

МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 502/504

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА РЕКРЕАЦИОННОЙ НАГРУЗКИ
НА ГОРОДСКИЕ ОЗЕЛЕНЕННЫЕ ТЕРРИТОРИИ© 2023 г. О. Н. Дьячкова^{1,*}, А. Е. Михайлов¹¹Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (СПбГАСУ),
2-я Красноармейская ул., 4, Санкт-Петербург, 190005, Россия

*E-mail: dyachkova_on@mail.ru

Поступила в редакцию 20.10.2022 г.

После доработки 23.01.2023 г.

Принята к публикации 30.01.2023 г.

В статье дано описание ранговой модели для расчета рекреационной нагрузки на городские озелененные территории общего пользования. Предложенная математическая интерпретация позволяет провести сравнительный анализ распределения потенциальной рекреационной нагрузки на территории зеленых насаждений общего пользования от городских жителей, проживающих в близлежащих жилых кварталах. Модель разработана на основе теории вероятностей. Модель состоит из двух частей. В первой части рекреационная нагрузка определяется как математическое ожидание числа посетителей на основе данных о численности населения жилого квартала и ранге его территории по отношению к озелененным территориям общего пользования (лес, лесопарк, парк, сад, сквер или бульвар). Во второй части рекреационная нагрузка рассматривается как пуассоновская случайная величина с параметром, зависящим от времени. В установленных условных границах исследуемого участка города, территории зеленых насаждений общего пользования и территории, окружающих их близлежащих жилых кварталов, рассматриваются как точечные объекты. Модель может быть использована для анализа, как сложившейся градостроительной ситуации, так и перспектив ее изменения. Модель может быть полезна, в целом для лиц, принимающих решения при комплексном развитии городских территорий, и в частности, при благоустройстве существующих озелененных территорий общего пользования.

Ключевые слова: город, городская среда, комплексное развитие территории, жилой квартал, озелененные пространства, качество жизни, ранговая модель, теория вероятностей

DOI: 10.31857/S0869780923020042, EDN: TWIJHR

ВВЕДЕНИЕ

Основное направление социально-экономического развития города — его устойчивое развитие [2]. Возможность отдыха для городских жителей на открытом воздухе в сени деревьев оказывает существенное влияние на качество их жизни и, как следствие, на экономическую ситуацию в стране. В Повестке дня в области устойчивого развития (Цель 11, задача 11.7) заложено “К 2030 году обеспечить всеобщий доступ к безопасным, доступным и открытым для всех зеленым зонам и общественным местам, особенно для женщин и детей, пожилых людей и инвалидов”¹. Рост численности городского населения требует при комплексном развитии городов уделять больше внимания благоустройству жилых районов территориями зеленых насаждений общего пользования, поскольку объемы жилой застройки и улично-дорожной сети стреми-

тельно вытесняют природные участки древесно-кустарниковой и травяной растительности [6, 10]. Поиск решений по планированию и управлению доступными для всех жителей городских лесов, лесопарков, парков, садов, скверов и бульваров находит отражение в исследованиях российских [4] и иностранных ученых [11–13, 16]. Особое внимание уделяется нормативно-техническому регулированию обеспеченности населения зелеными зонами [1, 3]. Также изучаются городские природные территории и природно-антропогенные комплексы с позиций удобства их пешей доступности и охраны окружающей среды [8, 9].

Принципы и методы определения рекреационных нагрузок и их использования при организации рекреационного природопользования, а также при проектировании рекреационных объектов разрабатываются в нашей стране с 1970-х гг.

“Рекреационная нагрузка — это показатель антропогенного воздействия, определяемый количеством отдыхающих на единицу площади с уче-

¹ https://unstats.un.org/sdgs/indicators/Global%20Indicator%20Framework%20after%202020%20review_Rus.pdf

том времени их пребывания на объекте рекреации и вида отдыха”².

В нормативно-технических документах, регламентирующих градостроительную деятельность, нормируются минимальная площадь озелененных территорий общего пользования в городских и сельских населенных пунктах, радиус обеспечения населения объектами рекреации, время доступности и предельная рекреационная нагрузка в зависимости от типа рекреационного объекта^{3, 4}.

В нормативно-технической документации лесного хозяйства разработаны рекомендации, приведенные в Стандарте отрасли ОСТ 56–100–95 “Методы и единицы измерения рекреационных нагрузок на лесные природные комплексы” (утв. приказом Рослесхоза от 20 июля 1995 г. № 114), а также в документе — “Временная методика определения рекреационных нагрузок на природные комплексы при организации туризма, экскурсий, массового повседневного отдыха и временные нормы этих нагрузок” (утв. зам. председателя Государственного комитета СССР по лесному хозяйству).

Широкое использование сравнительного анализа существующих рекреационных нагрузок в градостроительной деятельности сдерживается отсутствием унифицированных понятий, методов и единиц измерений, трудоемкость натурных измерений.

Цель настоящего исследования — разработка математической модели для сравнительного анализа распределения рекреационной нагрузки на территории зеленых насаждений общего пользования населением окружающих их жилых кварталов.

В качестве объекта исследования принимается территория города. Предметом исследования являются параметры территорий жилых кварталов и озелененных территорий общего пользования, доступных для их жителей.

Задачи исследования:

- проведение анализа массива открытых данных, соответствующих направлению исследования, и существующих математических моделей, применяемых для анализа мобильности населения;
- разработка математического аппарата для проведения экспертизы градостроительной ситу-

ации, сокращающего трудозатраты работы эксперта в данной предметной области.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для описания мобильности населения применяют модели, основанные на расстояниях или на рангах.

Попытки построить модель для исследования городской среды, основанную на расстояниях, приводят к комплексу трудно решаемых задач, поскольку: 1) в районах города существует множество маршрутов, соединяющих локации; 2) поток по каждому маршруту может быть разным; 3) трафик на маршрутах, соответственно, тоже различен.

Модель, основанная на рангах, позволяет исследуемые локации городской среды рассматривать как точечные объекты, исключая необходимость генерировать индивидуальные маршруты. Авторы статьи [14] отмечают, что ранг между двумя местами обладает важным свойством быть инвариантным в масштабированных версиях города, где относительное расположение мест сохраняется, но абсолютные расстояния увеличиваются (*“the rank between two places has the important property to be invariant in scaled versions of a city, where the relative positions of the places is preserved but the absolute distances dilated”*).

Модель расчета рекреационной нагрузки разработана на основе теории вероятности для исследуемой городской территории с определенной численностью населения из условия, что у случайно выбранного местного жителя этой территории может присутствовать некоторая вероятность желания посетить территорию зеленых насаждений общего пользования, расположенную на доступном расстоянии от места его проживания. Модель предусматривает ряд допустимых упрощений. Вероятность, что некий житель вообще посетит какую-либо озелененную территорию общего пользования, а также вероятность, что он предпочтет для посещения конкретную территорию зеленых насаждений. Учитывая принадлежность некоего жителя к той или иной социально-демографической группе с характерным ритмом жизни и видами активности на открытом воздухе, а также, что жилые кварталы, как правило, имеют благоустроенные придомовые территории, то у случайно выбранного местного жителя желание выйти за пределы этой территории может присутствовать потенциально [5].

В целях исследования для расчета потенциальной рекреационной нагрузки на озелененную территорию общего пользования или, другими словами, для определения востребованности озелененной территории общего пользования жителями близлежащих кварталов с использованием

² СП 475.1325800.2020 Парки. Правила градостроительного проектирования и благоустройства. М.: Стандартинформ, 2020.

³ СП 42.13330.2016 Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. М.: Стандартинформ, 2017.

⁴ ТСН 30-307-2002 г. Москвы (МГСН 1.02-02) Нормы и правила проектирования комплексного благоустройства на территории города Москвы М.: ГУП “НИАЦ”, 2002.

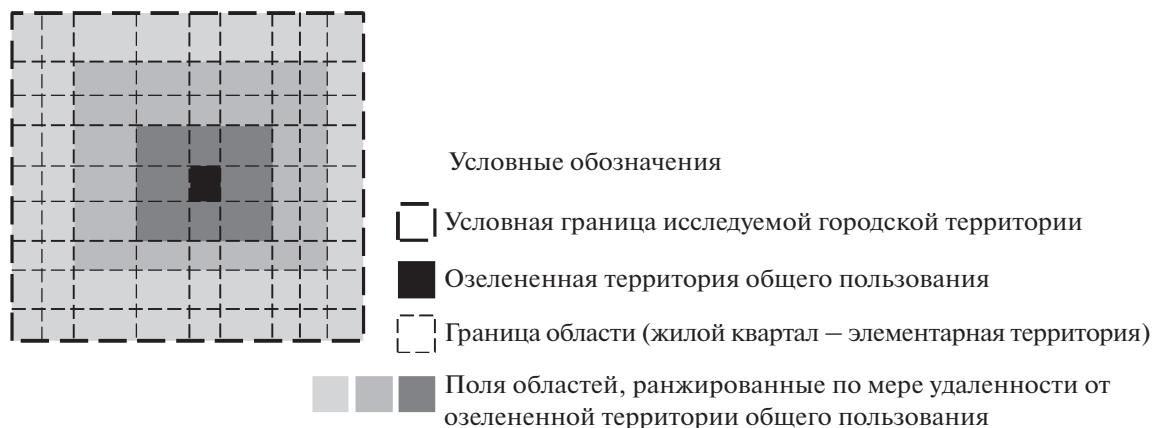


Рис. 1. Принципиальная расчетная схема.

ранговой модели исследуемая территория города разбивается на области, которые объединяются ранжированными полями (рис. 1). Надо отметить, в процессе исследования целесообразно рассматривать несколько возможных вариантов разбивки исследуемой городской территории на единичные области и их принадлежности к полям.

Областью может являться устойчивый фрагмент городской территории, например, жилой квартал, имеющий физические границы — улично-дорожная сеть. Предположительно количество областей будет увеличиваться в каждом следующем по удаленности от озелененной территории общего пользования поле, соответственно, от одного до нескольких десятков, но в крайнем по удаленности поле не превысит сотню.

Нагрузка/востребованность озелененной территории общего пользования складывается из суммы нагрузок/востребованности от каждой отдельной области.

Нагрузка/востребованность обратно пропорциональна рангу поля, которому принадлежит область.

Выбранная для исследования городская территория должна включать озелененную территорию общего пользования и окружающие ее территории жилых кварталов, жители которых являются ее потенциальными посетителями. На рассматриваемом участке могут находиться несколько озелененных территорий общего пользования и множество жилых кварталов. Площадь жилого квартала должна быть достаточно большой, а численность его населения составлять не менее тысячи человек (условие коррелируется с рекомендациями по проектированию СП 42.13330.2016).

Модель разработана для исследования городских территорий, которым характерна типовая застройка жилых микрорайонов, например, многоквартирными жилыми домами различной этажности.

Валидация модели осуществляется на уровне входных данных путем анализа и оценивания исходных параметров и возможного изменения их значений.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Среди территорий зеленых насаждений общего пользования — лес, лесопарк, парк, сад, сквер, бульвар целесообразно различать озелененные пространства, которые преимущественно используются местными жителями, и озелененные пространства, привлекающие не только жителей, но и гостей города. В нашем исследовании предлагается математическая модель для сравнительного анализа рекреационных нагрузок на территории зеленых насаждений общего пользования от населения, проживающего в близлежащих жилых кварталах. Рекреационная нагрузка от туристических потоков на озелененные территории, являющиеся городскими достопримечательностями местного, регионального или федерального значения, может быть рассчитана отдельно и при необходимости суммирована.

Предлагаемая к обсуждению модель состоит из двух частей, с помощью которых разными способами можно рассчитать рекреационные нагрузки на территории зеленых насаждений общего пользования, которые расположены в так называемых “спальных районах” города.

Для расчета рекреационной нагрузки на ту или иную озелененную территорию общего пользования согласно **первой части модели** предлагается формула вида:

$$M = \sum_i K_i \frac{P_i}{f(r_i)} N_i,$$

где K_i — коэффициент привлекательности территории зеленых насаждений общего пользования; P_i — величина, выражающая потенциальное же-

ление некоего жителя посетить близлежащую территорию зеленых насаждений общего пользования; r_i – ранг территории жилого квартала (ранг отражает принадлежность области к полю областей с установленным расстоянием в отношении доступности озелененной территории общего пользования); $f(r_i)$ – некоторая функция от ранга территории жилого квартала (далее рассматривается вариант, когда $f(r_i) = r_i$); N_i – численность населения территории жилого квартала.

Разумеется, коэффициенты K_i и P_i зависят от времени (сезона, дня недели и пр.), т.е. формулу можно понимать как среднюю рекреационную нагрузку в некоторый конкретный момент времени.

Оптимальной элементарной территорией (областью) для данного расчета является жилой квартал, расположенный в границах “красных” линий улиц.

Следует отметить, что жилые кварталы города могут быть неоднородны по отношению друг к другу, тогда в преддверии расчета по предложенной формуле потребуются уточнить структуру неоднородности и выполнить дополнительное исследование степени ее влияния при формировании рекреационной нагрузки.

В частном случае единицей городской территории, формирующей нагрузку на ту или иную территорию зеленых насаждений общего пользования, является некая область (жилой квартал), которую можно считать относительно однородной по типу и плотности застройки, а также возрастной и социальной структурам населения.

В математической интерпретации, рассматриваемые i -и территории жилых кварталов исследуемой городской территории и расположенные на ней леса, лесопарки, парки, сады, скверы и бульвары представляют собой материальные точки. Разбив близлежащие окрестности той или иной территории зеленых насаждений общего пользования на области, соответственно рангу по степени их удаленности, учитывающей доступность места проживания потенциальных посетителей, получим

$$M = \sum_i K_i \frac{P_i}{r_i} N_i.$$

Если выражение $K_i \frac{P_i}{r_i}$ интерпретировать как вероятность посещения территории зеленых насаждений общего пользования жителями жилого квартала, тогда M является математическим ожиданием числа посетителей.

Предварительно целесообразно определить коэффициент привлекательности для жителей территории зеленых насаждений общего пользования (K), рекреационную нагрузку на которую планируется рассчитывать. Например, провести

экспертную оценку озелененной территории или опрос жителей для выявления их предпочтений относительно того или иного леса, лесопарка, парка, сада, сквера и бульвара с последующим агрегированием данных анкетирования экспертов или опросов, а для анализа мнений экспертов или респондентов использовать метод парного сравнения [15].

Справедливо предположение, что для жителей i -х областей, расположенных ближе к территории зеленых насаждений общего пользования, величина P является максимальной, а для следующих по рангу полей значение, соответственно, уменьшается пропорционально их рангу.

Допуская, что величина K зависит только от параметров территории зеленых насаждений общего пользования, а величина P бесконечно мала или является константой, формула примет вид

$$M = KP \sum_i \frac{N_i}{r_i}.$$

Таким образом, можно обозначить территориальный коэффициент, как

$$\hat{M} = \sum_i \frac{N_i}{r_i}.$$

Верификация первой части модели выполнена авторами данной статьи на примере участка территории Санкт-Петербурга, результаты опубликованы в [7]. Исходными данными для экспертов, проводивших исследование, являлись данные Управления Федеральной службы государственной статистики по Санкт-Петербургу и Ленинградской области (<https://petrostat.gks.ru/>) и Региональная геоинформационная система Санкт-Петербурга (<https://www.rgis.spb.ru/>).

Вторая часть модели для расчета рекреационной нагрузки на территории зеленых насаждений общего пользования выражается формулой, в которой количество посещений озелененной территории жителями i -го жилого квартала за период времени $[t_1; t_2]$ рассматривается как пуассоновская случайная величина с параметром

$$\lambda = \frac{K_i}{r_i} N_i \int_{t_1}^{t_2} p(t) dt,$$

где $p(t)$ – некоторая функция плотности.

Вторая часть модели, являясь более сложной, позволит учитывать такие характеристики как сезонность посещений, их зависимость от дня недели, рабочих и нерабочих дней, времени суток, погодных условий. Сложность этой части модели – в ее трудоемкости, так как предполагается предварительное определение зависимостей, например, проведение моментных замеров при натурном исследовании.

Апробация второй части модели находится в разработке.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведен анализ применяемых в лесном хозяйстве и градостроительной деятельности традиционных подходов к расчету рекреационной нагрузки на природные территории. Авторы полагают, что рекреационная нагрузка на озелененные территории общего пользования связана не только с распределением населения окружающих ее жилых кварталов, но также с ее привлекательностью и социально-демографическим составом населения. Использование коэффициента позволяет учесть привлекательность озелененных территорий общего пользования для жителей.

При выборе математической модели для исследования городской среды предпочтение отдано ранговой.

Разработанная модель годится для определения потенциальной рекреационной нагрузки/востребованности озелененных территорий общего пользования, функционирующих на территории города. В модели рассматривается обратная пропорциональность рангу согласно закону Ципфа.

Части модели существенно различаются по трудоемкости. Для анализа градостроительной ситуации по первой части модели эксперту предметной области достаточно открытых данных. Ограничения модели имеют в большей степени технический характер. Не отменяя модели, существенно усложнит расчет наличие неоднородности по социально-демографическому составу населения, по типу и плотности застройки у выделенных областей (жилых кварталов). Так как коэффициенты K и P зависят от параметров исследуемых объектов, то в случае однородности территорий их можно вынести за скобки, а в случае неоднородности их нужно рассчитывать для каждой территории отдельно.

С помощью модели можно проводить сравнительный анализ рекреационной нагрузки на выделенные озелененные территории общего пользования от определенных областей — жилых кварталов.

Модель может быть полезна для анализа распределения косвенной антропогенной нагрузки на природные компоненты территорий зеленых насаждений общего пользования, а также для анализа загруженности этих территорий с позиции комфортности посещений жителями.

Преимуществом модели является ее адаптивность к изменяющейся градостроительной ситуации. Так как с большой вероятностью можно предположить, что структура и плотность застройки жилого квартала могут меняться со временем (например, при реновации или уплотнительной застройке), а существующая улично-дорожная сеть более стабильна и устойчива к изменениям градостроительной ситуации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Базилевич А.М.* Вопросы методологии градостроительного нормирования озелененных территорий // Лесной вестник. 2018. Т. 22. № 3. С. 76–84. <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2018-3-76-84>
2. *Бакаева Н.В., Черняева И.В.* Вопросы озеленения городской среды при реализации функций биосферосовместимого города // Строительство и реконструкция. 2018. № 2 (76). С. 85–94.
3. *Борисов М.В., Бакаева Н.В., Черняева И.В.* Нормативно-техническое регулирование в области озеленения городской среды // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 2. С. 212–222. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2020.2.212-222>
4. *Данилина Н.В., Маджорзадехзахири А.* Analysis Situation of Urban Green Space Framework in Tehran // Вестник МГСУ. 2021. Т. 16. Вып. 8. С. 975–985. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2021.8.975-985>
5. *Дьячкова О.Н.* Зеленые насаждения в системе благоустройства придомовых (приватных) территорий многоквартирных зданий // Геоэкология. 2022. № 1. С. 85–95. <https://doi.org/10.31857/S0869780922010039>
6. *Дьячкова О.Н.* Принципы стратегического планирования развития “зеленой” инфраструктуры городской среды // Вестник МГСУ. 2021. Т. 16. Вып. 8. С. 1045–1064. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2021.8.1045-1064>
7. *Дьячкова О.Н., Михайлов А.Е.* Методика расчета рекреационной нагрузки на локальные парки // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2022. № 3. С. 121–133. <https://doi.org/10.21869/2311-1518-2022-38-3-121-133>
8. *Слепнев М.А., Попов А.В.* Экологическая емкость городских природно-антропогенных территориальных комплексов // Жилищное строительство. 2019. № 3. С. 57–60. <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-3-57-60>
9. *Слепнев М.А., Филякова Е.И.* Оценка рекреационной нагрузки городского парка культуры и отдыха город Орел // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2019. № 3. С. 101–110. <https://doi.org/10.21869/23-11-1518-2019-27-3-101-110>
10. *Сотникова О.А., Богатова Т.В., Семенова Э.Е.* Устойчивое развитие территорий: соотношение природной среды и городской застройки // Социология города. 2020. № 3. С. 30–40.
11. *Arvanitidis P.* Unlocking Green Space: Perceptions and Attitudes on Various Aspects of Urban Green Space // GreenKeys, 2007. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.536.6483&rep=rep1&type=pdf>
12. *Douglas O., Lennon M., Scott M.* Green Space Benefits for Health and Well-Being: A Life-Course Approach for Urban Planning, Design and Management // Cities. 2017. V. 66. P. 53–62. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2017.03.011>
13. *Niemelä J.* Ecology of urban green spaces: The way forward in answering major research questions // Landscape and Urban Planning. 2014. V. 125. P. 298–303. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.07.014>

14. Noulas A., Scellato S., Lambiotte R., Pontil M., Mascolo C. A Tale of Many Cities: Universal Patterns in Human Urban Mobility // PLoS ONE. 2012. 7 (5). e37027. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0037027>
15. Saaty T.L. Relative Measurement and Its Generalization in Decision Making. Why Pair-wise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors // The Analytic Hierarchy/Network Process. RACSAM – Rev. R. Acad. Cien. Serie A. Mat. 2008. No. 102 (2). Pp. 251–318.
16. Zhang L., Cao H., Han R. Residents' Preferences and Perceptions toward Green Open Spaces in an Urban Area // Sustainability. 2021. 13. 1558. <https://doi.org/10.3390/su13031558>

MATHEMATICAL MODEL FOR CALCULATION OF RECREATIONAL LOAD ON GREEN OPEN SPACE IN CITY

O. N. D'yachkova^{a,*} and A. E. Mikhailov^a

^aSt. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,
2ya Krasnoarmeiskaya ul. 4, St. Petersburg, 190005 Russia

^{*}E-mail: dyachkova_on@mail.ru

The article presents a description of the rank model for calculating the recreational load on the territory of green open space. The object of our research is the demand for open green spaces in the city for local residents. Our model is based on the theory of chances. Within the framework of research need imagine that all territories (including territories of location green open space and territories of location residential district) are taken as material points. This means that the internal structure of the allocated territory can be ignored within the framework of this model. The attitude of the urban population towards green spaces that are close to their place of residence is important to study in different ways. Our model includes two parts: in the first part of this model the recreational load is considered as a mathematical expectation of the number of visitors; in the second part, the recreational load is considered as a Poisson random variable with a time-dependent parameter. Decision makers can use this model for substantiation of urban planning standards, for developing urban areas and for landscaping.

Keywords: city, urban environment, complex development of the territory, residential complex, green open spaces, the quality of life, rank model, theory of chances

REFERENCES

1. Bazilevich, A.M. *Voprosy metodologii gradostroitel'nogo normirovaniya ozelenennykh territorii* [Methodological issues of urban planning regulation for green areas]. *Le-snoi vestnik*, 2018, no 22 (3), pp. 76–84. <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2018-3-76-84> (in Russian).
2. Bakaeva, N.V., Chernyaeva, I.V. *Voprosy ozeleneniya gorodskoi sredy pri realizatsii funktsii biosferosovmestimogo goroda* [Issues of greening the urban environment in the implementation of the functions of the biosphere-compatible city]. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*, 2018, vol. 2 (76), pp. 85–94. (in Russian)
3. Borisov, M.V., Bakaeva, N.V., Chernyaeva, I.V. *Normativno-tekhnicheskoe regulirovanie v oblasti ozeleneniya gorodskoi sredy* [Normative and technical regulation in urban green space arrangement]. *Vestnik MGSU*, 2020, Vol. 15 (2), pp. 212–222. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2020.2.212-222> (in Russian)
4. Danilina, N.V., Majorzadehzahiri, A. Analysis situation of urban green space framework in Tehran. *Vestnik MGSU*, 2021, vol. 16 (8), pp. 975–985. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2021.8.975-985>
5. D'yachkova, O.N. *Zelenye nasazhdeniya v sisteme blagoustroystva pridoimovykh (privatnykh) territorii mnogokvartirnykh zdaniy* [Green space in the improvement system of adjacent territory (private) areas of apartment buildings]. *Geoekologiya*, 2020, vol. 1, pp. 67–71. <https://doi.org/10.31857/S0869780922010039> (in Russian)
6. D'yachkova, O.N. *Printsipy strategicheskogo planirovaniya razvitiya "zelenoi" infrastruktury gorodskoi sredy* [Strategic planning principles for the development of "green" infrastructure of the urban environment]. *Vestnik MGSU*, 2021, no. 16 (8), pp. 1045–1064. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2021.8.1045-1064> (in Russian)
7. D'yachkova, O.N., Mikhailov, A.E. *Metodika rascheta rekreatsionnoi nagruzki na lokal'nye parki* [Methodology for estimation of recreational load on local parks]. *Biosfernaya sovместimost': chelovek, region, tekhnologii*, 2022, no. 3, pp. 121–133. <https://doi.org/10.21869/2311-1518-2022-39-3-121-133> (in Russian)
8. Slepnev, M.A., Popov, A.V. *Ekologicheskaya emkost' gorodskikh prirodno-antropogennykh territorial'nykh kompleksov* [Ecological capacity of urban natural and anthropogenic territorial complexes]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*, 2019, no. 3, pp. 57–60. <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-3-57-60> (in Russian)
9. Slepnev, M.A., Filyakova, E.I. *Otsenka rekreatsionnoi nagruzki gorodskogo parka kul'tury i otdykha gorod Orel* [Estimation of recreational load of Orel city urban recreational park]. *Biosfernaya sovместimost': chelovek, region, tekhnologii*, 2019, no 3, pp. 101–110.

- <https://doi.org/10.21869/23-11-1518-2019-27-3-101-110> (in Russian)
10. Sotnikova, O.A., Bogatova, T.V., Semenova, E.E. *Us-toichivoe razvitie territorii: sootnoshenie prirodnoi sredy i gorodskoi zastroiki* [Sustainable development of territories: ratio of natural environment to urban development]. *Sotsiologiya goroda*, 2020, no. 3, pp. 30–40. (in Russian)
 11. Arvanitidis, P. Unlocking green space: perceptions and attitudes on various aspects of urban green space. *Green Keys*, 2007. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.536.6483&rep=rep1&type=pdf>.
 12. Douglas, O., Lennon, M., Scott, M. Green space benefits for health and well-being: a life-course approach for urban planning, design and management. *Cities*. 2017, vol. 66, pp. 53–62. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2017.03.011>
 13. Niemelä, J. Ecology of urban green spaces: the way forward in answering major research questions. *Landscape and Urban Planning*, 2014, vol. 125, pp. 298–303. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.07.014>
 14. Noulas, A., Scellato, S., Lambiotte, R., Pontil, M., Mascolo C. A tale of many cities: universal patterns in human urban mobility. *PLoS ONE*, 2012, 7 (5), e37027. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0037027>
 15. Saaty, T.L. Relative measurement and its generalization in decision making. Why pair-wise comparisons are central in mathematics for the measurement of intangible factors. The analytic hierarchy/network process. *RACSAM – Rev. R. Acad. Cien. Serie A. Mat.*, 2008, no. 102 (2), pp. 251–318.
 16. Zhang, L., Cao, H., Han, R. Residents' preferences and perceptions toward green open spaces in an urban area. *Sustainability*, 2021, no. 13, p. 1558. <https://doi.org/10.3390/su13031558>