

Инфраструктура мест накопления отходов в Москве: территориальная статистика и анализ

Останина Ольга Ивановна — кандидат химических наук, доцент кафедры метрологии и стандартизации, МИРЭА — Российский технологический университет (119454, Россия, г. Москва, проспект Вернадского, д. 78), e-mail: ostanina@mirea.ru

В статье рассматривается применение методов пространственно-территориальной статистики для анализа размещения мест накопления твердых коммунальных отходов в Москве. Исследование актуально для оптимизации инфраструктуры сбора отходов в мегаполисах. С использованием пространственных данных и картографического материала разработан и апробирован алгоритм расчета плотности размещения объектов с привязкой к площади дворовых территорий в разбиении на сетку с шагом 1 км². Результатом стало построение тепловых карт, отражающих неоднородность распределения объектов разных типов в пределах городской территории. Вычислены статистические характеристики, такие как среднее значение и дисперсия удельной плотности. В работе приведено сравнение полученных показателей с аналогичными значениями для крупных мировых мегаполисов. Особое внимание уделено анализу экономических аспектов выявленной неоднородности. Представленный алгоритм и статистические показатели могут использоваться органами муниципального управления и профильными организациями для оптимизации планирования сети объектов сбора отходов и повышения экологической устойчивости городской среды.



Ключевые слова: пространственная статистика, жилищно-коммунальное хозяйство, места накопления отходов.

Для цитирования: Останина О. И. Инфраструктура мест накопления отходов в Москве: территориальная статистика и анализ // Вестник Университета Правительства Москвы. 2025. № 3. С. 34–40.

Article

Infrastructure of Waste Accumulation Sites in Moscow: Spatial Statistics and Analysis

Olga I. Ostanina — PhD in Chemistry, Associate Professor, Department of Metrology and Standardization, MIREA — Russian Technological University (78 Vernadskogo prospect, Moscow, 119454, Russia), e-mail: ostanina@mirea.ru

This article examines the application of spatial statistics methods to analyze the distribution of municipal solid waste accumulation sites in Moscow. This research is relevant for optimizing waste collection infrastructure in megacities. Utilizing spatial data and cartographic materials, an algorithm was developed and tested to calculate the density of facility placement, linked to the area of courtyard territories, using a 1 km² grid. The result was the construction of heat maps reflecting the heterogeneity in the distribution of different types of facilities across the urban area. Statistical characteristics, such as the mean and variance of specific density, were computed. The study provides a comparison of the obtained metrics with analogous values for other major world megacities. Particular attention is given to the analysis of the economic aspects of the identified heterogeneity. The presented algorithm and statistical indicators can be used by municipal authorities and specialized organizations to optimize the planning of waste collection networks and enhance the environmental sustainability of the urban environment.

Keywords: spatial statistics, housing and utilities sector, waste accumulation sites.

For citation: Ostanina O. I. Infrastructure of Waste Accumulation Sites in Moscow: Spatial Statistics and Analysis. *MMGU Herald*, 2025, no. 3, pp. 34-40. (In Russ.).

Введение

Актуальной проблемой жилищно-коммунального хозяйства любого мегаполиса является утилизация твердых коммунальных отходов (ТКО), объем которых неуклонно растет. Эффективность и своевременность решения этой задачи напрямую определяют комфорт городской среды [5].

Рациональное управление отходами требует больших затрат, зачастую составляя от 20% до 50% муниципального бюджета. Для функционирования этой важнейшей муниципальной службы требуются комплексные системы, которые должны быть эффективными, устойчивыми и пользоваться социальной поддержкой [7].

Сбор твердых коммунальных отходов в Москве осуществляется на различного рода специализированных площадках, расположенных в пределах дворовых территорий.

Автором проведен анализ пространственного распределения таких объектов по территории города. На основе математического моделирования построены карты плотности для различных типов таких объектов. Для количественной оценки использованы официальные данные о местоположении и площади дворовых территорий, что позволило рассчитать удельное количество объектов накопления отходов на единицу площади. Центральным результатом исследования является специально разработанный алгоритм для оценки неоднородности пространственного распределения данных объектов, апробированный на примере Москвы.

Постановка задачи

Исследование направлено на анализ распределения различных типов контейнерных площадок на дворовых территориях Москвы с использованием методов пространственной статистики.

Цель работы — оценить степень равномерности пространственного распределения данных объектов относительно площади дворовых территорий. Объектами анализа являются дворовые участки административной территории города Москвы, включающие жилую застройку и прилегающее благоустроенное пространство. Исследование фокусируется исключительно на местах накопления отходов, расположенных в границах этих дворовых территорий.

Рассматриваются следующие типы мест накопления отходов:

- контейнерная площадка;
- бункерная площадка;
- площадка для выкатных контейнеров;
- площадка для выкатных контейнеров (для полезных компонентов);

- стационарный павильон для РСО (раздельного сбора отходов).

На основе координат их размещения строится карта пространственной плотности распределения объектов по дворовым территориям. Последующий анализ этой карты позволяет количественно оценить степень неоднородности распределения контейнерных площадок по территории Москвы.

Общий алгоритм расчета

Для расчета показателей неоднородности пространственного распределения использованы данные, полученные на Портале открытых данных Правительства Москвы [2], включающие координаты (широта, долгота) и площадь дворовых участков, а также координаты всех типов мест накопления отходов.

Алгоритм расчета состоит из следующих шагов:

1. Территориальное разбиение: территория Москвы разбивается на квадраты размером 1 км².
 2. Расчет площади дворовых территорий: для каждого квадрата вычисляется суммарная площадь всех находящихся в нем дворовых участков.
 3. Подсчет объектов: для каждого квадрата подсчитывается общее количество объектов размещения отходов.
 4. Расчет удельной плотности: для каждого квадрата вычисляется удельное количество объектов на единицу площади дворовых территорий (общее количество объектов делится на суммарную площадь дворов в квадрате).
 5. Ранжирование: все квадраты сортируются по величине удельной плотности в порядке убывания.
- Результатом применения алгоритма являются ранжированные данные, визуализация которых (например, в виде графиков) наглядно демонстрирует степень неоднородности распределения объектов по территории города.

Распределение объектов по территории города

Для визуальной оценки пространственного распределения дворовых территорий и объектов размещения отходов были построены тепловые карты в реальной системе координат Москвы. Территория города была разделена на квадратные ячейки размером 1 × 1 км (100 га).

На рисунке 1 (с. 36) представлена тепловая карта, отображающая распределение площади дворовых территорий в пределах каждой ячейки. Визуальный анализ позволяет идентифицировать несколько ключевых пространственных закономерностей.

1. Выявление зон, характеризующихся нулевой площадью дворовых территорий. На карте хорошо

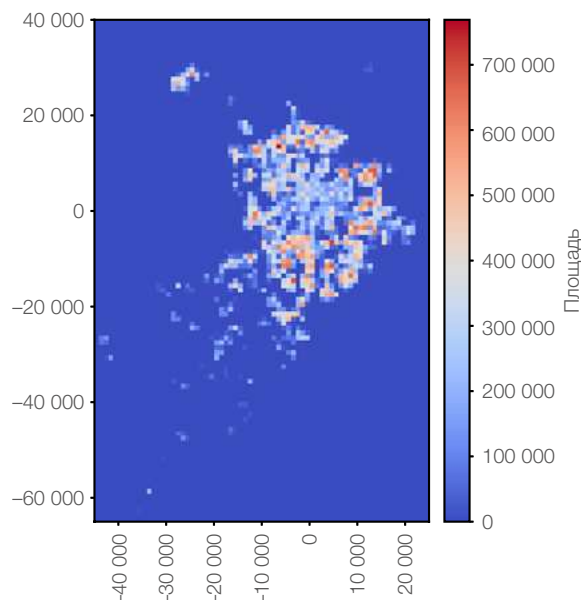


Рис. 1. Распределение площадей дворовых территорий Москвы

различимы обширные области, для которых характерно нулевое или пренебрежимо малое значение анализируемого параметра. Данные участки статистически значимо совпадают с расположением крупных промышленных зон и промпарков, где отсутствует жилая застройка; лесопарков (например, Лосиный Остров, Битцевский лес), парков и заповедников; водных объектов и иных неурбанизированных пространств.

2. Пространственная неоднородность распределения. В пределах собственно урбанизированной территории наблюдается значительная вариабельность плотности дворовых пространств. Наиболее

высокие значения, как правило, приурочены к районам с высокой этажностью и плотной жилой застройкой, в то время как менее плотные исторические или периферийные районы характеризуются меньшими значениями (рис. 2–4).

Наблюдаемые различия не являются случайными и демонстрируют четкую зависимость от типа объекта и планировочных особенностей городских районов.

Более подробно это можно увидеть в следующем:

1. Типологическая специфичность. Каждый тип объекта (контейнерные площадки, бункеры, павильоны для РСО) формирует уникальную картину распределения с собственными ярко выраженными «горячими» точками (зонами максимальной концентрации) и «холодными» пятнами (зонами их практического отсутствия).

2. Привязка к типу застройки. Пространственное распределение стандартных контейнерных площадок демонстрирует прямую зависимость от характера жилой застройки. Их концентрация достигает максимума в районах с высокой плотностью населения и многоэтажной жилой инфраструктурой, что обусловлено объективной необходимостью обслуживания большего числа жителей на ограниченной территории. В то же время более крупногабаритные объекты, такие как бункерные площадки или площадки для выкатных контейнеров, могут быть приурочены к зонам реконструкций, новостройкам или промышленным территориям, где требуются большие мощности для накопления строительных или крупногабаритных отходов.

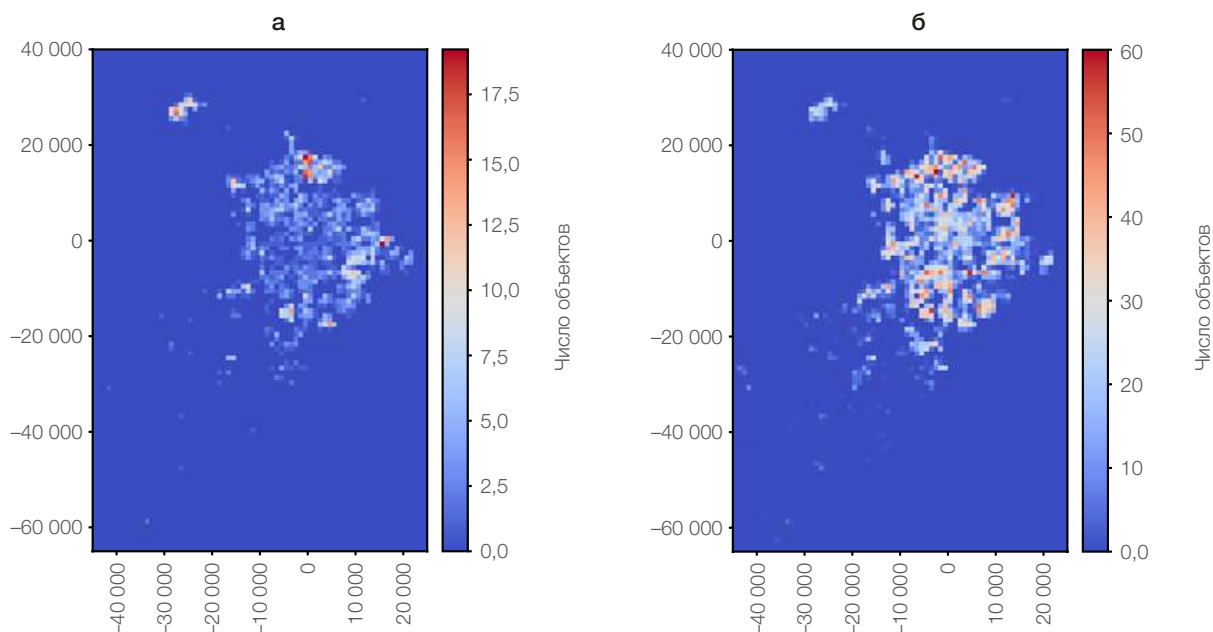


Рис. 2. Распределение объектов: а — «бункерная площадка»; б — «контейнерная площадка»

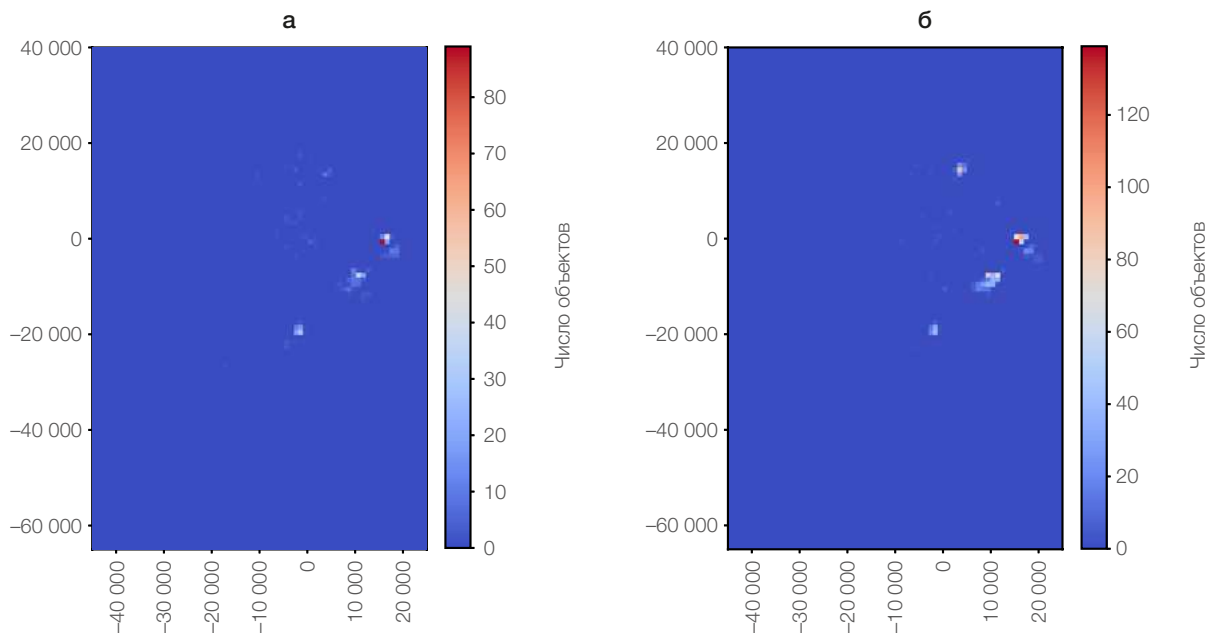


Рис. 3. Распределение объектов: а — «площадка для выкатных контейнеров (для полезных компонентов)»; б — «площадка для выкатных контейнеров»

3. Влияние инфраструктуры и планирования. Распределение объектов, особенно специализированных (для полезных компонентов, РСО), не является равномерным. Их локация часто привязана к ключевым транспортным магистралям, объектам социальной инфраструктуры (ТЦ, парки) или является результатом точечных муниципальных программ, что создает выраженную пространственную неоднородность.

Таким образом, можно заключить, что картографические модели подтверждают гипотезу о высокой пространственной неоднородности инфраструктуры обращения с отходами в городе. Эта неоднородность является системной характеристикой, обусловленной комплексом факторов, включая историю застройки, действующие нормативы, тип объекта и современные градостроительные тенденции.

Анализ удельной плотности объектов размещения отходов

На рисунке 5 (с. 38) представлены результаты расчета и ранжирования удельной плотности объектов размещения отходов — отношения количества объектов к общей площади дворовых территорий в пределах квадратов 1×1 км.

Анализ графика позволяет выявить ряд ключевых закономерностей:

1. Выраженная пространственная неоднородность. Распределение всех типов объектов характеризуется значительной неравномерностью по территории города. Кривые имеют ярко выраженный экспоненциальный спад, что указывает на то, что высокая

плотность объектов сосредоточена на ограниченной части территории, в то время как на большей площади Москвы их удельное количество невелико.

2. Доминирование стандартной контейнерной площадки. Кривая, соответствующая контейнерным площадкам, занимает доминирующее положение на графике, что подтверждает их статус основного элемента инфраструктуры накопления отходов. Их плотность повсеместно и значительно превышает плотность всех других, более специализированных типов объектов.

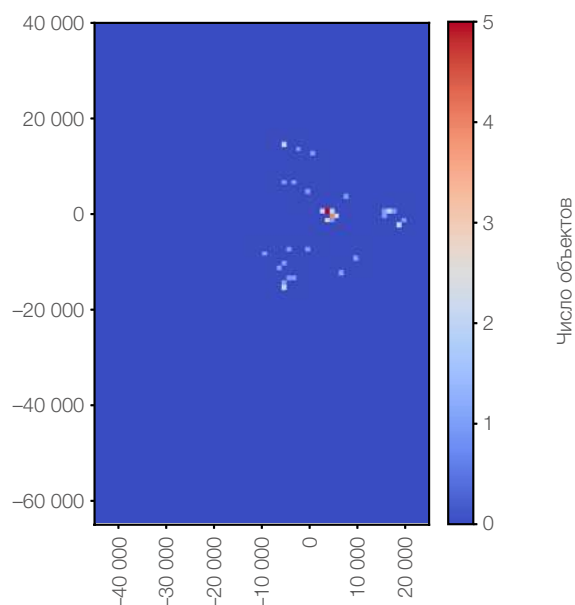


Рис. 4. Распределение объектов «стационарный павильон для РСО»

Таблица 1
Статистические характеристики объектов мест размещения

Название объекта	Среднее значение удельной плотности	Дисперсия удельной плотности
Контейнерная площадка	70,84	3061,51
Бункерная площадка	10,51	229,12
Площадка для выкатных контейнеров	5,07	910,26
Площадка для выкатных контейнеров (для полезных компонентов)	2,25	152,64
Стационарный павильон для РСО	0,22	3,07

3. Низкая распространенность инфраструктуры для РСО. Стационарные павильоны, предназначенные для раздельного сбора отходов, демонстрируют наименьшие значения удельной плотности, поскольку данный тип объекта является наименее распространенным и, как следствие, инфраструктура для РСО развита в Москве фрагментарно и не имеет полного охвата.

Полученные данные наглядно иллюстрируют структурный дисбаланс в системе обращения с отходами Москвы. Инфраструктура ориентирована преимущественно на смешанный сбор отходов с помощью контейнерных площадок.

Анализ статистических показателей плотности размещения объектов инфраструктуры отходов

Для каждого типа объектов накопления отходов были рассчитаны статистические показатели, характеризующие распределение их удельной плотности (количество объектов на единицу площади дворовых территорий). Результаты расчетов представлены в таблице 1.

Полученные данные свидетельствуют о значительном преобладании стандартных контейнерных

площадок в системе обращения с отходами Москвы. Их средняя плотность составляет 70,84 ед./км², что в полной мере соответствует санитарным нормам [3] и существенно превышает аналогичные показатели других мегаполисов. Согласно нормативному документу «Контейнеризация бытовых отходов» [6], действующему для Нью-Йорка, плотность контейнерных площадок в жилой застройке Манхэттена достигает 30 ед./км². В Берлине, по нормативным документам [8], данный показатель составляет приблизительно 20 ед./км². Для Лондона ориентировочное значение оценивается в 60 ед./км² [9].

На диаграмме (рис. 6, стр. 39) представлены данные о среднем количестве контейнерных площадок, приходящихся на один квадратный километр в различных мегаполисах, что позволяет визуально оценить позицию Москвы в международном контексте.

Следует отметить, что российская столица демонстрирует одну из самых высоких в мире плотностей размещения объектов инфраструктуры для накопления отходов, что отражает специфику организации системы управления отходами в столичном мегаполисе.

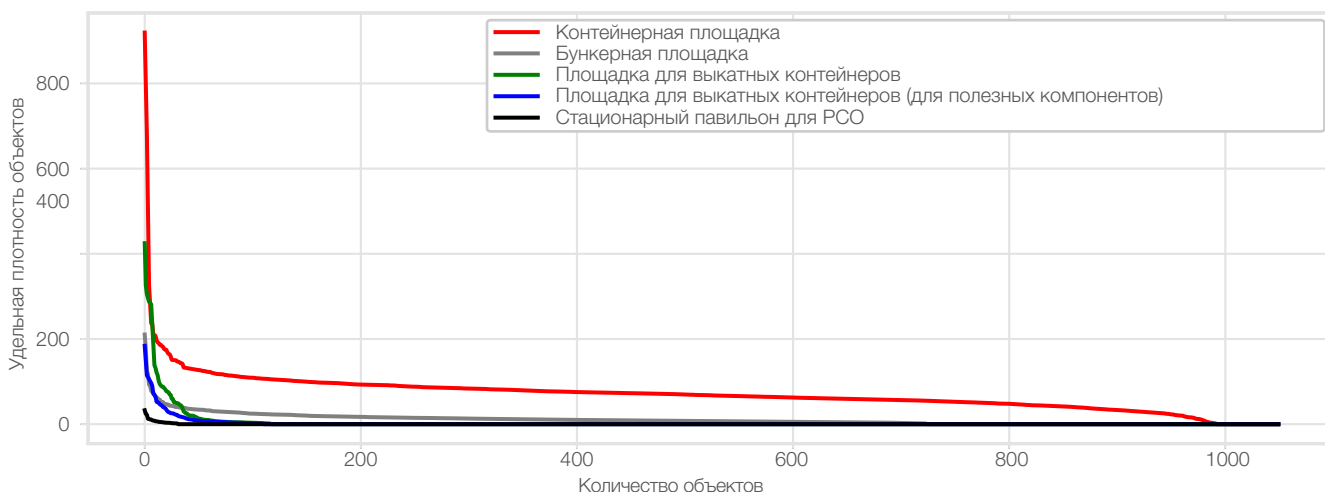


Рис 5. Распределение удельной плотности различных типов объектов размещения отходов

Экономическое значение плотности размещения объектов накопления отходов в Москве

Плотность расположения контейнерных площадок в Москве является ключевым экономическим фактором в системе управления отходами. Данное явление связано как с особенностями градостроительной планировки, так и с экономическими и социальными факторами, которые определяют общую эффективность функционирования системы обращения с твердыми бытовыми отходами [4].

Рассматриваемый параметр напрямую влияет на издержки: высокая плотность увеличивает расходы на обустройство и содержание, а низкая — на логистику и транспортировку. Кроме того, доступность точек сбора стимулирует раздельное накопление отходов, повышая доходы от вторичного сырья и снижая затраты на сортировку.

В условиях высокой стоимости городских земель, особенно в центре, экономически оправданно внедрение компактных, хотя и более дорогих решений (подземные контейнеры, павильоны).

Важным аспектом является влияние плотности размещения на тарифообразование. Оптимизация сети контейнерных площадок позволяет снизить издержки операторов, что может привести к снижению тарифов для населения. Кроме того, рациональное размещение объектов способствует повышению прозрачности системы учета отходов и контроля за их движением [1].

Следует также учитывать сезонные колебания образования отходов и дифференциацию морфологического состава твердых коммунальных отходов в различных районах города. Это требует гибкого подхода к планированию плотности размещения контейнерных площадок и их технического оснащения.

Перспективным направлением является внедрение интеллектуальных систем мониторинга заполняемости контейнеров, что позволит оптимизировать маршруты вывоза и снизить эксплуатационные расходы. Экономический эффект от таких решений особенно значителен в районах с неравномерной нагрузкой на объекты накопления отходов.

Таким образом, поиск оптимальной плотности размещения требует комплексного подхода и экономико-математического моделирования для баланса технических, экологических и финансовых параметров. Разработка адаптивных моделей размещения объектов накопления отходов с учетом многокритериальной оптимизации представляет собой актуальную задачу для повышения экономической эффективности системы управления ТКО в мегаполисе.

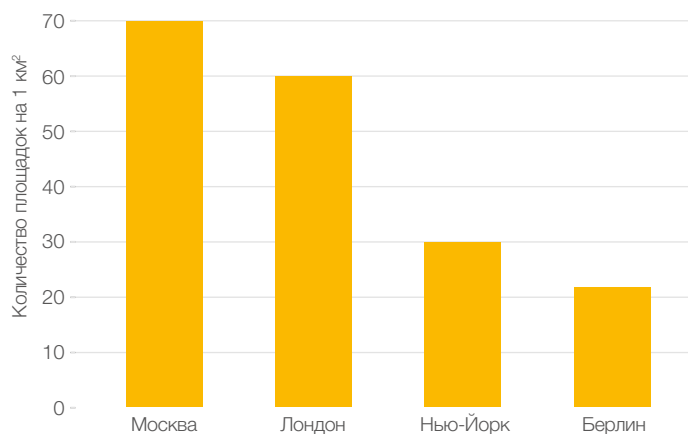


Рис. 6. Сравнение плотности размещения контейнерных площадок в мировых мегаполисах

Заключение

В рамках настоящего исследования проведен анализ территориально-пространственного распределения объектов накопления отходов (контейнерных площадок) на территории города Москвы. Полученные результаты выявили значительную пространственную неоднородность их размещения, что характеризуется высокой вариативностью плотности на единицу площади дворовых территорий.

Для наглядного представления выявленных закономерностей были разработаны тематические карты и графики, которые позволяют визуализировать дисбаланс в обеспеченности городских районов объектами инфраструктуры для сбора ТКО.

Проведенный экономический анализ выявленной статистики демонстрирует, что подобная неоднородность напрямую влияет на эффективность системы управления отходами. Чрезмерно высокая плотность размещения ведет к росту капитальных и эксплуатационных расходов, в то время как недостаточная — увеличивает логистические издержки и снижает эффективность раздельного сбора.

Для комплексной оценки ситуации было выполнено сравнительное сопоставление данных по Москве с показателями других мегаполисов мира. Это сравнение показало, что, в отличие от многих городов с более унифицированной сеткой размещения, московская модель адаптирована под высокую степень функционального зонирования и социально-экономической неоднородности территории.

Таким образом, проведенное исследование позволяет сделать вывод о том, что существующая структура размещения объектов накопления отходов в Москве является следствием комплексного влияния исторически сложившейся застройки, экономических ограничений и современных градостроительных решений. Перспективы дальнейших исследований видятся в разработке оптимизационной модели,

которая позволит найти баланс между экономической эффективностью, экологическими требованиями и удобством для жителей, а также в более глубоком

изучении влияния поведенческих факторов горожан на эффективность работы системы в условиях выявленной пространственной неоднородности.



Информационные источники

1. Кудрявцева О. В., Солодова М. А., Корневская Д. С. Перспективы обращения с отходами в городе Москве // Научные исследования экономического факультета: Электронный журнал экономического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова. 2018. Т. 10. № 2. С. 64–87.
2. Портал открытых данных Правительства Москвы: [сайт]. URL: <https://data.mos.ru/> (дата обращения: 26.08.2025).
3. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 № 3 (ред. от 25.06.2025) «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 2.1.3684-21 „Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий“ (вместе с „СанПиН 2.1.3684-21. Санитарные правила и нормы...“» (Зарегистрировано в Минюсте России 29.01.2021 № 62297). Режим доступа: СПС «КонсультантПлюс» (дата обращения: 26.08.2025).
4. Сопилко Н. Ю. Переработка отходов: анализ мировых тенденций // Твердые бытовые отходы. 2011. № 11. С. 42–45.
5. Clark Philip J., Evans Francis C. Distance to Nearest Neighbor as a Measure of Spatial Relationships in Populations // Ecology. 1954. No. 4. Vol. 35. Pp. 445–53. <https://doi.org/10.2307/1931034> (дата обращения: 26.08.2025).
6. Residential Waste Containerization // New York City Department of Sanitation: [сайт]. URL: <https://www.nyc.gov/site/dsny/collection/containerization/residential-containerization.page> (дата обращения: 26.08.2025).
7. Solid Waste Management // World Bank Group. 2022, February 11: [сайт]. URL: <http://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/brief/solid-waste-management> (дата обращения: 26.08.2025).
8. Veröffentlichungen Berliner Stadtreinigungsbetriebe (BSR) Abfallwirtschaftssatzung der Berliner Stadtreinigungsbetriebe Bekanntmachung vom 27 Dezember 2024: [сайт]. URL: https://www.bsr.de/assets/downloads/Abfallwirtschaftssatzung_BSR_2023_24.pdf (дата обращения: 26.08.2025).
9. Waste Management in High-Density Development // Old Oak and Park Royal Development Corporation. 2022. June: [сайт]. URL: https://www.london.gov.uk/sites/default/files/waste_management_in_high_density_development_spd.pdf (дата обращения: 26.08.2025).

References

1. Kudriavtseva O. V., Solodova M. A., Korenevskaja D. S. Prospects of Waste Management in the City of Moscow. *Scientific Research of the Faculty of Economics: Electronic Journal of the Faculty of Economics of Lomonosov Moscow State University*, 2018, vol. 10, no. 2, pp. 64-87. (In Russ.).
2. *Open Data Portal of Moscow Government*: [website]. Available at: <https://data.mos.ru/> (accessed: 26.08.2025). (In Russ.).
3. *Decree of the Chief State Sanitary Physician of the Russian Federation of 28.01.2021 No. 3 (ed. of 25.06.2025) „On the Approval of Sanitary Rules and Regulations SanPiN 2.1.3684-21 «Sanitary and Epidemiological Requirements for the Maintenance of Territories of Urban and Rural Settlements, Water Bodies, Drinking Water and Drinking Water Supply, Atmospheric Air, Soils, Residential Premises, Operation of Industrial and Public Premises, Organization and Implementation of Sanitary and Anti-Epidemic (Preventive) Measures» (together with “Sanitary R&N 2.1.3684-21. Sanitary Rules and Norms...”)”* (Registered with the Ministry of Justice of Russia on 29.01.2021 No. 62297). Available at: LIS „ConsultantPlus“ (accessed: 26.08.2025). (In Russ.).
4. Sopilko N. Yu. Waste Recycling: Analysis of Global Trends. *Tverdye bytovye otkhody*, 2011, no. 11, pp. 42-45. (In Russ.).
5. Clark Philip J., Evans Francis C. Distance to Nearest Neighbor as a Measure of Spatial Relationships in Populations. *Ecology*, 1954, vol. 35, no. 4, pp. 445-453. <https://doi.org/10.2307/1931034> (accessed: 26.08.2025).
6. Residential Waste Containerization. *New York City Department of Sanitation*: [website]. Available at: <https://www.nyc.gov/site/dsny/collection/containerization/residential-containerization.page> (accessed: 26.08.2025).
7. Solid Waste Management. *World Bank Group*: [website], 11.02.2022. Available at: <http://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/brief/solid-waste-management> (accessed: 26.08.2025).
8. *Veröffentlichungen Berliner Stadtreinigungsbetriebe (BSR) Abfallwirtschaftssatzung der Berliner Stadtreinigungsbetriebe Bekanntmachung vom 27 Dezember 2024*. Available at: https://www.bsr.de/assets/downloads/Abfallwirtschaftssatzung_BSR_2023_24.pdf (accessed: 26.08.2025).
9. *Waste Management in High-Density Development. Old Oak and Park Royal Development Corporation*: [website]. June 2022. Available at: https://www.london.gov.uk/sites/default/files/waste_management_in_high_density_development_spd.pdf (accessed: 26.08.2025).