

УДК 535.1.3

DOI: 10.24160/1993-6982-2019-6-77-82

Исследование особенностей восприятия цветов цветоаномалами

В.Ю. Снетков, А.Д. Книженцева, Ю.А. Густелева, Е.А. Алексеев, А.В. Кистенева

Под термином «цветоаномалия» понимается всякое выходящее за пределы некой нормы цветовое зрение. В мире достаточно много людей (примерно 8...9%) с нарушением цветовосприятия. Для цветоаномала может оказаться непосильной задачей, то, что не составит труда обычному человеку. Однако современные исследования свидетельствуют, что нарушенное цветовое зрение может быть плюсом для некоторых людей.

По результатам всестороннего анализа литературных данных поставлена задача подкрепления тестирования английских специалистов Д. Моллона, Г. Джордан и С. Рафаэл собственными прямыми экспериментальными и расчетными исследованиями, а также проведения измерения всех выбранных наблюдателями цветов, чтобы на личном опыте убедиться в больших возможностях цветоразличения определенной группы цветоаномалов для конкретной цветовой области.

Выполнены исследования по выявлению проблем с цветовым зрением у людей по нескольким тестам. Определены цветоаномалы и трихроматы, проверена гипотеза о том, что люди с нарушенным цветовосприятием, в данном случае протанопы, различают большее количество некоторых цветов, нежели люди с нормальным цветовым зрением — трихроматы.

Установлено, что общее количество различимых цветов хаки по трем направлениям у исследуемых трихроматов в среднем — 9, а у протанопов — 27, т. е. последние различают в три раза больше оттенков цвета хаки по сравнению с трихроматами. Результаты эксперимента показали, что количество порогов между различаемыми цветами хаки у дихроматов в среднем составляет 3 порога, в то время как у трихроматов их не менее четырех.

По итогам приведенных расчетов и экспериментов подтверждено, что протанопы различают оттенки в области цвета хаки лучше, чем люди с нормальным цветовым зрением. У таких людей, без сомнения, повышена самооценка. Вполне возможно, что они могут лучше, чем трихроматы, справляться с деятельностью, связанной с желто-зеленой и коричневой гаммами цветов. Например, будут лучше ориентироваться и работать непосредственно в лесных массивах и пустынях, а также с картами лесной и горной местности.

Ключевые слова: цветоаномалы, трихроматы, протанопы, цветовой контраст, координаты цветности, яркость.

Для цитирования: Снетков В.Ю., Книженцева А.Д., Густелева Ю.А., Алексеев Е.А., Кистенева А.В. Исследование особенностей восприятия цветов цветоаномалами // Вестник МЭИ. 2019. № 6. С. 77—82. DOI: 10.24160/1993-6982-2019-6-77-82.

Studying the Peculiarities of Color Perception by People with Abnormal Color Vision

V.Yu. Snetkov, A.D. Knizhentseva, Yu.A. Gusteleva, E.A. Alekseev, A.V. Kisteneva

The term “color anomaly” is understood to mean any deviation of color vision from certain limits of normal color perception. There are quite a lot of people around the world (about 8...9%) who have abnormal color vision. A person with abnormal color vision may find himself or herself unable to cope with a task that can easily be fulfilled by an ordinary person. However, modern investigations testify that abnormal color vision may turn to be an advantage for some people.

Based on the results of a comprehensive analysis of literature sources, a task was set forth to corroborate the results of tests carried out by English experts D. Mollona, G. Jordan and S. Rafael by the authors' own direct experimental and numerical investigations and to carry out measurements of all colors chosen by observers to become convinced, based on the own experience, that people belonging to a certain group of abnormal color vision have great color distinction abilities for a specific color region.

Investigations aimed at identifying problems with color vision of people by several tests were carried out. People with abnormal and trichromatic color vision have been identified, and the hypothesis stating that people with impaired color perception, specifically, protanopic persons, are able to distinguish more hues than people with normal color vision (trichromats).

It has been found from the tests carried out with the people who were involved in the investigations that trichromats distinguish on the average nine hues of khaki in three aspects, whereas protanopic persons distinguish 27 hues; i.e., these latter are able to distinguish three times more hues of khaki color than trichromats. The experiment results have shown that dichromats identify on the average three thresholds in distinguishing between the khaki hues, whereas trichromats identify no less than four such thresholds.

It has been confirmed based on the results of the accomplished numerical analyses and experiments that protanopic persons distinguish the khaki hues better than people with normal color vision. Undoubtedly, such people have an increased self-assessment. It will be able to do activities associated with yellow-green and brown colors better than trichromats. For example, they may show better orientation and work directly in forests or deserts and work with maps of woodlands and highlands.

Key words: persons with abnormal color vision, trichromats, protanopes, color contrast, chromaticity coordinates, brightness.

For citation: Snetkov V.Yu., Knizhentseva A.D., Gusteleva Yu.A., Alekseev E.A., Kisteneva A.V. Studying the Peculiarities of Color Perception by People with Abnormal Color Vision. Bulletin of MPEI. 2019;6:77—82. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2019-6-77-82.

Введение

Люди, у которых эффективно работают все три приемника цветового зрения, называются трихроматами. Вместе с тем, кроме цветослепых, существуют мужчины и, значительно реже, женщины, у которых какой-либо преемник ослаблен. Они считаются цветоаномалами. Часто под этим термином понимается всякое выходящее за пределы некой нормы цветовое зрение. Установлено, что в мире достаточно много людей (примерно 8...9%) с нарушением цветовосприятия. Они, также как и люди с нормальным цветовым зрением, работают, переходят дороги, да и просто сталкиваются с различными цветами каждый день. Для цветоаномала может оказаться непосильной задачей то, что не составит труда обычному человеку. Нам представляется, что любое серьезное исследование, посвященное такому большому числу людей, будет актуальным. Настоящая работа позволяет расширить представление об особенностях зрительной системы протанопов и дать надежду на еще нераскрытые возможности других цветоаномалов.

Постановка задачи

Проблемами аномалий цветового зрения занимались многие известные ученые, перечисленные в [1], однако в настоящее время в научной литературе не так часто описываются подобные исследования.

Анализируя современную литературу [2 — 7] по вопросам цветоаномалии, следует обратить внимание на интересное предположение исследователя из Кембриджского университета Д. Моллона и специалисток Г. Джордан и С. Рафаэл из университета Ньюкасл-на-Тайне о том, что люди с нарушенным цветовосприятием способны различать большее количество оттенков цвета хаки, чем обычные люди. Авторы начали свое исследование с того, что определили длины волн, к которым чувствителен мутантный вариант пигмента «зеленой» колбочки. Отсюда были выведены предположения о том, какие цвета должны различать люди с подобной цветовой аномалией. Проверка, выполненная в группе из десяти людей, показала, что они способны уверенно различать до 15 оттенков цвета хаки, почти неразличимых для участников контрольной группы с нормальным зрением. В экспериментах использовались таблицы, в которых испытуемым надо было оценить, насколько близки по цветности два представленных цвета. На заполнение предъявляемых таблиц, состоящих из 105 пар цветов, содержащих в числе прочего упомянутые оттенки хаки, у людей с нормальным зрением уходило около 1,5 часов, тогда как люди с аномалией цветовосприятия справлялись с заданием вдвое быстрее. На наш взгляд, в данном тестировании есть ряд недостатков, таких как отсутствие характеристик выбранных цветов, определение не количества различаемых цветов, а времени, т. е. трихроматы видели эти цвета разными, но не сразу их воспринимали

такowymi [8]. Описанное исследование открыло новые возможности для цветоаномалов. В этом недуге могут даже появиться плюсы. Такие люди могут ориентироваться в лесных массивах лучше, чем трихроматы. Эксперт по зрительному восприятию из университета Глазго Д. Симонс в интервью журналу Nature [9] назвал полученные результаты захватывающим открытием. Он предположил, что в прошлом эта особенность давала ее носителям определенные эволюционные преимущества.

По результатам всестороннего анализа работы [8] поставлена задача — подкрепить тестирование английских специалистов своими экспериментальными, а также расчетными исследованиями и провести их так, чтобы не только избежать отмеченных недостатков, но и самим убедиться в больших возможностях цветоаномалов определенной группы цветоаномалов для конкретной области цветов.

Исследования

Для доказательства, что люди с нарушенным цветовосприятием различают большее количество цветов хаки, необходимо выявить дихроматов. Для этого проведены исследования студентов четвертого курса НИУ «МЭИ» по выявлению проблем с цветовым зрением по тестам Рабкина [10], Ишихары [11] и Дервал [12].

Была создана установка на базе компьютера со светодиодным (LED) экраном, спектроколориметра люксметра Konica Minolta CL-70F и яркомера Konica Minolta LS-100. В лаборатории кафедры светотехники спектроколориметром измерены координаты цветности основных цветов дисплея компьютера, а с помощью яркомера определены их яркости. Замеры проходили на экране ноутбука ASUS K501UW-DM014T с LED экраном (табл. 1), диагональю 15,6 дюймов, разрешением 1920×1080 Full HD, при установке яркости и контрастности на максимальную величину.

При просмотре таблиц Рабкина, Ишихары и цветового теста Дервал наблюдатели располагались на расстоянии в 80 см от экрана. Опыты проводили в помещении при общем равномерном искусственном освещении с целью создания одинаковых условий для наблюдателей. Уровень освещенности в плоскости экрана ($E = 400$ лк) был таким, чтобы фон не отвлекал наблюдателей. Пространство, попадающее в поле зре-

Таблица 1

Координаты цветности опорного белого и основных цветов дисплея компьютера

Цвет	x	y	L , кд/м ²
Белый	0,3467	0,3032	133
Красный	0,4925	0,3364	48
Зеленый	0,3198	0,4998	51
Синий	0,1901	0,1389	34

ния человека, не содержало ярких цветных предметов. Тестируемому необходимо было за 10 с сказать, что он видит на предъявляемом изображении (тесты Рабкина и Ишихары) или посчитать без ограничения по времени количество цветов, которые он видит в предлагаемом спектре (тесты Д. Дервал). Тесты проходили при нормальном самочувствии испытуемого (не должен быть в напряжении). Рассматриваемая картинка и глаза находились на одном уровне.

По результатам работы выявлена группа студентов, обладающих особенностями цветовосприятия. Их ответы указывают на то, что они являются протанопами, т. е. отождествляют светло-красные цвета с темно-зелеными, голубые и синие с пурпурными и фиолетовыми.

Для изучения особенностей восприятия цветов хаки выбраны два протанопа и два трихромата. Основные эксперименты реализованы с помощью описанной выше установки. Объект наблюдения — изображение, полностью окрашенное в цвет хаки. Наблюдатель располагался на расстоянии одного метра от экрана. Все остальные условия освещения в помещении сохранились прежними. Для изменения главного цвета хаки (рис. 1) разработана программа «Color Filtre», реализованная в среде MATLAB.

При ее помощи оператор менял поочередно долю синего, зеленого или красного цветов в имеющемся начальном изображении, полностью окрашенном в цвет хаки. Испытуемые трихроматы и протанопа как только замечали изменения в цвете изображения, фиксировали это. Для каждого полученного нового изображения измеряли координаты цветности и яркость. Минимальный шаг изменения яркости между двумя соседними цветами не превышал в среднем 1 порога и у трихроматов, и у протанопов.

Выявлено, что люди с нарушением цветовосприятия различают большее количество оттенков хаки, чем люди с нормальным цветовым зрением (табл. 2).

Для того, чтобы оценить насколько лучше цветоаномалы различают цвета хаки, рассчитаем количество цветовых порогов между соседними цветами в равноконтрастной системе профессора А.Б. Матвеева. Вычисления сделаны по инженерной методике Н.М. Беляевой для каждого наблюдателя, так как это позволяет не только определить, где на равноконтрастном графике расположены эти цвета, но и найти количество цветовых порогов между ними [13].

Разница в восприятии цвета $K_{цв}$ рассчитывается по формуле:

$$K_{цв} = \sqrt{K_s^2 + K_{ц}^2},$$

где $K_{цв}$ — разница в восприятии цвета (цветовой контраст) K_s , $K_{ц}$ — контрасты по светлоте и восприятию цветности (пороги).

Контраст по светлоте определяется из графика (рис. 2) по процентному соотношению яркостей двух изображений, а контраст по цветности из выражения:

Таблица 2

Сравнение результатов трихроматов и протанопов в способности различать цвета хаки

Наблюдатель	Количество различаемых цветов хаки при изменении долей цвета		
	синий	зеленый	красный
Трихромат 1	3	3	2
Трихромат 2	4	3	3
Протаноп 1	11	7	5
Протаноп 2	10	10	11

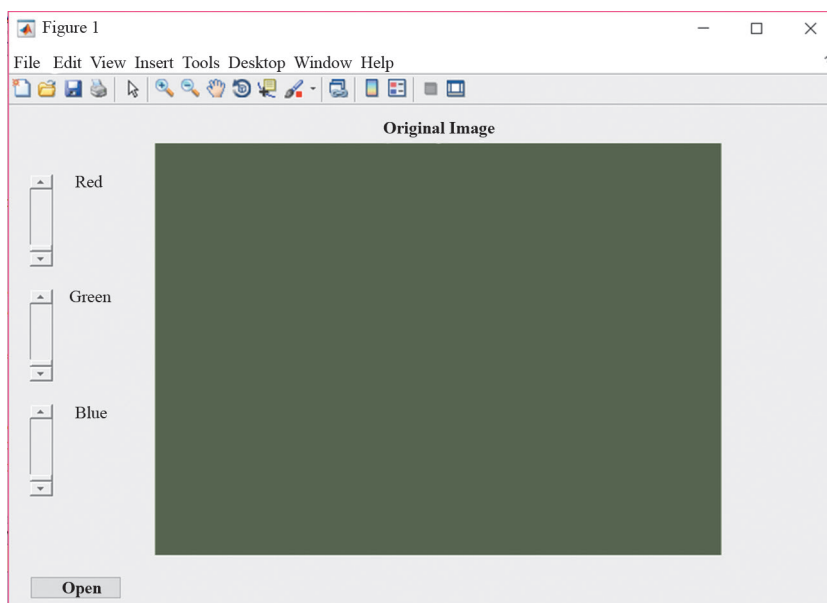


Рис. 1. Интерфейс программы «Color Filtre»

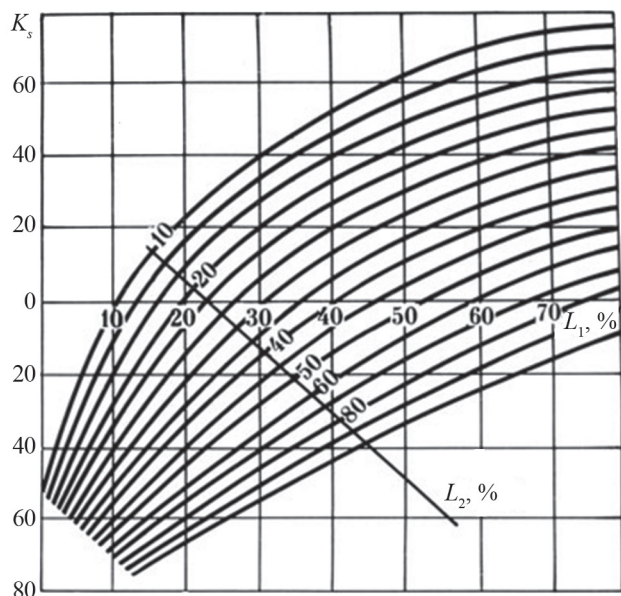


Рис. 2. Зависимость контраста по светлоте от яркостей цветов

$$K_u = 3,4nl,$$

где n — коэффициент, выведенный из рис. 3; l — расстояние в мм между двумя точками на равноконтрастном цветовом графике (рис. 4); 3,4 — масштабный коэффициент для графика рис. 4.

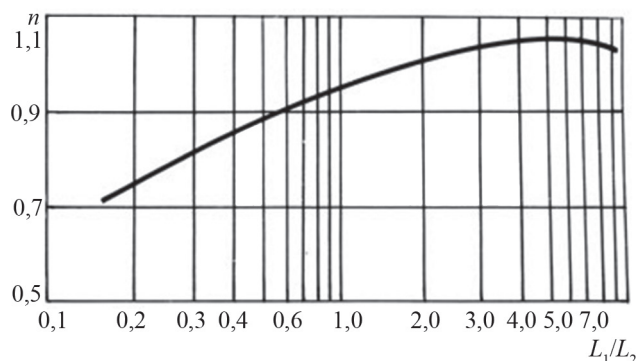


Рис. 3. Зависимость коэффициента n контраста по цветности от отношения яркостей двух изображений

Расчет для трихроматов приведен в табл. 3, а для протанопов — в табл. 4.

Закключение

В результате исследования двух десятков студентов выполнена непростая задача выявления двух протанопов, без которых невозможна оценка особенности различения оттенков в области цвета хаки.

Общее количество различных цветов в области цвета хаки по трем направлениям у исследуемых трихроматов — 8...10 (в среднем — 9), а у исследуе-

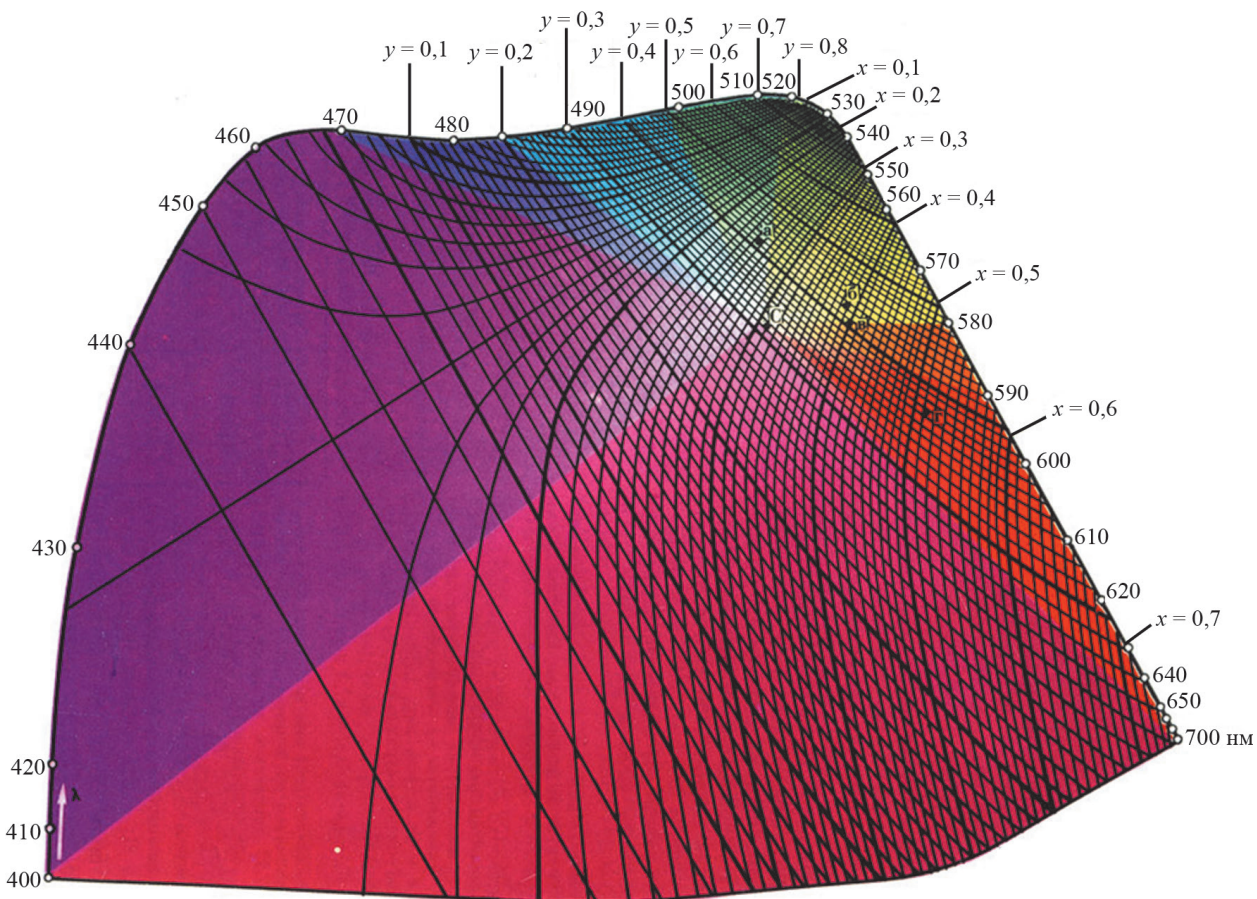


Рис. 4. Равноконтрастный цветовой график

Таблица 3

Рассчитанные пороги при изменении долей синего, зеленого и красного цветов

Сравниваемые изображения	K_s	K_z	$K_{кв}$
Синий			
1 и 2	1 и 1	4 и 4	4 и 4
2 и 3	3 и 2	4 и 5	5 и 5
4 и 5	0 и 2	0 и 5	0 и 5
Зеленый			
1 и 2	1 и 1	4 и 4	4 и 4
2 и 3	2 и 1	6 и 4	5 и 4
Красный			
1 и 2	2 и 1	6 и 4	5 и 4
2 и 3	0 и 2	0 и 6	0 и 5

мых протанопов — 23...31 (в среднем — 27), т. е. они различают в три раза больше оттенков по сравнению с трихроматами.

Расчетным путем определено, что количество порогов между различаемыми цветами хаки у исследованных протанопов в среднем — 3, в то время как у трихроматов оно не менее 4. Данный результат прямо подтверждает предыдущий вывод, поскольку если различимых цветов у исследуемых протанопов больше, то и цветовой сдвиг между соседними цветами должен быть меньше, чем у трихроматов.

Выявлено, что протанопы различают оттенки цвета хаки лучше, чем люди с нормальным цветовым зрением. Мы подтверждаем результаты исследований специалистов из Великобритании и считаем возможности протанопов в различении большего числа оттенков цветов хаки по сравнению с трихроматами установленными.

Подтверждено, что протанопы различают оттенки цвета хаки лучше, чем люди с нормальным цветовым зрением. Вполне возможно, что они могут лучше, чем трихроматы, справляться с деятельностью, связанной с желто-зеленой и коричневой гаммами цветов. Например, ориентироваться и работать в лесных массивах и пустынях, а также с их визуализациями в средствах отображения информации или картами лесной и гор-

Литература

1. Джадд Д., Вышецки Г. Цвет в науке и технике. М.: Мир, 1978.
2. Маркова Т.С., Шлепотина Н.М. Наследственные аномалии цветового зрения // Вестник совета молодых ученых и специалистов Челябинской области. 2016. Т. 4. № 3. С. 48—50.
3. Высоцкая Т.А., Дегтярева С.Ю. Цветовосприятие и цветоощущение. Чита. Изд-во Забайкальского гос. гуманитарно-педагогического ун-та им. Н.Г. Чернышевского. 2006.

Таблица 4

Рассчитанные пороги при изменении долей синего, зеленого и красного цветов

Сравниваемые изображения	K_s	K_z	$K_{кв}$
Синий			
1 и 2	1 и 1	3 и 2	3 и 3
2 и 3	1 и 1	2 и 2	3 и 3
3 и 4	1 и 1	3 и 2	3 и 3
4 и 5	1 и 1	3 и 2	3 и 3
5 и 6	1 и 2	3 и 3	3 и 4
6 и 7	1 и 2	2 и 3	3 и 4
7 и 8	1 и 1	3 и 2	3 и 3
8 и 9	1 и 2	3 и 3	3 и 4
9 и 10	1 и 2	2 и 3	3 и 4
10 и 11	1 и 0	3 и 0	3 и 0
Зеленый			
1 и 2	1 и 2	2 и 2	3 и 3
2 и 3	1 и 2	2 и 2	3 и 3
3 и 4	1 и 1	4 и 2	3 и 3
4 и 5	1 и 2	2 и 2	3 и 3
5 и 6	1 и 2	2 и 2	3 и 3
6 и 7	1 и 0	4 и 2	4 и 3
Красный			
1 и 2	1 и 2	2 и 3	3 и 5
2 и 3	2 и 1	2 и 2	3 и 3
3 и 4	2 и 1	2 и 2	3 и 3
4 и 5	1 и 1	2 и 2	3 и 3
5 и 6	0 и 2	0 и 3	0 и 4
6 и 7	0 и 1	0 и 2	0 и 3
7 и 8	0 и 2	0 и 2	0 и 3
8 и 9	0 и 1	0 и 2	0 и 3
9 и 10	0 и 2	0 и 2	0 и 3
10 и 11	0 и 1	0 и 2	0 и 3

ной местностей. Не исключено, что область высокой цветовой различимости не единственная даже у тех же протанопов.

Физиологи и светотехники могут заинтересоваться и другими цветоаномалиями. Именно поэтому авторы статьи согласны с мнением Д. Симонса [9] и добавили бы от себя, что выявление больших возможностей таких людей — одно из серьезных достижений в области цветоведения последних лет.

References

1. Dzhadd D., Vyshetski G. Tsvet v Nauke i Tekhnike. M.: Mir, 1978. (in Russian).
2. Markova T.S., Shlepotina N.M. Nasledstvennyye Anomalii Tsvetovogo Zreniya. Vestnik Soveta Molodykh Uchenykh i Spetsialistov Chelyabinskoy Oblasti. 2016;4; 3:48—50. (in Russian).
3. Vysotskaya T.A., Degtyareva S.Yu. Tsvetovospriyatie i Tsvetooshchushchenie. Chita. Izd-vo Zabaykalskogo gos. Gumanitarno-pedagogicheskogo Un-ta im. N.G. Chernyshevskogo. 2006. (in Russian).

4. **Варданян Д.А., Мишутина П.Г.** Цветовой стимул сетчатки глаза и цветовосприятие // Проблемы и перспективы внедрения инновационных телекоммуникационных технологий: Материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. Оренбург, 2018.

5. **Chiou R., Rich A.N., Rogers S.** Exploring the Functional Nature of Synaesthetic Colour // Dissociations from Colour Perception and Imagery. 2018. V. 177. Pp. 107—121.

6. **Hsu N.S., Frankland S.M., Thompson-Schill Sh.L.** Chromaticity of Color Perception and Object Color Knowledge // Neuropsychologia. 2011. V. 50. Iss. 2. Pp. 327—333.

7. **Элементы** [Официальный сайт] http://elementy.ru/novosti_nauki/165031 (дата обращения 16.03.2018).

8. **Raphael S., Mollon J., Jordan G.** Colour Matching Functions for Anomalous Trichromacy // Proc. 38th European Conf. Visual Perception. Liverpool, 2015.

9. **Hibar D.P.** Novel Genetic Loci Associated with Hippocampal Volume // Nature Communications. 2017. No. 8. Pp. 1—7.

10. **Рабкин Е.Б.** Полихроматические таблицы для исследования цветоощущений. М.: Медицина, 1971.

11. **Тест Ишихары** [Электронный ресурс] <https://mgkl.ru/patient/testy/test-ishikhary> (дата обращения 20.02.2018).

12. **Тест на цветовосприятие** [Электронный ресурс] https://www.excimerclinic.ru/eye-tests/cvetovosprijatie_test/ (дата обращения 15.03.2018).

13. **Соснова Т.Л., Фрид Ю.В., Соколова Е.Г., Лосева Е.И.** Цветовое оформление на железнодорожном транспорте. М.: Транспорт, 1984.

4. **Vardanyan D.A., Mishutina P.G.** Tsvetovoy Stimul Setchatki Glaza i Tsvetovospriyatie. Problemy i Perspektivy Vnedreniya Innovatsionnykh Telekommunikatsionnykh Tekhnologiy: Materialy IV Mezhdunar. Nauch.-prakt. Konf. Orenburg, 2018. (in Russian).

5. **Chiou R., Rich A.N., Rogers S.** Exploring the Functional Nature of Synaesthetic Colour. Dissociations from Colour Perception and Imagery. 2018;177:107—121.

6. **Hsu N.S., Frankland S.M., Thompson-Schill Sh.L.** Chromaticity of Color Perception and Object Color Knowledge. Neuropsychologia. 2011;50:2:327—333.

7. **Elementy** [Official Site] http://elementy.ru/novosti_nauki/165031 (Data Obrashcheniya 16.03.2018). (in Russian).

8. **Raphael S., Mollon J., Jordan G.** Colour Matching Functions for Anomalous Trichromacy. Proc. 38th European Conf. Visual Perception. Liverpool, 2015.

9. **Hibar D.P.** Novel Genetic Loci Associated with Hippocampal Volume. Nature Communications. 2017;8:1—7.

10. **Rabkin E.B.** Polikhromaticheskie Tablitsy dlya Issledovaniya Tsvetooshchushcheniy. M.: Meditsina, 1971. (in Russian).

11. **Test Ishikhary** [Elektron. Resurs] <https://mgkl.ru/patient/testy/test-ishikhary> (Data Obrashcheniya 20.02.2018).

12. **Test na Tsvetovospriyatie** [Elektron. Resurs] https://www.excimerclinic.ru/eye-tests/cvetovosprijatie_test/ (Data Obrashcheniya 15.03.2018). (in Russian).

13. **Sosnova T.L., Frid Yu.V., Sokolova E.G., Loseva E.I.** Tsvetovoe Oformlenie na Zheleznodorozhnom Transporte. M.: Transport, 1984. (in Russian).

Сведения об авторах:

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

Книженцева Анастасия Дмитриевна — бакалавр по профилю «Светотехника и источники света», магистрант кафедры светотехники НИУ «МЭИ», e-mail: cnizhentsewa@yandex.ru

Густелева Юлия Александровна — магистр по специальности «Теоретическая и прикладная светотехника» НИУ «МЭИ», e-mail: oranjulia123@mail.ru

Алексеев Евгений Александрович — старший преподаватель, ведущий инженер кафедры светотехники НИУ «МЭИ», e-mail: evgalexeev@yandex.ru

Кистенева Анна Вячеславовна — ассистент кафедры светотехники НИУ «МЭИ», e-mail: anna.kisteneva@rambler.ru

Information about authors:

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

Knizhentseva Anastasiya D. — BSC in the profile «Lighting Engineering and Light Sources», Master Student of Lighting Engineering Dept., NRU MPEI, e-mail: cnizhentsewa@yandex.ru

Gusteleva Yuliya A. — Master's Degree in «Theoretical and Applied Lighting Engineering» NRU MPEI, e-mail: oranjulia123@mail.ru

Alekseev Evgeniy A. — Senior Lecturer, Leading Engineer of Lighting Engineering Dept., NRU MPEI, e-mail: evgalexeev@yandex.ru

Kisteneva Anna V. — Assistant of Lighting Engineering Dept., NRU MPEI, e-mail: anna.kisteneva@rambler.ru

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest

Статья поступила в редакцию: 24.02.2019

The article received to the editor: 24.02.2019