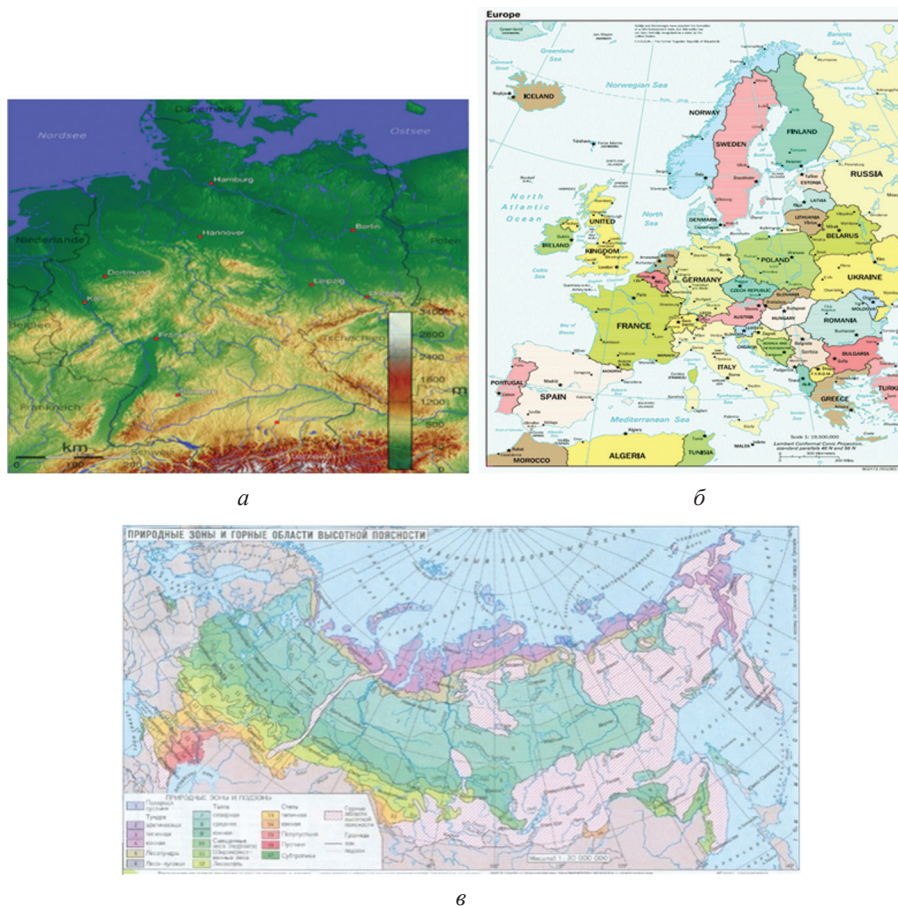


Рис. 1. Образцы анализируемых географических карт:  
*a* — физическая [8]; *б* — политическая [9]; *в* — карта природных зон [10]

нейших расчетов и экспериментов выбрано 40 диад и 36 триад. В экспериментальных исследованиях приняло участие 11 мужчин и женщин: 8 наблюдателей в возрасте от 20 до 25 лет, 2 человека — от 35 до 45 лет и 1 школьник — 10 лет.

Сначала был проведен предварительный эксперимент, в котором принимали участие 5 наблюдателей. Цель этого этапа исследования — исключение недостаточно гармоничных сочетаний, которые первоначально были предложены на замену реально существующим. Основной эксперимент проводился в учебной аудитории кафедры светотехники НИУ «МЭИ». Условия проведения эксперимента для всех наблюдателей были одинаковы: горизонтальная освещенность — 860 лк, освещенность в плоскости экрана компьютера — 380 лк, параметры экрана представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Координаты цветности  $x$ ,  $y$  и яркость  $L$  опорного белого и основных цветов дисплея компьютера HP Notebook 15-ac139ur**

Цвет	$x$	$y$	$L$ , кд/м <sup>2</sup>
Белый	0,3488	0,3007	162
Красный	0,4818	0,3222	35
Зеленый	0,3210	0,5050	101
Синий	0,1809	0,1440	26

Цветовые сочетания предъявлялись на сером фоне с яркостью экрана ноутбука — 56 кд/м<sup>2</sup> [6]. Наблюдателям предлагалось дать субъективную оценку цветовому сочетанию, которая проводилась по категорийной шкале качества [6], адаптированной нами к цветовой гармонии сочетаний. При этом каждой категории соответствовал определенный балл: от 1 балла — «сочетание цветов не гармонично и его категорически нельзя использовать для оформления географических карт» до 5 баллов — «сочетание гармонично и цвета создают ощущение целостности, и вместе производят приятное впечатление» с разбиением по 0,5 балла для точности эксперимента. Методика определения количества цветовых порогов, основанная на равноконтрастной системе А.Б. Матвеева и Н.М. Беляевой, была взята из [7]. Разница в восприятии цвета, (цветовой контраст)  $K_{цв}$ , определялась по формуле:

$$K_{цв} = \sqrt{(nK_{ц})^2 + K_s^2},$$

где  $n$  — коэффициент, учитывающий разную яркость цветов в рассматриваемых сочетаниях;  $K_{ц}$ ,  $K_s$  — контрасты по цветности и яркости.

Для расчетов необходимо знать яркость и координаты цветности выбранных цветов в сочетаниях. Данные параметры были измерены с помощью люксметра — спектроанализатора Konica Minolta CL-70F и яркомера

Konica Minolta LS-100 с экрана ноутбука, на котором в дальнейшем наблюдателям были представлены все рассматриваемые цветовые сочетания.

В ходе выбора цветовых сочетаний из физической карты [8] сочетание на рис. 2, *а* оценивалось как содержащее насыщенные и недостаточно гармоничные цвета. Однако после проведения эксперимента выяснилось, что оно, по мнению всех наблюдателей, получило высокую среднюю оценку, равную 4,1 (координаты цветности цветов:  $x_1 = 0,2269$ ,  $y_1 = 0,2137$ ,  $x_2 = 0,2481$ ,  $y_2 = 0,3026$ ; яркость:  $L_1 = 15$  кд/м<sup>2</sup>,  $L_2 = 6$  кд/м<sup>2</sup>), а разница между цветами составила 40 порогов. В то же время эксперименты показали, что рассматриваемое сочетание можно несколько улучшить до средней оценки 4,38, применив хотя бы один менее насыщенный цвет (рис. 2, *б*). Из комментариев наблюдателей следовало, что они считают более предпочтительным использовать на карте сочетания с ненасыщенными цветами. Координаты цветности и яркости цветов, цветовой контраст между цветами в сочетаниях, выбранных из географических карт, и средние оценки, поставленные наблюдателями, приведены в табл. 2.

Самые низкие средние оценки (ниже 3 баллов) получили сочетания, выбранные в картах и представленные на рис. 3 (№ 1, 2, 7) и рис. 4 (№ 2, 4). Исследуемые сочетания, составленные по выбранным географическим картам (кроме диады № 2 и триад № 2 — 4 из табл. 2), имели цветовой контраст между соседними цветами более 15 порогов. Именно эта цифра представляется своеобразной границей необходимого цветового сдвига, обеспечивающего уверенное восприятие различия между цветами в картах.

Цветовые сочетания, предложенные на замену цветам табл. 2, в основном эксперименте не получили оценки ниже 3 баллов. Наиболее высокие оценки получили следующие цветовые сочетания: диады на рис. 5 (№ 1 — 3); триады на рис. 6 (№ 1). Во всех предложенных сочетаниях рассчитанные цветовые контрасты превышают 28 порогов. Результаты экспериментов и измерений наиболее гармоничных цветовых сочетаний сведены в табл. 3.

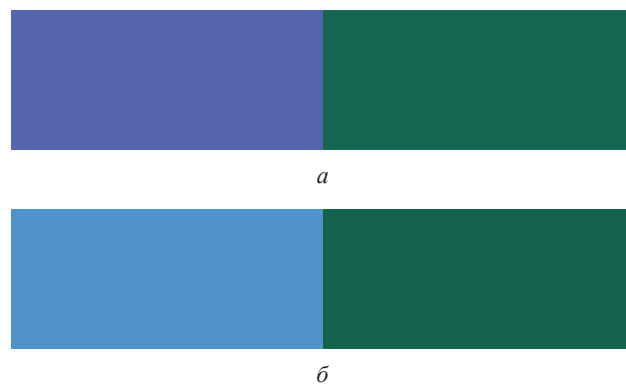


Рис. 2. Диада, составленная по физической карте (*а*), и сочетание, которым лучше ее заменить (*б*)

Параметры цветов из сочетаний, выбранных из географических карт

Номер сочетания	Средняя оценка	Цветовой контраст		Координаты цветности цветов в сочетании						Яркость		
		1	2	$x_1$	$y_1$	$x_2$	$y_2$	$x_3$	$y_3$	$L_1$	$L_2$	$L_2$
Диады, выбранные из географических карт (рис. 3)												
1	2,71	20	—	0,2744	0,3402	0,2709	0,2933	—	—	51	37	—
2	2,32	14	—	0,3079	0,3144	0,3078	0,3145	—	—	48	64	—
3	3,68	16	—	0,3078	0,3145	0,3168	0,3261	—	—	64	48	—
4	3,22	32	—	0,3378	0,3828	0,3414	0,2989	—	—	34	29	—
5	3,23	25	—	0,2852	0,2713	0,2722	0,2726	—	—	26	44	—
6	3,1	28	—	0,2852	0,2713	0,3001	0,3146	—	—	26	45	—
7	2,88	16	—	0,2722	0,2726	0,3001	0,3146	—	—	62	45	—
Триады, выбранные по географическим картам (рис. 4)												
1	4,21	22	16	0,2749	0,3398	0,3168	0,3261	0,3078	0,3145	65	48	64
2	2,74	4	18	0,3422	0,3697	0,3491	0,3704	0,3232	0,3482	66	59	63
3	3,01	11	23	0,3232	0,3482	0,2945	0,3178	0,3421	0,3695	63	68	65
4	2,42	14	16	0,3079	0,3144	0,3078	0,3145	0,3168	0,3261	48	64	48
5	3,7	31	19	0,3078	0,3145	0,349	0,3704	0,3168	0,3261	64	40	48
6	3,45	28	25	0,3001	0,3146	0,2852	0,2713	0,2722	0,2726	45	26	44
7	3,35	16	28	0,2752	0,3014	0,3001	0,3146	0,2852	0,2713	62	45	26

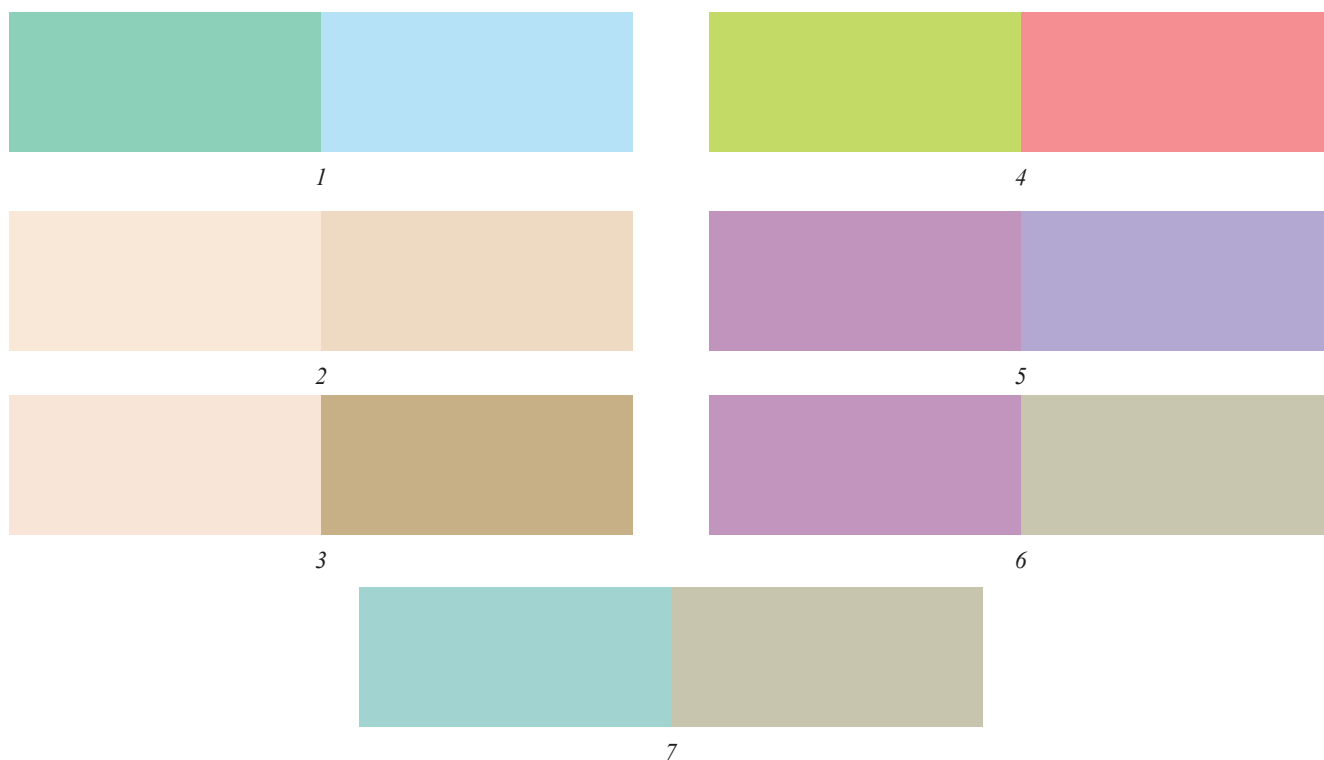


Рис. 3. Диады, составленные по географическим картам:

1 — 4 — сочетания из политической карты; 5 — 7 — сочетания из карты природных зон

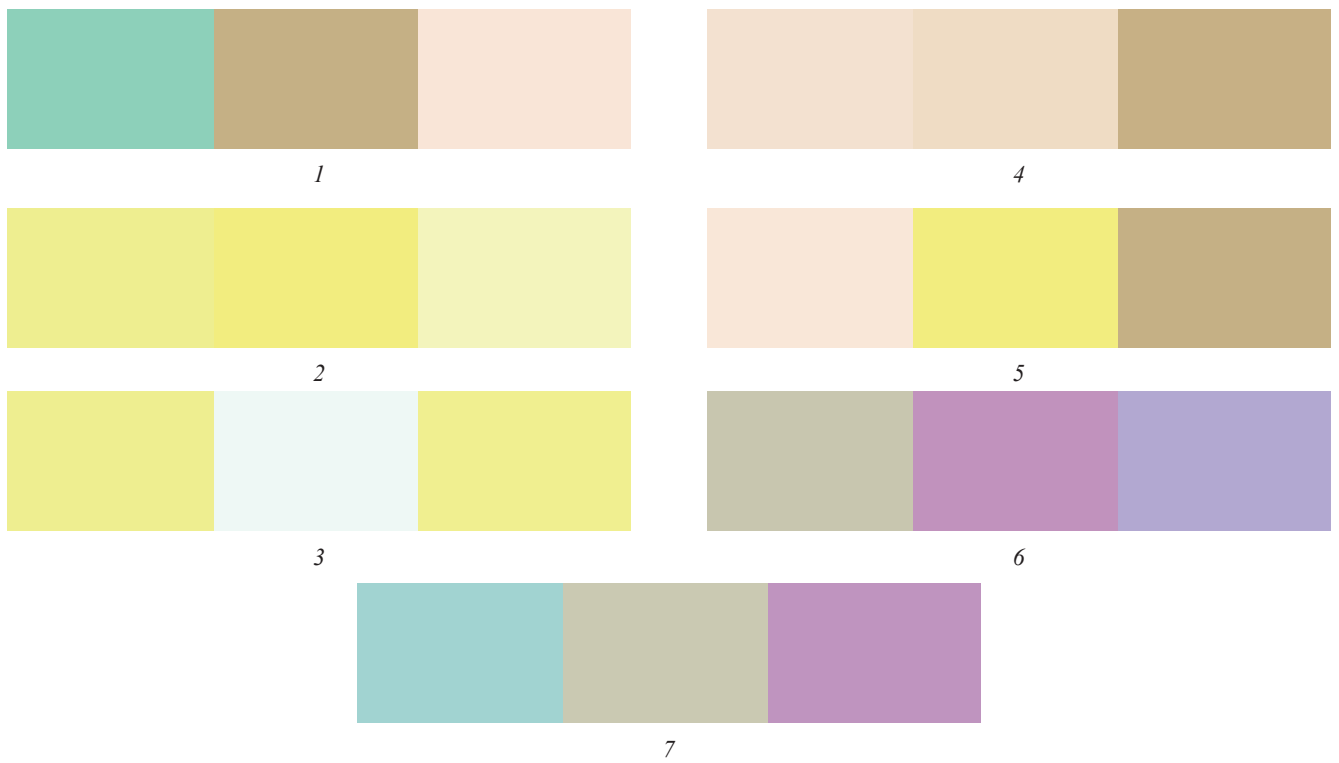


Рис. 4. Триады, составленные по географическим картам:  
 1 — 5 — сочетания из политической карты; 6, 7 — сочетания из карты природных зон

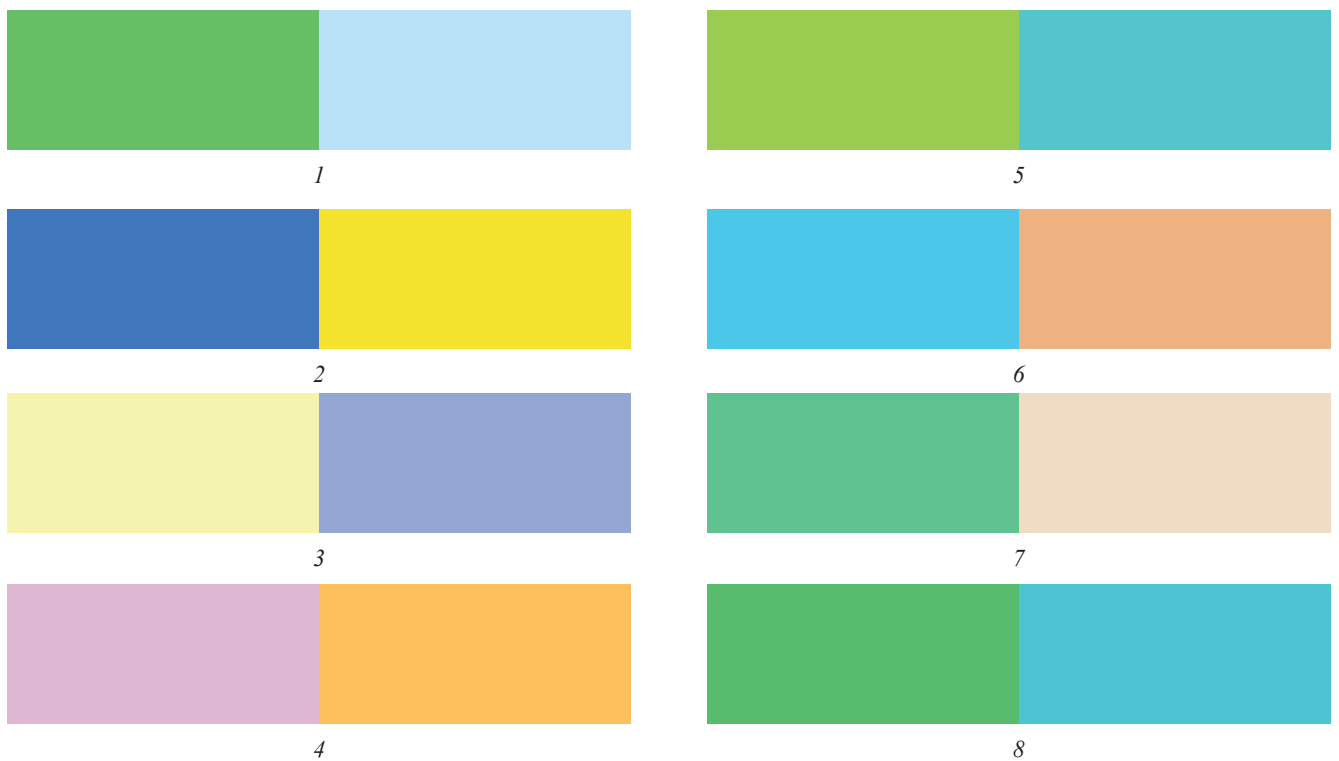


Рис. 5. Наиболее гармоничные диады (1 — 8), составленные для замены цветов из географических карт

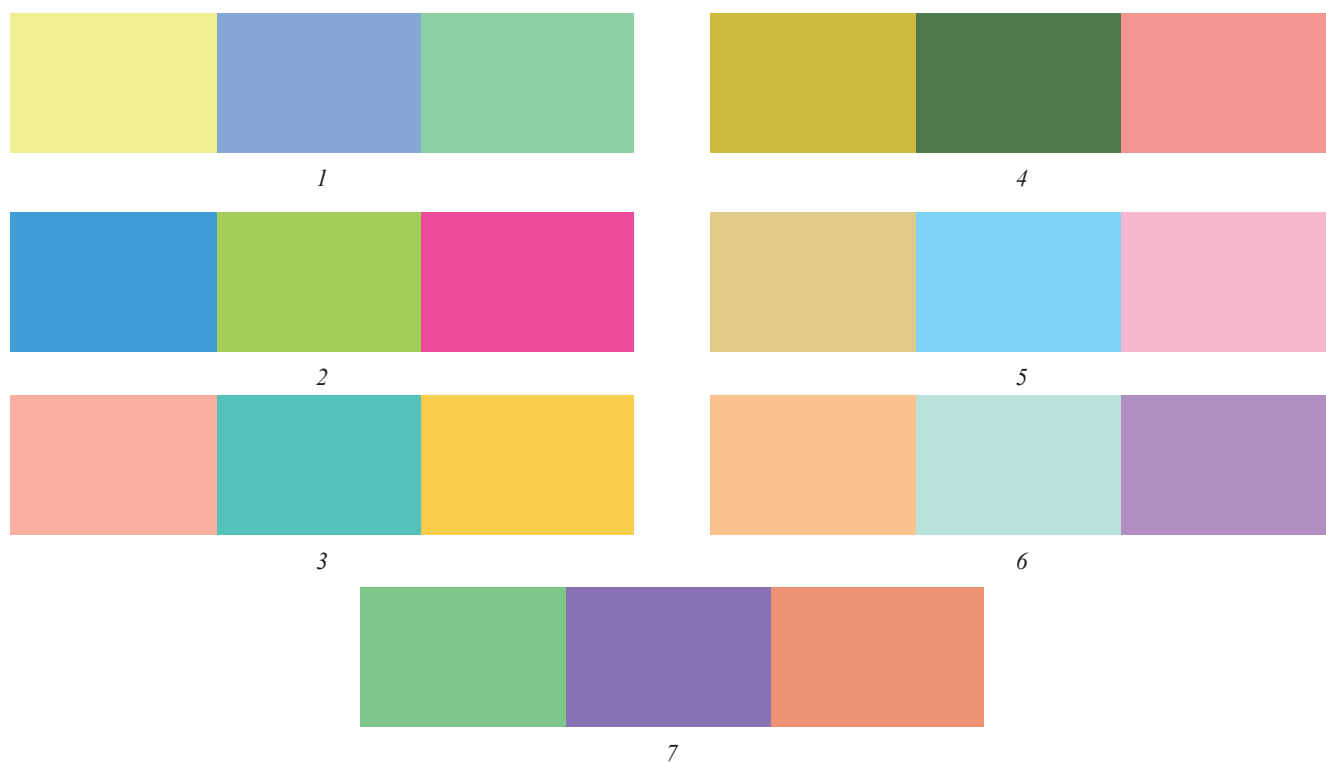


Рис. 6. Наиболее гармоничные триады (1 — 7), составленные для замены цветов из географических карт

Таблица 3

**Параметры цветов из вариантов наиболее гармоничных сочетаний, составленных для замены цветов**

Номер сочетания	Средняя оценка	Цветовой контраст		Координаты цветности цветов в сочетании						Яркость		
		1	2	$x_1$	$y_1$	$x_2$	$y_2$	$x_3$	$y_3$	$L_1$	$L_2$	$L_3$
Диады, предложенные в качестве замены (рис. 5)												
1	4,15	38	—	0,2912	0,4030	0,2698	0,2925	—	—	90	129	—
2	4,35	123	—	0,2011	0,2091	0,4032	0,4376	—	—	50	110	—
3	4,04	52	—	0,3321	0,3590	0,2553	0,2614	—	—	149	81	—
4	3,67	43	—	0,2896	0,2805	0,3727	0,3667	—	—	111	97	—
5	3,51	59	—	0,3552	0,4439	0,2365	0,3039	—	—	96	107	—
6	3,7	49	—	0,2438	0,2756	0,3358	0,3307	—	—	86	89	—
7	3,98	29	—	0,2755	0,3431	0,3081	0,3158	—	—	80	127	—
8	3,99	35	—	0,2735	0,3922	0,2336	0,2941	—	—	88	102	—
Триады, предложенные в качестве замены (рис. 6)												
1	4,32	55	41	0,3405	0,3683	0,2439	0,2540	0,2826	0,3471	134	81	116
2	3,83	67	71	0,2270	0,2461	0,3315	0,4127	0,3248	0,2512	64	99	40
3	3,64	34	59	0,3245	0,3075	0,2409	0,3125	0,3761	0,3890	96	98	101
4	3,92	32	15	0,3723	0,4047	0,2862	0,3242	0,3429	0,3071	75	26	82
5	3,85	40	29	0,3291	0,3427	0,2479	0,2762	0,3140	0,2946	101	108	110
6	3,78	32	38	0,3391	0,3326	0,2812	0,3209	0,2644	0,2449	103	138	78
7	3,93	55	57	0,2870	0,3650	0,2475	0,2232	0,3420	0,3176	99	55	68

Для большей наглядности удачные сочетания цветов были перенесены на географические карты и продемонстрированы на рис. 7. При составлении большинства сочетаний, которые были предложены за замену цветам географических карт, учитывалось их совместное использование: цвета выбирались из близкой к фрагментам карт цветовой гаммы. Варианты применения нескольких хороших и похожих по гармонии сочетаний показаны на рис. 8 на большом фрагменте географической карты.

По результатам экспериментов с наблюдателями и расчетов были определены средние баллы цветовых сочетаний, характеризующие степень гармонии соседних цветов, цветовые контрасты, а также сделаны соответствующие выводы. Предложено использовать в географических картах цветовые сочетания с оценками как минимум выше 3,5 баллов (т. е. выше границы между оценками по категориям «удовлетворительное» и «хорошее» по гармоничному сочетанию цветов — та-



Рис. 7. Наиболее удачные цветовые сочетания из табл. 3, перенесенные на фрагменты политической географической карты



Рис. 8. Варианты использования цветовых сочетаний из табл. 3 на одном большом фрагменте политической карты (близки по цветовой гармонии, представлены по степени улучшения цветовой гармонии (слева направо))

кую оценку ставил наблюдатель в случае, если сомневался, какую именно из этих двух категорий выбрать).

В ходе исследования установлено, что цветовой контраст в 15 порогов уверенно различим, но из комментариев отдельных наблюдателей такое различие цветов в сочетании может быть недостаточно и сложно воспринимается при чтении географических карт. Правильнее применять к географическим картам сочетания с цветовым контрастом не менее 20 порогов.

Для замены в конкретных фрагментах географических карт с неважно сочетающимися цветами предложены более гармоничные (в среднем на 1,2 балла по всем рассмотренным в табл. 2 сочетаниям) и комфортные (с цветовым контрастом более 28 порогов) цвета с измеренными координатами цветности и яркостями.

### Литература

1. Снетков В.Ю., Шугарова Л.Н. Модели и принципы цветовой гармонии // Вестник МЭИ. 2010. № 3. С. 132—135.
2. Кудрякова С.М., Снетков В.Ю. Исследование зрительной работоспособности и утомления при работе с черным текстом на цветном фоне // Светотехника. 2016. № 2. С. 48—50.
3. Kudryakova S.M., Snetkov V.Y. Research into Visual Working Capacity and Fatigue when Operating with Black Text Against a Colour Background // Light & Eng. 2017. V. 25. No. 1. Pp. 121—125.
4. Зубова О.А., Дядченко Ю.С. Современные проблемы графического оформления карт // Вестник Сибирского гос. ун-та геосистем и технологий. 2014. № 1 (25). С. 153—160.
5. Westland S. e. a. Colour Harmony // Colour: Design & Creativity. 2007. V. 1 (1). No. 1. Pp. 1—15.
6. ГОСТ 26320—84. Оборудование телевизионное студийное и внестудийное. Методы субъективной оценки качества цветных телевизионных изображений.
7. Соснова Т.Л. и др. Цветовое оформление на железнодорожном транспорте. М.: Транспорт, 1984. С. 200.
8. Туристер. Карты и схемы [Электрон. ресурс] <https://www.tourister.ru/world/europe/germany/map> (дата обращения 17.03.2017).

9. **Политическая** карта Европы [Электрон. ресурс] <http://planetolog.ru/map-continent-zoom.php?id=EUR&scheme=4> (дата обращения 28.03.2017).

10. **Карта** природных зон [Электрон. ресурс] [http://www.rsu.edu.ru/wordpress/wpcontent/uploads/elearning/Krivcov\\_V.A.\\_Fizicheskaya%20geografiya%20Rossii/700.html](http://www.rsu.edu.ru/wordpress/wpcontent/uploads/elearning/Krivcov_V.A._Fizicheskaya%20geografiya%20Rossii/700.html) (дата обращения 28.03.2017).

---

## References

---

1. **Snetkov V.Yu., Shugarova L.N.** Modeli i Printsipy Tsvetovoy Garmonii. Vestnik MPEI. 2010;3:132—135. (in Russian).

2. **Kudryakova S.M., Snetkov V.Yu.** Issledovanie Zritel'noy Rabotosposobnosti i Utomleniya pri Rabote s Chernym Tekstom na Tsvetnom Fone. Svetotekhnika. 2016;2:48—50. (in Russian).

3. **Kudryakova S.M., Snetkov V.Y.** Research into Visual Working Capacity and Fatigue when Operating with Black Text Against a Colour Background. Light & Eng. 2017;25;1:121—125.

4. **Zubova O.A., Dyadchenko Yu.S.** Sovremennye Problemy Graficheskogo Oformleniya Kart. Vestnik Sibirskogo Gos. Un-ta Geosistem i Tekhnologiy. 2014;1 (25): 153—160. (in Russian).

5. **Westland S. e. a.** Colour Harmony. Colour: Design & Creativity. 2007;1 (1);1:1—15.

6. **GOST 26320—84.** Oborudovanie Televizionnoe Studiyное i Vnestudiyное. Metody Sub'ektivnoy Otsenki Kachestva Tsvetnyh Televizionnyh Izobrazheniy. (in Russian).

7. **Sosnova T.L. i dr.** Tsvetovoe Oformlenie na Zheleznodorozhnom Transporte. M.: Transport, 1984:200. (in Russian).

8. **Turister.** Karty i Skhemy [Elektron. Resurs] <https://www.tourister.ru/world/europe/germany/map> (Data Obrashcheniya 17.03.2017). (in Russian).

9. **Politicheskaya** Karta Evropy [Elektron. Resurs] <http://planetolog.ru/map-continent-zoom.php?id=EUR&scheme=4> (Data Obrashcheniya 28.03.2017). (in Russian).

10. **Karta** Prirodnih Zon [Elektron. Resurs] [http://www.rsu.edu.ru/wordpress/wpcontent/uploads/elearning/Krivcov\\_V.A.\\_Fizicheskaya%20geografiya%20Rossii/700.html](http://www.rsu.edu.ru/wordpress/wpcontent/uploads/elearning/Krivcov_V.A._Fizicheskaya%20geografiya%20Rossii/700.html) (Data Obrashcheniya 28.03.2017). (in Russian).

---

## Сведения об авторах

---

**Снетков Владимир Юрьевич** — кандидат технических наук, доцент кафедры светотехники НИУ «МЭИ», e-mail: SVY.2011@yandex.ru

**Шамонова Анна Александровна** — магистрант кафедры светотехники НИУ «МЭИ», e-mail: annasastudies@gmail.com

**Алексеев Евгений Александрович** — ассистент кафедры светотехники НИУ «МЭИ», e-mail: gonolulu45@yandex.ru

---

## Information about authors

---

**Snetkov Vladimir Yu.** — Ph.D. (Techn.), Assistant Professor of Lighting Engineering Dept., NRU MPEI, e-mail: SVY.2011@yandex.ru

**Shamonova Anna A.** — Undergraduate of Lighting Engineering Dept., NRU MPEI, e-mail: annasastudies@gmail.com

**Alekseev Evgeniy A.** — Assistant of Lighting Engineering Dept., NRU MPEI, e-mail: gonolulu45@yandex.ru

*Статья поступила в редакцию 07.08.2017*