

УДК 711.4:517.938 (571.14)

<https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-1-123-130>

Использование фрактального анализа для оценки устойчивости планировочной структуры города Новосибирска

О. Н. Николаева^{1, 2✉}

¹ Московский государственный университет геодезии и картографии, г. Москва, Российская Федерация

² Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация

e-mail: onixx76@mail.ru⁶

Аннотация. Для современных городов характерна сложная пространственная структура, сочетающая в себе площадные и линейные объекты различной иерархии. Рациональность городской планировки является важным условием устойчивого развития города как системы, и для ее оценки используются различные подходы и методы. В статье изложен опыт использования фрактального анализа для изучения устойчивости планировочной структуры г. Новосибирска. В качестве оценочного показателя использовалась фрактальная размерность планировочной структуры г. Новосибирска. Обоснован выбор Новосибирска как объекта исследования. Перечислены основные недостатки его планировочной структуры. Изложены основные этапы создания картографического обеспечения для фрактального анализа особенностей территориальной структуры г. Новосибирска в среде ГИС. Рассмотрены особенности картографирования пространственно-временной динамики границ города по разновременным картографическим источникам. В ГИС QGIS создана карта, отображающая пространственно-временную динамику границ городской застройки г. Новосибирска за период с 1906 по 2021 г. Определен порядок расчета фрактальной размерности периметра городской застройки в ГИС QGIS с помощью модуля Minkowski Dimension Calculator. Определен фрактальный уровень развития Новосибирска. Сделаны выводы о возможности использования показателя фрактальной размерности городской территории для выявления участков и направлений, в которых экстенсивный рост должен смениться интенсивным.

Ключевые слова: планировочная структура, картографическое обеспечение территориального планирования, картографирование городской территории, фрактальный подход, фрактальный анализ городской территории

Для цитирования:

Николаева О. Н. Использование фрактального анализа для оценки устойчивости планировочной структуры города Новосибирска. *Вестник СГУГиТ*. 2026. Т. 31, № 1. С. 123–130. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-1-123-130>

Fractal analysis of the sustainability of Novosibirsk's urban planning structure

O. N. Nikolaeva^{1, 2✉}

¹ Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russian Federation

² Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

e-mail: onixx76@mail.com

Abstract. Contemporary cities exhibit complex spatial structures integrating areal and linear features across multiple hierarchical levels. The rationality of urban planning is a critical prerequisite for sustainable urban development, evaluated through diverse methodological approaches. The study presents the application of fractal analysis to assess the sustainability of Novosibirsk's urban planning structure, employing fractal dimension as the key metric. Novosibirsk was selected as the study area due to its pronounced deficiencies in urban layout. The methodology encompasses key stages of GIS-based cartographic preparation for fractal analysis of the city's territorial structure. This includes mapping the spatiotemporal dynamics of urban boundaries using multitemporal cartographic sources. A map was generated in QGIS illustrating the spatiotemporal evolution of Novosibirsk's built-up area boundaries from 1906 to 2021. Fractal dimension of the urban perimeter was computed in QGIS via the Minkowski Dimension Calculator plugin, enabling determination of the city's fractal development level. The findings demonstrate the utility of fractal dimension as an indicator for identifying zones and development directions where extensive growth should transition to intensive development.

Keywords: planning structure, cartographic support for territorial planning, mapping of urban territory, fractal approach, fractal analysis of urban territory

For citation:

Nikolaeva O. N. (2026). Fractal analysis of the sustainability of Novosibirsk's urban planning structure. *Vestnik SSUGiT [Vestnik SSUGT]* Vol. 31, No. 1. pp. 123–130. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-1-123-130>

Введение

Рациональная планировка городской территории – это необходимое условие устойчивого развития населенного пункта как целостной урбосистемы, органично сочетающей в себе техногенные и природные элементы (промышленные, селитебные и зеленые зоны, коммуникации, водные пространства и пр.). В настоящее время основным инструментом для рациональной организации внутренней структуры населенного пункта территории являются методы и приемы функционального зонирования и комплексного территориального планирования, регламентируемые рядом строительных и санитарных норм и правил, например, «СП 42.13330.2016. Свод правил. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений»; «Правилами подготовки и утверждения единого документа территориального планирования и градостроительного зонирования поселения, муниципального округа, городского округа, внесения в него изменений», «Методическими рекомендациями по подготовке проектов схем территориального планирования субъектов Российской Федерации».

С увеличением площади населенного пункта процессы территориального планирования значительно усложняются и требуют сбора и обработки значительных массивов разнородных исходных данных. Эти данные либо изначально имеют пространственную (координатную) привязку, либо могут быть геопривязаны относительно существующих объектов местности. Поэтому для решения задач территориального планирования в настоящее время активно привлекаются геоинформационные системы (ГИС) и технологии геоинформационного картографирования.

Достигнув статуса города, населенный пункт, естественно, не останавливается в своем развитии, но продолжает расти как экстенсивно, так и интенсивно. В связи с этим встает вопрос о контроле качества городской среды, оценке рациональности композиции и цельности структуры города и мониторинге изменений города как архитектурного комплекса. С формальной точки зрения внутреннее устройство городской структуры (и вообще структуры населенного пункта) должно соответствовать разработанному и утвержденному генеральному плану. Однако на процесс застройки города влияет множество природных, экономических и социальных

факторов, что дает основание рассматривать город как нелинейную динамическую систему, которой свойственны явления динамического хаоса [1]. Одним из эффективных инструментов изучения и контроля состояния таких систем является фрактальный анализ, позволяющий оценить степень сложности пространственных структур и найти их устойчивые состояния.

Объект исследования

В качестве объекта исследования был выбран город Новосибирск – крупный промышленный центр, расположенный в Западной Сибири на р. Обь. Новосибирск – это молодой город, современная пространственная структура которого была заложена в 30-х – 40-х гг. XX в. Он занимает весьма обширную территорию – 502,7 км² на 1 января 2024 г. [2]. Характерной особенностью Новосибирска является его разделение на левобережную и правобережную части протекающей через город рекой Обь.

Функциональная структура Новосибирска обладает целым рядом недостатков и несовершенств, в разные годы подробно описанных различными авторами [3–6] и в целом сводящихся к следующему:

- мозаичность городской застройки, хаотично сочетающей участки многоэтажные, малоэтажные и промышленные здания (в значительной степени это обусловлено тем, что во время Великой Отечественной войны Новосибирск стал одним из пунктов назначения эвакуации большого количества промышленных предприятий, расположенных в западной части СССР);

- малое количество зеленых зон, в целом не увязанных в единую систему городского экологического каркаса. Соответствие показателей озеленения на душу населения установленным нормам во многом обеспечивается путем присовокупления к общей площади городского озеленения большой особо охраняемой территории «Заельцовский бор», которая находится на северной окраине города и малодоступна для большинства горожан;

- транспортная разобщенность правого и левого берегов Новосибирска, обусловлен-

ная наличием реки Обь. До 2014 г. город был вынужден обходиться только тремя железнодорожными и тремя автомобильными мостами, что крайне негативно сказывалось на организации городского движения.

Все вышесказанное делает Новосибирск весьма интересным и показательным объектом с точки зрения исследования закономерностей развития его планировочной структуры методом фрактального анализа.

Материалы и методы

Для определения фрактальной размерности планировочной структуры г. Новосибирска было необходимо собрать и изучить исходные данные об особенностях конфигурации и структуры городской территории в разные годы его развития.

Для получения сведений о пространственно-временной динамике городской застройки использовалась серия общегеографических карт на г. Новосибирск, представленных в свободном доступе на картографических сервисах интернета (сайты etomesto.ru и retromap.ru), коллекция картографических документов мультимедийного архива Новосибирской области [7], а также современный генеральный план г. Новосибирска, представленный на официальном портале городской администрации [8]. Был рассмотрен исторический картографический материал, представленный в атласе «Новосибирск: весь и веси» [9], созданном в 1998 г. кафедрой картографии и геоинформатики Сибирской государственной геодезической академии. В изучении пространственных особенностей развития Новосибирска в его ранние годы (90-е гг. XIX в. – 20-е гг. XX в.) важную роль также сыграли результаты исследований старшего научного сотрудника Новосибирского краеведческого музея Натальи Алексеевны Мининой [10, 11], которые позволили конкретизировать представления об особенностях городской планировки Новосибирска на стыке XIX и XX вв. Комплексирование собранных картографических документов выполнялось в ГИС QGIS. Масштаб использованных карт варьировался от 150 саженей в английском дюйме (1 : 12 600) для карт, со-

ставленных до 1917 г., до 1 : 50 000 (для карт, составленных в советскую и постсоветскую эпоху). Работы в QGIS выполнялись при установленном масштабе карты в рабочем окне 1 : 25 000.

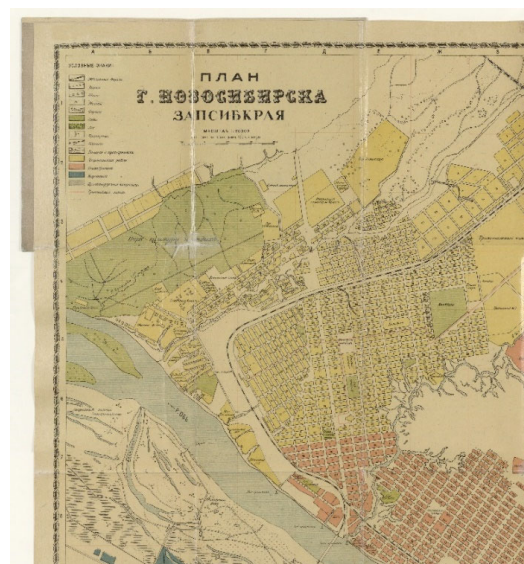
Дальнейшие исследования опирались на метод оценки фрактальной размерности планировочной структуры крупного города. Определялась и анализировалась фрактальная размерность кривых, отображающих контуры застроенных территорий Новосибирска в разные годы, поскольку данный показатель «является универсальным индикатором состояния сложной системы» [12]. Вычисления выполнялись в ГИС QGIS с применением модуля «Фрактальная размерность Минковского» (Minsowki-Bouligand dimension, также называемая box-counting dimension).

Результаты и обсуждение

Сбор и систематизация исторических карт Новосибирска позволил выбрать для исследования ряд произведений, характеризовавшихся относительно высокой сохранностью и графическим качеством. Были использованы авторитетные картографические источники (архивные копии генеральных планов, а в послевоенные годы – общегеографические карты Новосибирска, составленные и изданные ГУГК), отображающие территорию города в следующие годы: 1906, 1915, 1924, 1935, 1955, 1975, 1992. Современная конфигурация городской застройки определялась с использованием картографических материалов Яндексa, загруженных в QGIS в виде растровой подложки, уже имеющей геопривязку.

Геопривязка и векторизация собранных картографических материалов выполнялась в ГИС QGIS. Поскольку исходные данные представляли собой бумажные карты, составленные в разных проекциях и отсканированные с разной степенью точности и качества, зачастую границу городской застройки приходилось восстанавливать посредством визуального анализа, ориентируясь по сети городских улиц. При этом в задачи векторизации не входило отображение общего контура города, выделенного административно (так называемых границ муниципального образо-

вания), так как соответствующая граница появляется на картах Новосибирска лишь в послевоенные годы; до этого генеральные планы города отображали только квартальную планировку города (рис. 1), и решение ограничиться отображением границ муниципалитета повлекло бы за собой вынужденную отбраковку всех довоенных карт города.



а)



б)

Рис. 1. Отображение территории Новосибирска:

а) на довоенной карте (1935 г.); б) на послевоенной карте (1992 г., граница муниципального образования показана линейным условным знаком розового цвета)

Таблица 1

Динамика размерности Минковского для границ городской застройки Новосибирска

Год	Значение размерности Минковского
1906	1,283
1915	1,336
1924	1,412
1935	1,516
1955	1,446
1975	1,478
1992	1,507
2021	1,519

С учетом вышесказанного, основной задачей векторизации было передать пространственную неоднородность территории Новосибирска, заключающуюся в значительно разобщенности отдельных массивов городской застройки. На рис. 2 приведены результаты векторизации разновременных карт города.

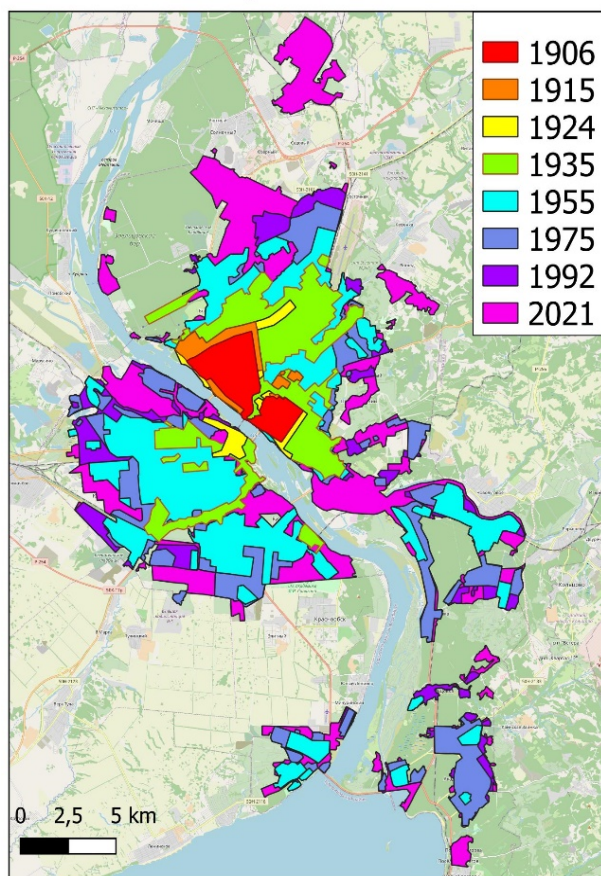


Рис. 2. Пространственно-временная динамика прироста территории г. Новосибирска

Далее с применением модуля Minkowski Dimension Calculator был выполнен расчет размерности Минковского для периметра полигонов, выражавших конфигурацию застроенной территории Новосибирска на каждый выбранный год. При выборе размеров начальной и конечной ячеек учитывался размер Новосибирска в соответствии с рекомендациями, приведенными в [12]. Число шагов от начального размера к конечному составляло 10. Результаты расчетов представлены в табл. 1.

Согласно [13], фрактальная размерность периметра городской застройки выражает степень его изрезанности и, соответственно, фрагментированности застройки. Значение фрактальной размерности может колебаться от 1 до 2, при этом чем оно ближе к единице, тем более «монолитной» является городская застройка, тем меньше в данном городе периферийных эксклавов, зачастую характеризующихся низкой транспортной доступностью и недостаточно развитой социально-культурно-бытовой инфраструктурой. Напротив, близкое к 2 значение фрактальной размерности периметра городской застройки свидетельствует о значительном пространственном расчленении городской структуры, которое логично влечет за собой усложнение конфигурации дорожной сети, снижение транспортной доступности периферийных районов, ухудшение качества жизни значительной части городского населения, вынужденной тратить больше времени на перемещение по городу.

Как видно из табл. 1, изрезанность периметра городской застройки Новосибирска стабильно возрастает. Значительный скачок с 1,412 до 1,516 произошел в 1930-х гг., когда в планировке города появилась левобережная часть; в течение последующих лет город застраивался достаточно планомерно и плотно, что привело к относительной компенсации пространственной неоднородности, обусловленной разделением города рекой Обь на 2 части. Даже формирование Академгородка, расположенного на значительном расстоянии от основного пятна застройки, не оказало значительного воздействия на изрезанность

периметра. Однако в 1990-х гг. размерность Минковского превысила 1,5 и в настоящее время имеет тенденцию к дальнейшему росту. Причиной этого является активная градостроительная политика, осуществляемая за счет застройки пригородной зоны многочисленными многоэтажными жилыми массивами, удаленными от основной территории

города и слабо связанными с ней в транспортном отношении.

Для большинства крупных городов мира фрактальная размерность составляет около 1,7 [14, 15]. Согласно классификации, представленной в работе [15], всего выделяется 5 фрактальных уровней развития городов (табл. 2).

Таблица 2

Фрактальные уровни развития городов (по Encarnacao Sara et al, [15])

Уровень фрактального развития города	Фрактальная размерность D	Особенности города
1-й	$D \leq 1$	Относительно компактное поселение с преобладанием сельского или лесного хозяйства в экономике города
2-й	$1,00 < D \leq 1,26$	Пространственная непрерывность застройки нарушена, в черте города уже сформировалось несколько ядер застройки
3-й	$1,26 < D \leq 1,54$	Дальнейшее разрастание существующих и появление новых ядер городской застройки
4-й	$1,54 < D \leq 1,78$	Начало стагнации процесса застройки
5-й	$1,78 < D \leq 2,00$	Городом полностью исчерпаны возможности роста, прирост новой застройки сильно ограничен

Опираясь на приведенную выше классификацию, можно сделать вывод, что Новосибирск приближается к завершению 3-го уровня фрактального развития своей внутренней структуры, когда экстенсивное развитие городской территории целесообразно заменять интенсивным, в первую очередь – за счет более эффективного функционального зонирования и использования слабо освоенных пространств между ядрами застройки.

Выводы

В развитии любого крупного города неизбежно наступает этап, когда рост его территории вступает в противоречие с качеством жизни местного населения (прежде всего из-за проблем транспортной доступности), и логика городского развития переходит от экстенсивного роста к интенсивному (замена малоэтажной застройки многоэтажной, перемещение под землю объектов транспортной и социально-культурной инфраструктур и пр.). Но при этом интенсивное развитие городской территории требует гораздо больших затрат,

чем экстенсивное, поскольку появляется необходимость сноса уже имеющихся сооружений и коммуникаций. Обоснование концепции перехода города от роста «вовне» к росту «внутри» требует четких качественных и количественных критериев, способных убедить лиц, принимающих решения, в необходимости смены парадигмы. Одним из таких критериев может стать расчет и ранжирование количественного показателя, характеризующего особенности пространственной изрезанности контура городского пятна застройки. В качестве такого показателя рядом исследователей предлагается использовать фрактальную размерность городской территории [1, 12, 13, 16].

Использование геоинформационного картографирования для определения фрактальной размерности городской территории значительно упрощает процесс расчетов, позволяя осуществить его уже существующими и апробированными ГИС-инструментами. Собранные разновременные данные о пространственной конфигурации городской застройки могут быть использованы для оценки фрактальной размерности отдельных городских

районов и массивов, что позволит выявить те участки и направления города, в которых интенсивный рост еще возможен и в которых он должен смениться интенсивным. Именно в этом автору видятся перспективы выполненного исследования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Николаева Е. В. Фракталы городской культуры. М. : Страта, 2014. 390 с.
2. Официальный сайт города Новосибирска. Общая информация о Новосибирске [Электронный ресурс]. URL: <https://novo-sibirsk.ru/about/numbers/>.
3. Оглы Б. И. Новосибирск : от прошлого к будущему. Новосибирск : Новосибирское книжное издательство, 1991. 120 с.
4. Вольская Л. Н., Королев В. В. Эволюция «Градэкологического» каркаса крупного города Сибири на примере г. Новосибирска (конец XIX – начало XXI века). Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2013. № 2 (39). С. 24–33.
5. Духанов С. С. Проблемы формирования благоприятной архитектурно-планировочной среды в городах Западной Сибири в конце 1950-60-х гг. Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21, № 1. С. 101–113.
6. Дубровский А. В., Ершов А. В., Малыгина О. И., Стегниенко Е. С., Колесников А. А., Татаренко В. И. Оценка обеспеченности территории города рекреационными объектами для перспективного планирования организации землепользования. Вестник СГУГиТ. 2023. Т. 28, № 6. С. 86–98. DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-6-86-98
7. Мультимедийный портал Новосибирской области [Электронный ресурс]. URL: <https://archportal.nso.ru>.
8. Официальный сайт города Новосибирска. Генеральный план города [Электронный ресурс]. URL: <https://novo-sibirsk.ru/dep/construction/plan/>.
9. Книга-атлас. Новосибирск: весь и весь: Атлас. Сибирская государственная геодезическая академия. Новосибирск : Полиада про, 2003.
10. Минина Н. А. Первый «Градостроительный» план в истории Новосибирска. Баландинские чтения. 2015. Т. 10, № 1. С. 248-255.
11. Минина Н. А. Образование города Новониколаевска: землеустройство в 1893–1895 гг. Вестник Томского государственного университета. 2015. № 397. С. 147–153.
12. Насонов А. Н., Цветков И. В., Жогин И. М., Кульнев В. В., Репина Е. М., Кирнос С. Л., Звягинцева А. В., Базарский О. В. Фракталы в науках о Земле : учебное пособие : Воронеж, Ковчег, 2018. 77 с.
13. Гущина Е. С., Смогунов В. В. Фрактальная размерность в оценке планировочной структуры крупного города. Современные научные исследования и инновации. 2016. № 2 (58). [Электронный ресурс] URL: <https://web.snauka.ru/issues/2016/02/63202>.
14. Павлов Ю.В. Фракталы как инструмент территориального планирования агломерационных систем. Фундаментальные исследования. 2013. № 10-10. С. 2242–2248.
15. Encarnacao Sara, Gaudiano Marcos, Santos Francisco C., Tenedorio Jose A., Pacheco Jorge M.. Fractal cartography of urban areas. Scientific Reports. Published 24 July 2012. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.nature.com/srep/2012/120724/srep00527/full/srep00527.html> (дата обращения: 15.06.2013).
16. Бабич В. Н., Колясников В. А. Фрактальные структуры в планировке и застройке города. Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2009. № 2. С. 43–45.

REFERENCES

1. Nikolaeva, E. V. (2014). *Fractals of urban culture [Fraktaly gorodskoj kul'tury]*. Moscow: Strata, 2014. 390 p. [in Russian].
2. Official website of the city of Novosibirsk. General information about Novosibirsk. Retrieved from <https://novo-sibirsk.ru/about/numbers/> [in Russian].
3. Ogly, B. I. (1991). *Novosibirsk: from the past to the future [Novosibirsk: ot proshlogo k budushchemu]*. Novosibirsk: Novosibirsk book publishing house, 120 p. [in Russian].

4. Volskaya, L. N., Korolev, V. V. (2013). Evolution of the "Urban Ecological" Framework of a Large Siberian City on the Example of Novosibirsk (late 19th – early 21st Century). *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. [Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering], 2 (39), 24–33 [in Russian].
5. Dukhanov, S. S. (2019). Problems of forming a favorable architectural and planning environment in the cities of Western Siberia in the late 1950-60s. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. [Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering], 21, 1, 101–113 [in Russian].
6. Dubrovsky, A. V., Ershov, A. V., Malygina, O. I., Stegnienko, E. S., Kolesnikov, A. A., Tatarenko, V. I. (2023). Assessment of the provision of the city territory with recreational facilities for long-term planning of land use *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]* 28, 6, 86–98. DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-6-86-98 [in Russian].
7. Multimedia portal of the Novosibirsk region Retrieved from <https://archportal.nso.ru> [in Russian].
8. Official website of the city of Novosibirsk. General plan of the city Retrieved from <https://novosibirsk.ru/dep/construction/plan/> [in Russian].
9. *Book-atlas. Novosibirsk: all and sundry: Atlas [Kniga-atlas. Novosibirsk: ves' i vesi. Atlas]*. Novosibirsk: Poliada pro, 2003 [in Russian].
10. Minina, N. A. (2015). The first "Urban Development" plan in the history of Novosibirsk *Balandinskiye chteniya [Balandin readings]*, 10, 1, 248–255. [in Russian].
11. Minina, N. A. (2015). Formation of the city of Novonikolaevsk: land management in 1893-1895 *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of Tomsk State University]*, 397, 147–153. [in Russian].
12. Nasonov, A. N., Tsvetkov, I. V., Zhogin, I. M., Kulnev, V. V., Repina, E. M., Kirnosov, S. L., Zvyagintseva, A. V., Bazarsky, O. V. (2018). *Fractals in Earth Sciences [Fraktaly v naukah o Zemle]*. Textbook: Voronezh, Kovcheg. 77 p. [in Russian].
13. Gushchina, E. S., Smogunov, V. V. (2016). Fractal dimension in assessing the planning structure of a large city [Fraktal'naya razmernost' v ocenke planirovochnoy struktury krupnogo goroda]. *Modern scientific research and innovation*, 2 (58). Retrieved from <https://web.snauka.ru/issues/2016/02/63202> [in Russian].
14. Pavlov, Yu.V. (2013). Fractals as a tool for territorial planning of agglomeration systems *Fundamental'nyye issledovaniya [Fundamental research]*, 10-10, 2242–2248 [in Russian].
15. Encarnacao, S., Gaudiano, M., Santos Francisco C., Tenedorio Jose A., Pacheco Jorge M. (2012). Fractal cartography of urban areas. *Scientific Reports*. Published 24 July 2012. Retrieved from <http://www.nature.com/srep/2012/120724/srep00527/full/srep00527.html>.
16. Babich, V. N., Kolyasnikov, V. A. (2009). Fractal structures in city planning and development *Akademicheskiiy vestnik UralNIiprojekt RAASN [Academic Bulletin of UralNIiprojekt RAASN]*, 2, 43–45 [in Russian].

Об авторах

Ольга Николаевна Николаева – профессор кафедры картографии МИИГАиК; доктор технических наук, доцент, профессор кафедры экологии и природопользования СГУГиТ.

Author details

Olga Nikolaevna Nikolaeva – D. Sc., Professor of the Department of Cartography of Moscow State University of Geodesy, Geodesy, and Cartography; Associate Professor, Professor of the Department of Ecology and Nature Management of Saratov State University of Geology and Turbine Engineering.

Получено / Received 24.03.2025

Поступила после рецензирования / Revised 23.09.2025

Принята к публикации / Accepted 10.10.2025