

УДК 130.2

**КЛЕТОЧНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
ДИНАМИКИ МОНОХРОМНОЙ ГОРОДСКОЙ КОЛОРИСТИКИ**

**CELLULAR MODELLING  
OF THE MONOCHROMATIC URBAN COLOURISTIC DYNAMICS**

©Грибер Ю. А.

д-р культурологии

Смоленский государственный университет

г. Смоленск, Россия, [julia\\_griber@mail.ru](mailto:julia_griber@mail.ru)

©Griber Yu.

Dr. habil.

Smolensk State University

Smolensk, Russia, [julia\\_griber@mail.ru](mailto:julia_griber@mail.ru)

*Аннотация.* Объектом исследования является городская колористика, предметом — прогностическое моделирование ее возможных изменений. Цель работы — применение клеточной модели для изучения динамики монохромной городской колористики, главный принцип которой — использование в оформлении как можно большего количества архитектурных фасадов населенного пункта одного и того же цвета. В исследовании использовалась готовая модель клеточного автомата, созданная с помощью приложения NetLogo. В настройках задавались параметры, соответствующие статистическим данным города Нойштадта (Германия). Модель позволяла контролировать размеры матрицы и временной горизонт, скорость изменений, начальное соотношение домов определенного цвета. Эволюция системы рассматривалась для матриц размером 44 на 44, 20 на 20 и 10 на 10, на временном горизонте в 100 тактов. Применение клеточной модели позволило значительно расширить границы анализа городской колористики. Полученные эмпирические данные дали возможность выявить существенные характеристики механизмов развития монохромной модели городской колористики и определить их темп. С помощью клеточного автомата были установлены пороговые значения, запускающие принципиально различные типы адаптации новой цветовой традиции и выявлена их зависимость от выбора расположения перекрашенных по-новому построек в цветовом поле города. В перспективе применение клеточных автоматов в ходе планирования городской колористики может дать принципиально новые результаты описания механизмов возникновения сложного поведения из простых действий, визуализации происходящих изменений и анализа их будущих состояний.

*Abstract.* The object of the study is urban colour, and its subject is the predictive modelling of its possible changes. The aim of the work is the application of a cellular model for the study of the dynamics of the monochromatic urban colourists, the main principle of which is the replication of the same colour in the design of as many architectural facades of a locality as possible. The study used a ready-made cellular automaton model created in the NetLogo multi-agent programmable modelling environment. In the settings, the parameters corresponding to the statistical data of the city of Neustadt (Germany) were set. The model made it possible to control the dimensions of the

matrix and time horizon, the rate of change, the initial ratio of houses of a certain colour. The evolution of the system was considered for matrices measuring 44 by 44, 20 by 20 and 10 by 10, at a time horizon of 100 cycles. The application of the cellular model allowed to significantly expand the boundaries of the analysis of urban colourists. The obtained empirical data made it possible to reveal the essential characteristics of the mechanisms of development of a monochrome model of urban colouristic and determine their tempo. With the help of the cellular automaton, threshold values were established that triggered fundamentally different types of adaptation of the new colour tradition and revealed their dependence on the choice of the location of the redecorated buildings in the city's colour field. In the future, the use of cellular automata in the urban colour planning can provide fundamentally new results describing the mechanisms of the emergence of complex behaviour from simple actions, visualizing the changes that occur and analysing their future states.

*Ключевые слова:* клеточное моделирование, клеточный автомат, цвет, город, городская колористика, монохромная колористика, прогностическое моделирование.

*Keywords:* cellular modelling, cellular automata, colour, city, urban colourists, monochromatic colourists, predictive modelling.

Современная практика проектирования городского пространства переживает кардинальное изменение сущности и механизмов сопровождающего этот процесс моделирования (см., напр.: [1–4]). Наиболее востребованным оказывается прогностическое математическое моделирование, которое описывает будущее поведение объекта и дает представление о возможных изменениях, к которым может привести то или иное воздействие на него. Этот вид моделирования позволяет сформулировать гипотезы о динамике социокультурных процессов, изучить модель в серии экспериментов, при которых специально меняются условия, а затем перенести результаты исследования на оригинал и использовать их для его преобразования или управления им.

Отражая количественные характеристики явлений, математическое моделирование помогает раскрыть их качественную специфику и перейти от сложной конкретной реальности к ее абстракции, которая легче поддается анализу. Например, имитируя городское пространство, в математической модели можно не учитывать часть информации: нет необходимости выдерживать размеры сооружений, соблюдать точное расположение зданий в плане города и т. д. Это дает существенный выигрыш во времени и стоимости и позволяет применять моделирование для изучения таких явлений, эмпирическое исследование которых в силу каких-то причин затруднено.

В последнее время в практике применения математических моделей в изучении социокультурных исследований наметилась еще одна тенденция: поворот от «жестких» лабораторных экспериментов к значительно более реалистичным, «мягким» и доступным [5, с. 222], позволяющим широкому кругу теоретиков и практиков самостоятельно формализовать содержательные модели, проводить их исследование и прогнозировать будущие состояния, опираясь не на сложный математический аппарат, а на современные компьютерные технологии визуализации информации.

К числу подобных «мягких» методов относятся иконологические, одним из основных инструментов которых является клеточное моделирование. Доступность и универсальность клеточных моделей, впервые описанных в работе Дж. фон Неймана [6], довольно быстро вывела их за пределы естественных наук и сделала актуальными и востребованными в прикладных исследованиях широкого спектра социокультурных явлений. В последние

десятилетия описаны клеточные модели расовой сегрегации при выборе места жительства [7; 8], модели процесса распространения новостей и инноваций [9], модели динамики электоральных предпочтений [10], модели изменения городских территорий [11–13].

Вместе с тем, приходится признать, что практика клеточного моделирования в социальных науках ограничивается сложностью формализации отдельных объектов. Возможно, этим объясняется тот факт, что, несмотря на актуальность и востребованность подобной практики для изучения городской колористики, в этой области клеточные автоматы до сих пор практически не применялись. Единственной попыткой стало исследование японских ученых Т. Ишида и Х. Танака [14], которые однако использовали многоагентное моделирование исключительно для оценки психологических характеристик городской колористики, оставив за рамками своего внимания прогнозирование динамики цветовых изменений, которая стала объектом нашего исследования.

Мы поставили перед собой задачу, используя «мягкие» математические методы и современные компьютерные технологии визуализации, восполнить образовавшийся пробел: применить клеточную модель для изучения динамики городской колористики и с ее помощью проверить две основных гипотезы.

(1) Установить, существуют ли некоторые пороговые значения, способные «запустить» механизм «цепной реакции» изменения городской колористики.

(2) Понять, зависят ли модели адаптации новой цветовой традиции от выбора расположения перекрашенных по-новому построек в цветовом поле города.

#### *Материал и методика*

Материалом исследования стала монохромная модель городской колористики, главный принцип которой — использование в оформлении как можно большего количества архитектурных фасадов населенного пункта одного и того же цвета. В истории развития городских поселений эта модель имела несколько принципиально различных вариантов (см. подробнее [15]). «Эволюционный» вариант практически исключал управляющее воздействие, поскольку предлагал долгий путь естественного развития колористики поселения, хроматическая основа которого поступательно изменялась под влиянием географических или культурных факторов. «Искусственный» вариант модели являлся слишком агрессивным по отношению к сложившейся цветовой культуре, предполагая практически мгновенную, намеренную и резкую, замену существующей цветовой традиции на монохромную. Наиболее интересным с точки зрения развития теории цветового проектирования городского пространства оказался «смешанный» вариант монохромной модели, который совместил в себе «искусственный» механизм «вживления» новой колористики с естественным способом дальнейшего развития новой цветовой традиции в городской ткани. Как и в «искусственной» модели, в этом случае монохромная колористика тоже не появлялась сама, а вводилась в уже существующее цветовое поле города, однако при этом она не заполняла его все целиком, а присутствовала в нем лишь в виде небольших вкраплений. Цветовые изменения в этом варианте затрагивали не все городское пространство, а только отдельные постройки в расчете на то, что дальше включится естественный механизм развития цветовой традиции, и новая колористика сама распространится на большое количество жилых объектов, до неузнаваемости изменяя сложившийся цвет поселения. Известные примеры применения описанной модели в практике цветового проектирования (например, в городе Титизее–Нойштадт (Германия) [16, с. 300]) дают все основания полагать, что вводимая монохромная колористика со временем имеет хорошие шансы «прижиться» в сложившейся цветовой культуре города, постепенно

став естественной. Тем не менее, динамика развития модели до сих пор ни разу не становилась предметом самостоятельного исследования.

В исследовании использовалась готовая модель клеточного автомата [17], созданная с помощью приложения NetLogo [18]. Модель представляет собой дискретную динамическую систему, состоящую из соединенных между собой одинаковых клеток, которые вместе образуют сеть (решетку), а состояние каждой клетки определяется состоянием соседних клеток. Работа модели строится на достаточно простых и традиционных для клеточного автомата правилах [19], которые регулируют одновременное изменение значений всех клеток после вычисления нового состояния каждой клетки, поддерживают однородность решетки (правила изменения состояний для всех клеток одинаковы), определяют локальность взаимодействий (на клетку могут повлиять только клетки из ее окрестности) и конечность множества состояний клетки.

Необходимая для успешного клеточного моделирования формализация городской колористики проводилась на основе анализа документации цветового проектирования городского пространства [16] и результатов проективного социально–психологического эксперимента [20–21].

В настройках приложения использовались параметры, соответствующие статистическим данным города Нойштадта [22]. Матрица имитировала жилой городской район и задавалась двумерным массивом. Каждая ячейка имела восемь соседей и соответствовала частному дому, расположенному в одном из жилых кварталов города. Все ячейки могли принимать 2 значения, которые выражались с помощью условного цвета — синего или зеленого. Зеленый цвет ячейки обозначал, что дом перекрашен по новым правилам. Синий цвет показывал, что дом имеет цвет, соответствующий старой традиции.

Настройки модели позволяли изменять размеры матрицы и временной горизонт, контролировать скорость изменений, задавать начальное соотношение домов определенного цвета.

Эволюция системы рассматривалась для матриц размером 44 на 44, 20 на 20 и 10 на 10, на временном горизонте в 100 тактов.

### *Результаты и их обсуждение*

При стартовом состоянии, когда пространство города моделировала матрица размером 44 на 44 клетки, а исходное соотношение старой и новой колористики соответствовало состоянию 2013 года [22], и 60 из 2000 домов (3%) было «перекрашено» в новый цвет (Рисунок, слева), система стабилизировалась за несколько тактов, полностью вытесняя все цветовые нововведения. В «рассеянном» виде новая монохромная колористика не вызывала «цепной реакции» и не воспроизводилась за счет конформного поведения жителей.

В следующих сериях устойчивость монохромной колористики проверялась при более концентрированном расположении в городском пространстве такого же количества (3%) перекрашенных по-новому построек. Эволюция системы рассматривалась для матриц меньшего размера, которые теперь имитировали не весь город в целом, а отдельные его части.

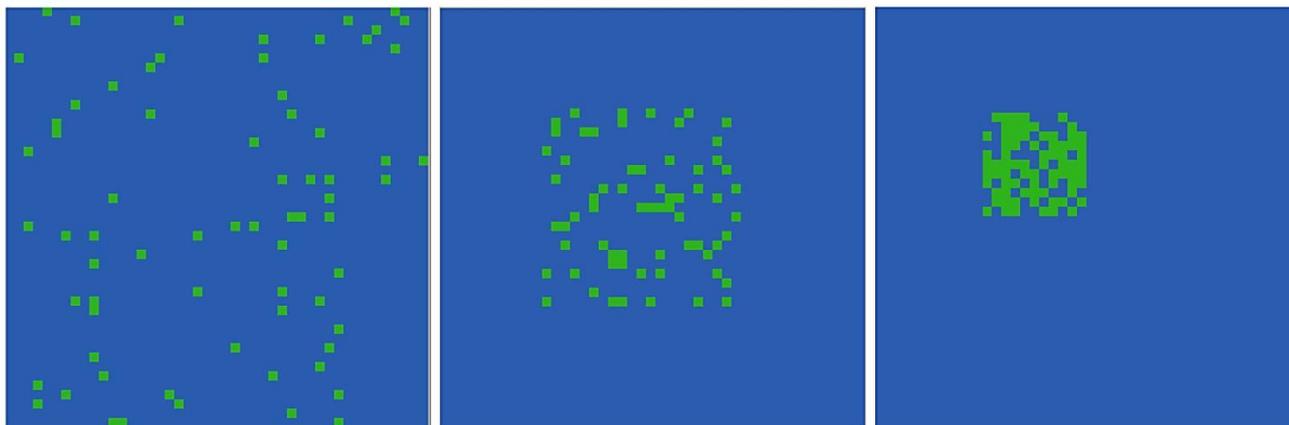


Рисунок. Исходное состояние матрицы при разной степени концентрации окрашенных по-новому построек. Имитация изменения цвета 3% фасадов зданий города

Небольшой жилой район моделировался с помощью матрицы 10 на 10 ячеек (Рисунок, справа). При количестве перекрашенных по-новому домов 0–30% система стабилизировалась за несколько тактов, полностью вытесняя все цветовые нововведения. Новая колористика могла сохраниться только при увеличении количества перекрашенных домов до 40%. В этом случае система стабилизировалась за 3–10 тактов, в большинстве случаев не вытесняя новую традицию. Однако количество домов с новым цветом при этом не увеличивалось. Примерно такой же механизм действовал и тогда, когда перекрашена была половина существующих построек района.

Пороговым значением, которое запускало принципиально другую модель адаптации новой колористики, стало 60% перекрашенных зданий. В этом случае происходило сокращение времени стабилизации и сохранение существующей пропорции в цветовом образе района. Обязательное вытеснение старой цветовой традиции за несколько тактов наблюдалось при 70% окрашенных по-новому зданий.

В жилом районе с большим количеством зданий, который в исследовании имитировала матрица 20 на 20 ячеек (Рисунок, в центре), механизм адаптации был несколько иным. Как и в небольшом районе, новая колористика вытеснялась за несколько тактов, если количество перекрашенных зданий не превышало 30%. Однако, в отличие от маленького района, даже при увеличении количества построек с новой колористикой до 40% нововведение отторгалось, и старая колористика достаточно быстро практически полностью восстанавливалась. В случае перекраски половины всех домов жилого района новая колористика сохранялась, но не распространялась на весь массив.

Пороговые значения, запускающие принципиально иную модель, при увеличении количества построек не изменились. В большом поле при 60% перекрашенных зданий всегда сохранялась существующая цветовая пропорция. Однако при этом наблюдалось значительное увеличение времени реакции по сравнению с полем меньшего размера. Если маленькое поле стабилизировалось в среднем за 5–7 тактов, то большому на это требовалось примерно в три раза больше времени. При 70%, так же как и в маленьком районе, за несколько тактов происходила обязательная смена цветовой традиции.

### Выводы

Полученные данные, по-новому представляя механизмы развития монохромной модели городской колористики, позволили эмпирически оценить их существенные характеристики и темп.

*Во-первых*, было установлено, что выбор расположения перекрашенных по-новому построек оказывает достаточно заметное влияние на модель смены цветовой традиции. При наибольшей концентрации в маленьком поле время реакции на цветовые инновации было минимальным. При увеличении дистанции между окрашенными по-новому зданиями — в отдельных случаях возрастало до нескольких десятков тактов.

*Во-вторых*, клеточный автомат позволил определить пороговые значения, запускающие принципиально другие модели адаптации новой колористики. Оказалось, что перекраска по новым правилам менее трети построек района не может вытеснить старую цветовую традицию. Для того, чтобы произошла смена цветовой традиции, необходимо перекрасить по новым правилам не менее 60% построек района, вне зависимости от его размера.

*В целом*, клеточное моделирование, которое в последнее время достаточно успешно используется в прогнозировании различных социальных процессов, позволяет значительно расширить возможности анализа городской колористики. В перспективе применение клеточных автоматов в этой сфере может дать принципиально новые результаты описания механизмов возникновения сложного поведения из простых действий, визуализации происходящих изменений и анализа их будущих состояний.

*Публикация подготовлена в рамках поддержанного РФФИ научного проекта № 15-03-00733.*

### Список литературы:

1. Жуков Д. С., Канищев В. В., Лямин С. К. Фрактальное моделирование историко-демографических процессов. Тамбов: Ineternum; Издательский дом ТГУ, 2011. 195 с.
2. Розин В. М. Развитие и особенности проектирования - основной технологии архитектурной и градостроительной деятельности // Урбанистика. 2015. №3. С. 65-108. Режим доступа: [http://e-notabene.ru/urb/article\\_16489.html](http://e-notabene.ru/urb/article_16489.html) (дата обращения: 17.08.2017).
3. Batty M. The New Science on Cities. Cambridge MA: The MIT Press, 2013. 520 p.
4. Thalheim B., Nissen I. [Hrsg.] Kunst der Modellierung. Kiefer Zugang zur Definition, Nutzung und Zukunft. Berlin; Boston: De Gruyter, 2015. 641 p.
5. Плотинский Ю. М. Модели социальных процессов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Логос, 2001. 296 с.
6. Фон Нейман Дж. Теория самовоспроизводящихся автоматов. М.: Либроком, 2010. 384 с.
7. Benenson I. E. et al. From schelling to spatially explicit modeling of urban ethnic and economic residential dynamics // Sociological Methods and Research. 2009. V. 37. №4. P. 463-497.
8. Wang Y. Beyond preference: Modelling segregation under regulation // Computers, Environment and Urban Systems. 2015. V. 54. P. 388-396.
9. Bhargava et al. A Stochastic Cellular Automata. Model of Innovation Diffusion // Technological Forecasting and Social Change. 1993. V. 44. № 1. P. 87-97.
10. Ландэ Д. В., Фурашев В. Н. Моделирование электоральных процессов на основе концепции клеточных автоматов // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. Вып. 36. Харьков: НАКУ, 2007. С. 123-128.

11. Verburg P. H., Overmars K. P. Dynamic Simulation of Land-Use Change Trajectories with the Clue-S Model // *Modelling Land-Use Change, Progress and Applications* / eds. E. Koomen, J. Stillwell, A. Bakema, H. J. Scholten. Houten: Springer, 2007. P. 321-337.
12. Wu N., Silva E. A. Artificial Intelligence solutions for Urban Land Dynamics: A Review // *Journal of Planning Literature*. 2010. №24. P. 246-265.
13. Kumar U., Mukhopadhyay C., Ramachandra T. V. Cellular Automata Calibration Model to Capture Urban Growth // *Boletin Geologico y Minero*, 2014. V. 125. №3. P. 285-299.
14. Ishida T., Tanaka H. Simulation of Emerging Color Arrangement of Cityscape and Psychological Evaluation // *Colour - Effects & Affects*. AIC 2008 Interim Meeting. Stockholm, 2008. P. 57.
15. Грибер Ю. А. Монохромная модель городской колористики // *Урбанистика*. 2017. №2. С. 58-64 Режим доступа: [http://e-notabene.ru/urb/article\\_22749.html](http://e-notabene.ru/urb/article_22749.html) (дата обращения: 17.08.2017).
16. Грибер Ю. А. История цветового проектирования городского пространства: сборник документов и материалов. Смоленск: Изд-во СмолГУ, 2015. 350 с.
17. Wilensky U., Rand W. *Introduction to Agent-Based Modeling: Modeling Natural, Social and Engineered Complex Systems with NetLogo*. Cambridge: MIT Press, 2015. 504 с.
18. Wilensky U. *NetLogo*. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL, 1999. Режим доступа: <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/> (дата обращения: 17.08.2017).
19. Наумов Л. А., Шальто А. А. Клеточные автоматы. Реализация и эксперименты // *Мир ПК*. 2003. №4. С. 64-71.
20. Грибер Ю. А., Йошизава Й. Доминанты цветовых выборов в городском пространстве (опыт экспериментального исследования) // *Известия Смоленского государственного университета*. 2011. №1 (13). С. 270-283.
21. Грибер Ю. А., Йошизава Й. Компаративный анализ цветовых предпочтений в городских пространствах России и Японии // *Известия Смоленского государственного университета*. 2011. №2 (14). С. 362-372.
22. *Statistische Berichte Baden-Württemberg. Bevölkerung und Erwerbstätigkeit*. Artikel-Nr. 3126 11001. 16.08.2012. 31 s.

#### References:

1. Zhukov, D. S., Kanishchev, V. V., & Lyamin, S. K. (2011). *Fraktalnoe modelirovanie istoriko-demograficheskikh protsessov (Fractal modeling of historical and demographic processes)*. Tambov, Ineternum; TGU, 195
2. Rozin, V. M. (2015). *Razvitie i osobennosti proektirovaniya - osnovnoy tekhnologii arkhitekturnoy i gradostroitelnoy deyatelnosti (Development and defining characteristics of architectural design - the main technology of architecture and urban planning)*. *Urbanistika*, (3), 65-108
3. Batty, M. (2013). *The New Science on Cities*. Cambridge MA, The MIT Press, 520
4. Thalheim, B., Nissen, I. (2015). *Kunst der Modellierung. Kiefer Zugang zur Definition, Nutzung und Zukunft*. Berlin; Boston, De Gruyter, 641
5. Plotinskiy, Yu. M. (2001). *Modeli sotsialnykh protsessov (Models of social processes)*, 2nd ed. Moscow, Logos, 296
6. Von Neyman, J. (2010). *Teoriya samovosproizvodyashchikhsya avtomatov (Theory of self-reproducing automata)*. Moscow, Librokom, 384

7. Benenson, I. E., & al. (2009). From schelling to spatially explicit modeling of urban ethnic and economic residential dynamics. *Sociological Methods and Research*, 37, (4), 463-497
8. Wang, Y. (2015). Beyond preference: Modelling segregation under regulation. *Computers, Environment and Urban Systems*, 54, 388-396
9. Bhargava, & al. (1993). A Stochastic Cellular Automata. Model of Innovation Diffusion. *Technological Forecasting and Social Change*, 44, (1), 87-97
10. Lande, D. V., & Furashev, V. N. (2007). Modelirovanie elektoralnykh protsessov na osnove kontseptsii kletochnykh avtomatov (Modeling of electoral processes on the basis of the concept of cellular automata). *Otkrytye informatsionnye i kompyuternye integrirovannye tekhnologii*, 36, Kharkov, NAKU, 123-128
11. Verburg, P. H., & Overmars, K. P. (2007). Dynamic Simulation of Land-Use Change Trajectories with the Clue-S Model. *Modelling Land-Use Change, Progress and Applications*. Eds. E. Koomen, J. Stillwell, A. Bakema, H. J. Scholten. Houten, Springer, 321-337
12. Wu, N., & Silva, E. A. (2010). Artificial Intelligence solutions for Urban Land Dynamics: A Review. *Journal of Planning Literature*, (24), 246-265
13. Kumar, U., Mukhopadhyay, C., & Ramachandra, T. V. (2014). Cellular Automata Calibration Model to Capture Urban Growth. *Boletín Geológico y Minero*, 125, (3), 285-299
14. Ishida, T., & Tanaka, H. (2008). Simulation of Emerging Color Arrangement of Cityscape and Psychological Evaluation. *Colour - Effects & Affects*. AIC 2008 Interim Meeting. Stockholm, 57
15. Griber, Yu. A. (2017). Monokhromnaya model gorodskoy koloristiki (Monochromatic model of urban coloristics). *Urbanistika*, (2), 58-64
16. Griber, Yu. A. (2015). Istoriya tsvetovogo proektirovaniya gorodskogo prostranstva: sbornik dokumentov i materialov (History of color design of urban space: a collection of documents and materials). Smolensk, SmolGU, 350
17. Wilensky, U., & Rand, W. (2015). Introduction to Agent-Based Modeling: Modeling Natural, Social and Engineered Complex Systems with NetLogo. Cambridge, MIT Press, 504
18. Wilensky, U. (1999). NetLogo. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL
19. Naumov, L. A., & Shalyto, A. A. (2003). Kletochnye avtomaty. Realizatsiya i eksperimenty (Cellular automata. Implementation and Experiments. Mir PK, 4, 64-71
20. Griber, Yu. A., & Yoshizava, Y. (2011). Dominanty tsvetovykh vyborov v gorodskom prostranstve: opyt eksperimentalnogo issledovaniya (Dominants of color preferences in city space: experimental research experience). *Izvestiya Smolenskogo gosudarstvennogo universiteta*, (1), 270-283
21. Griber, Yu. A., & Yoshizava, Y. (2011). Komparativnyy analiz tsvetovykh predpochteniy v gorodskikh prostranstvakh Rossii i Yaponii (Comparative analysis of color preferences in urban spaces of Russia and Japan). *Izvestiya Smolenskogo gosudarstvennogo universiteta*, (2), 362-372
22. Statistische Berichte Baden-Württemberg. Bevölkerung und Erwerbstätigkeit. Artikel-Nr. 3126 11001, 16.08.2012, 31

Работа поступила  
в редакцию 29.07.2017 г.

Принята к публикации  
02.08.2017 г.

*Ссылка для цитирования:*

Грибер Ю. А. Клеточное моделирование динамики монохромной городской колористики // Бюллетень науки и практики. Электрон. журн. 2017. №9 (22). С. 150-158. Режим доступа: <http://www.bulletennauki.com/griber> (дата обращения 15.09.2017).

*Cite as (APA):*

Griber, Yu. (2017). Cellular modelling of the monochromatic urban colouristic dynamics. *Bulletin of Science and Practice*, (9), 150-158