


**Мазаев
Антон
Григорьевич**

кандидат архитектуры,
академик РААСН,
зав. лабораторией,
филиал ФГБУ
«ЦНИИП Минстроя России»
УралНИИпроект,
Екатеринбург, Российская
Федерация

e-mail: uro-raasn@mail.ru


**Федяева
Мария
Максимовна**

магистр, Уральский
федеральный университет
им. первого Президента
России Б. Н. Ельцина
(УрФУ), Институт строи-
тельства и архитектуры,
Екатеринбург, Российская
Федерация

e-mail:
Fediaeva.Maria@urfu.me


**Петров
Виктор
Иванович**

студент, Уральский фе-
деральный университет
им. первого Президента
России Б. Н. Ельцина
(УрФУ), Институт радио-
электроники и информа-
ционных технологий (РТФ),
Екатеринбург, Российская
Федерация

e-mail:
petrov.viktor@urfu.me

Разработка программного продукта для анализа и визуализации градостроительных данных на основе методики поля расселения

В статье представлена разработка программного продукта, предназначенного для автоматизации расчетов и визуализации пространственных данных о состоянии систем расселения. Основное внимание уделяется методике расчета поля напряженности на основе данных о населенных пунктах и их влиянии на окружающие территории, а также разработке программного обеспечения, которое ускорит и упростит процесс оценки рациональности и перспективности территориальных систем расселения. Показаны возможности и преимущества для профессиональных градостроителей от применения данного продукта. Представлен сценарий успешного использования данного продукта.

Ключевые слова: поле расселения, величина напряжения «поля расселения», программный продукт в градостроительстве, «большие данные».

Mazaev A. G., Fediaeva M. M., Petrov V. I.

Development of a software product for analysis and visualization of urban planning data based on the settlement field methodology

The article discusses the process of developing a software product designed to automate calculations and visualization of spatial data on the state of settlement systems. The main attention is paid to the method of calculating the field of tension based on data on settlements and their impact on surrounding areas, as well as the development of software that will speed up and simplify the process of assessing the rationality and prospects of territorial settlement systems. The possibilities and advantages for professional urban planners from the use of this product are shown. A scenario of successful use of this product is presented.

Keywords: settlement field, the value of the «settlement field» tension, software product in urban planning, «big data».

Целью данной статьи является исследование закономерностей и особенностей пространственного развития территориальных систем расселения различных уровней. Предполагается формирование программного продукта, позволяющего осуществлять сбор, анализ и визуализацию градостроительных данных.

Вопрос обработки и визуализации больших объемов градостроительных данных, построение на их основе прогнозных моделей интересует градостроителей уже давно. В советский период ряд ученых много сделали для решения этой задачи. Среди них следует упомянуть имя О. К. Кудрявцева [3], который построил ряд сводных пространственных моделей систем расселения, проводивших такое обобщение, на основе чего был наглядно выявлен каркас расселения страны. В настоящее время аналогичные исследования проводят Г. М. Лаппо [5] и П. М. Поляна [8]. В. Р. Баширов разрабо-

тал методику адекватного картографического отображения развития систем расселения [1]. Интересная диссертационная работа выполнена О. В. Кушнырь, в которой проведено сравнительное изучение и обобщение существующих методик картографирования ареалов расселения [4]. Монография «Оптимизация систем расселения» [6] посвящена вопросам оптимизации систем расселения различных территориальных уровней. На основе введенной автором системы новых понятий градостроительной теории разработан ряд методик исследования их состояния и прогноза развития. Представлены модели оптимизированного состояния систем расселения трех федеральных округов: Уральского, Сибирского и Дальневосточного, а также общие характеристики оптимизации системы расселения России.

Градостроительная деятельность связана со сбором, анализом, расчетами и визуализацией большого числа исходных данных. Причем

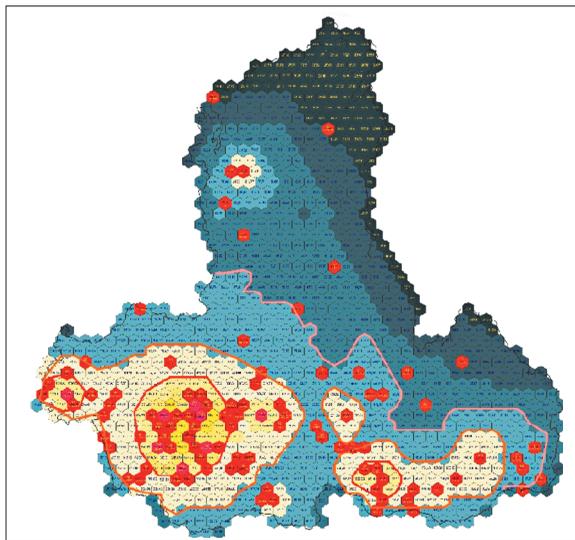


Иллюстрация 1. Пример поля расселения для Сибирского федерального округа. Авторский рисунок. Источник: [4]

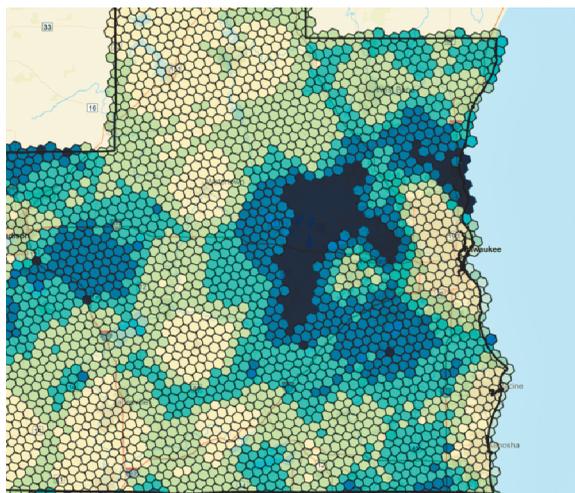


Иллюстрация 2. Пример работы библиотеки H3. Ячейки сетки отображают время, затраченное на поездку в денежном выражении за 10 минут. Авторский рисунок

объем этих данных стремительно растет и потенциально ничем не ограничен. Их сбор и анализ без участия специализированной компьютерной программы представляют собой почти нереальную задачу и связаны с огромными трудозатратами. В настоящее время ведутся активные исследования в области теории расселения, теории городских агломераций и иных разделов теории градостроительства, при исследовании которых такая программа необходима. Потому создание программного продукта, способного осуществлять расчеты больших массивов данных в области градостроительства, является в настоящее время насущной задачей. Попытке создания такого программного продукта посвящена эта статья. По-видимому, речь идет лишь о первом этапе такой работы, но уже сейчас можно говорить о ее первых практических результатах.

Среди иностранных исследователей имеется много разработок и предложений по развитию программных продуктов в градостроительстве. Среди главных целей этого ими выделяется: использование качественных аналитических продуктов, а следовательно, и эффективное принятие решений, более высокая эффективность извле-

чения пространственной информации, а следовательно, и качественный анализ, повышение качества процесса пространственного анализа и государственной услуг в учреждениях городского планирования [9].

Современные исследования в области градостроительства и пространственного планирования требуют специализированных инструментов, способных не только обрабатывать большие массивы геоданных, но и предоставлять исследователям интуитивно понятные механизмы их визуализации. В данной статье описывается разработанное веб-приложение, предназначенное для автоматизации сбора, обработки и визуализации данных о расселении с использованием гексагональной сетки и расчета показателей пространственной напряженности.

Требуемый результат проведенной работы: программный продукт в виде самостоятельной программы, способной автоматически проводить расчеты ряда ключевых показателей, характеризующих состояние систем расселения. В частности, проводящий расчет величины поля напряжения в ячейках гексагональной сетки различного масштаба, в соответствии с формулами расчета поля напряжения и возможностью модификации этих формул.

Разрабатываемое ПО позволит существенно ускорить оценку рациональности и перспективности расселения. Один из ключевых этапов в развитии исследований в сфере оптимизации систем расселения — это возможность визуализировать данные и рассчитать показатели напряженности поля расселения. Необходимо уметь строить большое количество так называемых полей, перебирать варианты развития расселения для той или иной территории. На Иллюстрации 1 приведен пример поля расселения для Сибирского федерального округа. Рассматриваемая территория разбивается ячейками гексагональной формы. Если в ячейку попали населенные пункты, она является «заселенной», в ней указывается общая численность населения, попавшая в нее. Заселенная ячейка оказывает влияние на территории вокруг нее, поэтому необходимо рассчитать потенциалы напряжения каждой ячейки и окрасить их в соответствии с некоторыми правилами, затем необходимо перенести данные в MS Excel и найти суммарную напряженность в каждой ячейке. Данная работа в настоящее время ведется вручную, что крайне трудоемко. Требуется создать программный продукт, который позволит автоматизировать и визуализировать расчеты.

Программы, имеющие функциональные возможности, близкие к разрабатываемому инструменту

H3 (Uber) — библиотека для создания гексагональных сеток с поддержкой JavaScript и Python. Позволяет анализировать плотность точек интереса (например, заказов такси) и интегрируется с Kepler.gl для интерактивной визуализации¹.

QGIS с H3ToolkitPlugin — открытое решение для GIS-анализа, где гексагоны используются для расчета показателей (например, преступность, загрязнение). Позволяет генерировать гексагональные сетки любого масштаба, от кварталов до городов, на основе выбранной пользователем территории [9].

UrbanFootprint — коммерческая платформа для сценарного моделирования застройки. Гексагоны выступают здесь не как основной инструмент, она предлагает

1 Esri. Using Uber H3 Hexagons in ArcGIS Business Analyst Pro // ArcGIS Blog: Business Analyst. — URL: <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/bus-analyst/analytics/using-uber-h3-hexagons-arcgis-business-analyst-pro> (дата обращения: 28.04.2025).

продвинутую аналитику плотности населения и инфраструктуры через пользовательские слои².

Существующие инструменты — H3, QGIS, UrbanFootprint — обладают существенными ограничениями, такими как: отсутствие специализированных функций для расчета напряженности поля расселения; необходимость ручного выполнения большинства операций; высокая стоимость коммерческих решений. Уникальность и ценность предлагаемого нами ПО состоит в том, что оно устраняет эти недостатки, предлагая:

- полностью автоматизированный расчет ключевых показателей;
- гибкую систему параметризации формул;
- интеграцию с открытыми геоданными.

Это обуславливает высокую значимость инструмента для научной деятельности в сфере градостроительства.

Перечень требований к разрабатываемому продукту

Для разработки программы нами определены бизнес-требования [3] верхнего уровня к ней:

- минимизировать количество ручных расчетов: после ввода данных о количестве ячеек, количестве «заселенных» ячеек и значения в «заселенной» ячейке программа самостоятельно должна произвести необходимые расчеты;
- автоматизировать визуализацию расчетов (программе необходимо самостоятельно строить поля напряжения от заданного количества ячеек);
- сделать возможным вывод данных для дальнейшей работы с ними.

Пользовательские требования описывают цели или задачи, которые пользователи должны иметь возможность выполнять с помощью продукта, который, в свою очередь, должен приносить пользу кому-то³. Были сформулированы следующие пользовательские требования. Пользователь:

- должен иметь возможность вернуться к ранее выполненным расчетам, сохранять их и редактировать;

2 UrbanFootprint. Power Your Next Project with the Existing Conditions Dashboard // UrbanFootprint Blog. 2023. — URL: <https://urbanfootprint.com/> (дата обращения: 01.05.2025).

3 Нефункциональные требования к программному обеспечению: [сайт]. 2024. — URL: <https://habr.com/ru/articles/231961/> (дата обращения: 20.11.2024).



Иллюстрация 3. Пример работы UrbanFootprint. Здесь показана карта пешеходного доступа к паркам в центре Сан-Диего, Калифорния. Более темные оттенки синего обозначают участки с большим расстоянием до ближайшего парка. Авторский рисунок

Таблица 1. Первоначальный сценарий использования разрабатываемого программного продукта

Действующие лица	Система, Пользователь
Цель	Пользователь: ввести данные в интересующем количестве, порядке Система: произвести расчеты и вывести графические изображения на основании данных, введенных Пользователем
Успешный сценарий:	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Пользователь запускает Программный продукт. 2. Пользователь переходит на вкладку «Новый расчет». 3. Пользователь задает размеры прямоугольного поля для построения гексагональной сетки. 4. Пользователь задает масштаб решетки, исходя из применяемого масштаба карты, и нажимает кнопку «Сохранить». 5. Пользователь подгружает графическое изображение карты и нажимает кнопку «Сохранить». 6. Система строит гексагональную сетку, исходя из полученных данных. 7. Система накладывает сетку на загруженное изображение карты. 8. Пользователь отключает ячейки, которые не попадают в рассматриваемую область, и нажимает кнопку «Сохранить». 9. Пользователь заполняет данными ячейки, попавшие на населенные пункты. 10. Пользователь отключает видимость карты нажатием кнопки «Отключить видимость карты». 11. Пользователь нажимает кнопку «Запустить расчет». 12. Система производит расчет на основании полученных данных, сортирует данные на «заселенные» ячейки, ячейки с потенциалом «выше среднего», ячейки с потенциалом «ниже среднего». 13. Система окрашивает «заселенные» ячейки в красный цвет, ячейки «выше среднего» — желтым, ячейки «ниже среднего» — голубым. 14. Система сохраняет рассчитанные данные. 15. Пользователь выгружает изображение и рассчитанные значения 	
Результат:	Пользователь получил графическое изображение поля расселения и выгрузил результаты расчетов в формате csv для дальнейшего использования
Расширения:	
7а	Если Пользователя не устроило изображение карты или ее масштаб, то возможны следующие действия: 1. Пользователь нажимает кнопку «Заменить изображение». 2. Система дает возможность подгрузить другое изображение. 3. Система ожидает нажатия кнопки «Сохранить»
7б	Если Пользователя не устроил выбранный масштаб ячеек: 1. Пользователь нажимает кнопку «Изменить масштаб ячеек». 2. Система дает возможность заново задать масштаб решетки. 3. Система ожидает нажатия кнопки «Сохранить»
8а	Если Пользователь отключил не ту ячейку: 1. Пользователь повторно нажимает ячейку. 2. Система «включает» ячейку
10а	Если Пользователю нужно оставить отображение карты: 1. Пользователь игнорирует кнопку «Отключить видимость карты». 2. Система оставляет изображение карты под гексагональной сеткой

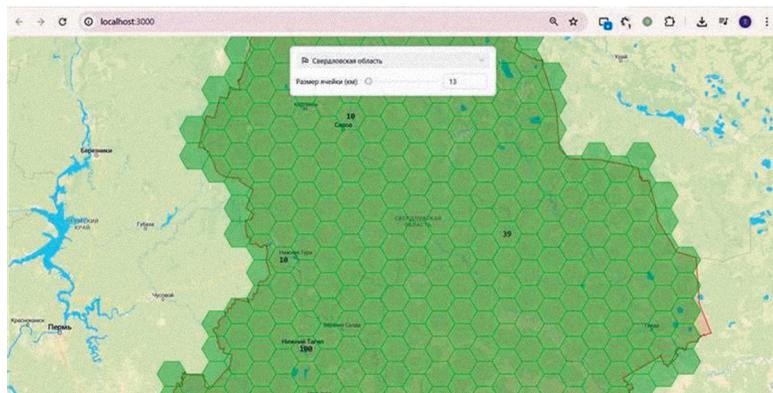


Иллюстрация 4. Пример работы разрабатываемого ПО — выбрана Свердловская область, покрыта гексагональной сеткой, заполнены некоторые ячейки. Авторский рисунок

- требует удобный интерфейс с интуитивно понятным структурированием функций и возможностью персонализации интерфейса под свои потребности;
 - должен иметь возможность импорта и экспорта данных в различные форматы, такие как Excel, CSV и PDF;
 - требует автоматического резервного копирования данных с возможностью восстановления информации в случае сбоя системы.
- Функциональные требования* включают описание процессов, данных и взаимодействий между различными компонентами системы⁴. Use Case или сценарий использования — сценарная техника описания взаимодействия пользователей с продуктом, которое приведет к достижению конкретной цели. Первоначальный сценарий использования приведен в Таблице 1.

Принципы работы продукта

Архитектура и функциональные возможности

Приложение построено по модульному принципу и включает клиентскую часть, выполняющую все ключевые функции, и серверный компонент, реализация которого запланирована на следующих этапах разработки.

Клиентская часть реализована на базе React (иногда stylized как React.js или ReactJS — это JavaScript-библиотека с открытым исходным кодом для создания интерактивных пользовательских интерфейсов (UI) веб-приложений) с использованием TypeScript

4 Алгоритм описания функциональных требований к системе в формате UseCase: [сайт]. 2024. — URL: https://systems.education/functional_requirements_in_usecases#introduction (дата обращения: 20.11.2024).

(языка программирования, являющегося надмножеством JavaScript), что обеспечивает строгую типизацию и масштабируемость кода. Для визуализации геопространственных данных задействованы библиотеки Deck.gl и react-map-gl, позволяющие отображать гексагональную сетку поверх картографической основы из OpenStreetMap (также OSM — это свободная интерактивная карта мира, создаваемая сообществом пользователей по принципу Википедии, которая предоставляет открытые геоданные для любых целей)⁵. Генерация сетки и геопространственные операции (например, вычисление boundingbox или буферизация) выполняются с помощью Turf.js (JavaScript-библиотека для геопространственного анализа).

Пользовательский интерфейс, построенный на компонентах AntDesign, включает следующие функциональные блоки:

- поиск локаций через интеграцию с Nominatim API (OpenStreetMap), позволяющий выбирать территории для анализа;
- настройка параметров сетки, включая размер ячеек в километрах;
- ввод данных о заселенности (например, численность населения) как вручную для отдельных ячеек, так и путем импорта из CSV/Excel (функция в разработке);
- визуализация результатов через цветовое кодирование ячеек на основе рассчитанных показателей напряженности.

Для управления состоянием приложения (выбранная локация, пара-

5 Первые шаги в визуализации данных с использованием Geopandas и OSM. 2025: [сайт]. — URL: <https://habr.com/ru/articles/515328/> (дата обращения: 10.04.2025).

метры сетки, результаты расчетов) используется легковесное хранилище Zustand, а асинхронные операции (например, поиск объектов) обрабатываются через ReactQuery (библиотеку, обеспечивающую кэширование, синхронизацию и автоматическое обновление данных при работе с API).

Серверная часть на текущем этапе отсутствует: все вычисления, включая расчет напряженности с учетом вклада соседних ячеек, выполняются в браузере. В перспективе планируется перенести ресурсоемкие вычисления на сервер с использованием FastAPI (Python), что обеспечит высокую производительность при расчетах для территорий с высокой детализацией.

Ключевые алгоритмы

Генерация гексагональной сетки:

На основе boundingbox выбранной территории Turf.js создает равномерную сетку шестиугольников. Размер ячейки задается пользователем.

Для каждой ячейки вычисляется пересечение с исходными данными (например, границами населенных пунктов) для определения ее значимости.

Расчет показателей напряженности:

Для каждой ячейки оценивается вклад соседних ячеек (по принципу гравитационной модели), что позволяет моделировать поля расселения.

В основе методики расчета напряженности поля расселения лежит гравитационная модель, предложенная в исследовании А. Г. Мазаева [6], учитывающая взаимное влияние населенных пунктов в пределах анализируемой территории. Расчет выполняется по следующему алгоритму: для каждой ячейки гексагональной сетки определяется показатель напряженности как сумма взвешенных вкладов от всех соседних заселенных ячеек, где вес обратно пропорционален квадрату расстояния между ними. Математически это выражается формулой:

$$T_i = \sum \frac{P_j}{d_{ij}^2},$$

где T_i — напряженность в i -й ячейке; P_j — численность населения в j -й соседней заселенной ячейке; d_{ij}^2 — расстояние между центрами ячеек i и j .

Результаты нормализуются и визуализируются через градиентную цветовую шкалу.

На Иллюстрации 4 показан интерфейс программы.

Таблица 2. Прогнозируемый эффект от внедрения разрабатываемого Продукта

Параметр	Традиционные методы	Наш продукт
Время расчета (на район)	8–12 часов (и более)	15–30 мин
Точность	70–75%	89–92%
Стоимость внедрения	От 500 тыс. руб.	Бесплатно

Пример использования: исследователь может загрузить границы муниципалитета, задать размер сетки (например, 13 км) и ввести данные о населении для ключевых ячеек. Приложение автоматически рассчитывает напряженность расселения, выделяя зоны с высокой и низкой активностью. Полученные данные экспортируются в CSV для дальнейшего анализа.

Заключение

Практическая значимость программы велика, так как она позволит существенно ускорить процесс работы по оценке рациональности текущего состояния и перспективности расселения, к тому же программа позволит предоставить результаты исследования объективно в числовой форме. Органам власти она поможет оптимизировать решения по развитию инфраструктуры (транспорт, ЖКХ) на основе объективных данных. Научному сообществу даст возможность тестирования гипотез через модификацию формул (например, учет экологических факторов).

В Таблице 2 показан прогнозируемый эффект от внедрения ПО.

Продукт не имеет прямых аналогов благодаря:

- Гибкости: Поддержка пользовательских формул.
- Доступности: Веб-интерфейс на фоне требующих лицензий GIS-систем.
- Интерактивности: Редактирование гексагональной сетки в реальном времени против статичных карт QGIS.

Ключевые преимущества нашего продукта:

- Единственное решение для комплексного анализа поля расселения.
- Поддержка пользовательских моделей расчета.
- Экономическая эффективность.
- Возможность масштабирования на региональном уровне.

Дальнейшие варианты развития Продукта:

- Интеграция с BIM-системами.
- Модуль прогнозирования миграции.
- Внедрение возможности масштабирования гексагональной сетки.

- Возможность изменения формулы расчета напряженности поля.

Все это позволит моделировать состояние поля расселения в соответствии с различными теоретическими представлениями о нем, а также представлять данные о состоянии поля расселения в полимасштабной форме, что позволяет достигать необходимой в каждом случае степени обобщения геоданных.

Список использованной литературы

- [1] Баширов В. Р. Совершенствование методики картографирования системы расселения населения России: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.33. — М., 2017. — 123 с.
- [2] Кон М. Пользовательские истории: Гибкая разработка программного обеспечения. — М.: ООО И. Д. Вильямс, 2012. — 246 с.
- [3] Кудрявцев О. К. Расселение и планировочная структура крупных городов-агломераций. — М.: Стройиздат, 1985. — 136 с.
- [4] Кушнырь О. В. Разработка методики картографирования ареалов концентрации населения: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.33. — М., 2015. — 117 с.
- [5] Лаппо Г. М. Города России: Взгляд географа. — М.: Новый хронограф, 2012. — 504 с.
- [6] Мазаев А. Г. Оптимизация систем расселения: монография. — Екатеринбург: Альфа Принт, 2022. — 333 с.
- [7] Мазаев А. Г. Понятие относительной численности города в условиях Сибири // Академический вестник УралНИИ-проект РААСН. — 2020. — № 3. — С. 22–27: [сайт] — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44042843> (дата обращения: 14.05.2025).
- [8] Полян П. М. Территориальные структуры — урбанизация — расселение: теоретические подходы и методы изучения. — М.: Новый хронограф, 2014. — 782 с.
- [9] Sinjari S., Kosovrasti A. Geographic Information

Systems (GIS) in Urban Planning // European Journal of Interdisciplinary Studies. — April 2015. — Vol. 1. — № 1. — P. 85–92: [сайт] — URL: https://www.researchgate.net/publication/318535166_Geographic_Information_Systems_GIS_in_Urban_Planning (дата обращения: 14.05.2025).

References

- [1] Bashirov V. R. Sovershenstvovanie metodiki kartografirovaniya sistemy rasseleniya naseleniya Rossii: dis. ... kand. tekhn. nauk: 25.00.33. — M., 2017. — 123 s.
- [2] Kon M. Pol'zovatel'skie istorii: Gibkaya razrabotka programmnogo obespecheniya. — M.: OOO I. D. Vil'yams, 2012. — 246 s.
- [3] Kudryavcev O. K. Rasselenie i planirovochnaya struktura krupnyh gorodov-aglomeracij. — M.: Strojizdat, 1985. — 136 s.
- [4] Kushnyr' O. V. Razrabotka metodiki kartografirovaniya arealov koncentracii naseleniya: dis. ... kand. tekhn. nauk: 25.00.33. — M., 2015. — 117 s.
- [5] Lappo G. M. Goroda Rossii: Vzglyad geografa. — M.: Novyj hronograf, 2012. — 504 s.
- [6] Mazaev A. G. Optimizaciya sistem rasseleniya: monografiya. — Ekaterinburg: Al'fa Print, 2022. — 333 s.
- [7] Mazaev A. G. Ponyatie odnositel'noj chislennosti goroda v usloviyah Sibiri // Akademicheskij vestnik UralNIiproekt RAASN. — 2020. — № 3. — S. 22–27: [sajt] — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44042843> (data obrashcheniya: 14.05.2025).
- [8] Polyan P. M. Territorial'nye struktury — urbanizaciya — rasselenie: teoreticheskie podhody i metody izucheniya. — M.: Novyj hronograf, 2014. — 782 s.
- [9] Sinjari S., Kosovrasti A. Geographic Information Systems (GIS) in Urban Planning // European Journal of Interdisciplinary Studies. — April 2015. — Vol. 1. — № 1. — P. 85–92: [sajt] — URL: https://www.researchgate.net/publication/318535166_Geographic_Information_Systems_GIS_in_Urban_Planning (data obrashcheniya: 14.05.2025).

Статья поступила в редакцию 14.05.2025.
Опубликована 30.09.2025.

Мазаев Антон Григорьевич

кандидат архитектуры, академик РААСН, зав. лабораторией, филиал ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России» УралНИИпроект, Екатеринбург, Российская Федерация
e-mail: uro-raasn@mail.ru
ORCID: 0000-0002-7751-8997

Mazaev Anton G.

Candidate of Architecture, Academician of the RAACS, Head of the Laboratory, Branch of FSBI «CIRD of the Ministry of Construction of Russia» UralNIIProjekt, Yekaterinburg, Russian Federation
e-mail: uro-raasn@mail.ru
ORCID: 0000-0002-7751-8997

Федяева Мария Максимовна

магистр, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина (УрФУ), Институт строительства и архитектуры, Екатеринбург, Российская Федерация
e-mail: Fediaeva.Maria@urfu.me

Fediaeva Mariya M.

Master, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin (UrFU), Institute of Construction and Architecture, Yekaterinburg, Russian Federation
e-mail: Fediaeva.Maria@urfu.me

Петров Виктор Иванович

студент, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина (УрФУ), Институт радиоэлектроники и информационных технологий (РТФ), Екатеринбург, Российская Федерация
e-mail: petrov.viktor@urfu.me

Petrov Viktor I.

Student, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin (UrFU), The Engineering School of Information Technologies, Telecommunications and Control Systems, Yekaterinburg, Russian Federation
e-mail: petrov.viktor@urfu.me