

УДК 004.421:711

Оценка согласованности развития обеспечивающей инфраструктуры города на основе анализа пространственных данных

Парыгин Д. С., Алешкевич А. А., Садовникова Н. П., Зуев А. Ю.,
Зеленский И. С., Харина А. С., Сивашова Е. С.

Постановка задачи: в существующих подходах к исследованию качества предоставления городских услуг отсутствуют объективные критерии для оценки обеспеченности населения объектами инфраструктуры. В лучшем случае эта оценка осуществляется на основе официальной статистики, данные которой не всегда объективно отражают реальное положение дел и быстро устаревают. Для поддержки принятия решений по управлению развитием городской среды необходимы инструменты, позволяющие оценивать текущее ее состояние и прогнозировать возможные проблемы, связанные со снижением качества жизни. Особенно это важно при возникновении чрезвычайных ситуаций, когда решение приходится принимать в ограниченные сроки в условиях высокой неопределенности. **Целью работы** является разработка метода количественной оценки согласованности развития обеспечивающей инфраструктуры на основе объективных критериев, позволяющих учитывать особенности пространственного развития и потребительские качества урбанизированной территории. **Используемые методы:** предложен метод количественной оценки согласованности развития обеспечивающей инфраструктуры (ОИ). Для расчета отдельных показателей инфраструктурной обеспеченности предложены алгоритмы на основе пространственного анализа данных. Выделены классы объектов и введен интегральный показатель для оценки согласованности развития обеспечивающей инфраструктуры. **Новизна:** элементами новизны представленных решений является учет потребительских свойств территории и реальных возможностей существующих объектов городской инфраструктуры удовлетворять потребности населения в процессе оценки инфраструктурной обеспеченности. Введено понятие когерентности территории как интегрального показателя для оценки согласованности развития обеспечивающей инфраструктуры, удовлетворяющей потребности населения. **Результат:** рассмотрены недостатки существующих подходов к оценке качества городской среды и показана необходимость учета особенностей территории и ее потребительских свойств. Предложен новый показатель качества городской среды, основанный на понятии когерентности территории. Разработан метод количественной оценки согласованности развития обеспечивающей инфраструктуры. **Практическая значимость:** в статье представлены компоненты разрабатываемой системы для оценки качества городской среды на основе анализа пространственных данных и алгоритмы расчета отдельных показателей инфраструктурной обеспеченности. В текущей версии система позволяет выполнять автоматическую генерацию сетки заданного шага для выбранного города и расчет выбранных показателей. Сформулированы условия сбалансированного развития урбанизированной территории, которые необходимы для обеспечения потребностей жителей и создания комфортной и безопасной среды жизнедеятельности.

Ключевые слова: качество городской среды, городская среда, обеспечивающая инфраструктура, объект городской инфраструктуры, анализ пространственных данных, когерентность территории, оценка качества городских услуг, алгоритмы расчета показателей инфраструктурной обеспеченности.

Библиографическая ссылка на статью:

Парыгин Д. С., Алешкевич А. А., Садовникова Н. П., Зуев А. Ю., Зеленский И. С., Харина А. С., Сивашова Е. С. Оценка согласованности развития обеспечивающей инфраструктуры города на основе анализа пространственных данных // Системы управления, связи и безопасности. 2020. № 2. С. 73-100. DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10204.

Reference for citation:

Parygin D. S., Aleshkevich A. A., Sadovnikova N. P., Zuev A. Yu., Zelenskiy I. S., Kharina A. S., Sivashova E. S. Coherence Assessment of Urban Provision Infrastructure Development Based on the Spatial Data Analysis. *Systems of Control, Communication and Security*, 2020, no. 2, pp. 73-100 (in Russian). DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10204.

Введение

Устойчивый рост городского населения приводит к повышению уровня урбанизации. По имеющимся прогнозам во второй половине XXI века доля городского населения приблизится к 70% [1]. В то же время существует проблема деиндустриализации городов. Спад производства, как правило, связан с деградацией городских пространств. Тотальная зависимость градостроительной политики от устаревших регламентов влечет за собой необоснованный выбор градостроительных решений [2]. Неэффективное использование территорий, отсутствие системного взгляда на проблемы развития города и объективных критериев оценки результатов градостроительной деятельности приводит к структурному дисбалансу и негативно влияет на качество жизни населения [3].

Сложившиеся условия приводят к необходимости пересмотра критериев оценки градостроительной политики. На смену экономическим критериям, которые долгое время были основными показателями эффективности градостроительных проектов, приходят критерии, позволяющие оценивать качество городской среды [4]. Формируются новые принципы планирования территорий, учитывающие природные условия и особенности, позволяющие повысить эффективность использования имеющихся ресурсов и обеспечить условия для гармоничного развития человека [5].

В мире существуют более 200 различных индексов и рейтингов городов, которые используются для оценки качества городской среды. Из наиболее известных зарубежных методик анализа качества городской среды можно отметить методику расчета индекса устойчивого развития городов «Urban Sustainability Index», разработанную институтом McKinsey Global Institute [6]. Индекс учитывает характеристики градостроительной среды: плотность населения, интенсивность использования общественного транспорта и площадь озеленения общественного пространства.

Рейтинг городов по качеству жизни консалтинговой группы «Mercer» [7] ежегодно рассчитывается в 420 городах на основании 39 показателей, объединенных в 10 групп. К основным измеряемым показателям относятся: жилищные условия, наличие потребительских товаров, общественный транспорт, социально-политическую и культурную обстановку, наличие развлечений, природные условия и состояние экономики. Данная методика не учитывает качество застройки города и другие показатели, связанные с эффективностью градостроительства.

Индекс качества городской среды, разработанный специалистами КБ «Стрелка» [8] предназначен для мониторинга состояния городской среды всех 1114 городов России, вне зависимости от их размера, количества жителей, климата и других факторов. Индекс составляется для каждого города на основе шести показателей, каждый из которых представляет определенный тип пространства: «жилье и смежные пространства», «уличная инфраструктура», «озеленение и водные пространства», «социально-досуговая инфраструктура и смежные пространства», «общественно-деловая инфраструктура и смежные пространства» и «общегородское пространство». Каждый тип пространства

оценивается на основе пяти критериев: безопасность, комфорт, экологические свойства, идентичность и универсальность, а также насколько современна окружающая среда.

На основе этих исследований была разработана и утверждена методика формирования индекса качества городской среды (Распоряжение правительства РФ от 23 марта 2019 г. № 510-р [9]). Эта методика используется для выявления конкурентных преимуществ городов и ограничений, препятствующих их развитию, в рамках реализации положений Указа Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 г. N 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» и национального проекта «Жилье и городская среда» [10].

Основным недостатком существующих подходов является отсутствие механизмов количественной оценке обеспеченности населения объектами инфраструктуры. В большинстве случаев эти критерии либо не учитываются, либо определяются на основе официальной статистики. Эти данные не всегда объективно отражают реальное положение дел и быстро устаревают [11].

В связи с этим появляется необходимость в создании новых подходов к оценке качества городской среды на основе объективных критериев, позволяющих учитывать особенности пространственного развития и потребительские качества урбанизированной территории.

1. Метод оценки согласованности развития обеспечивающей инфраструктуры города на основе анализа пространственных данных

Предлагаемый метод основан на анализе потребительских свойств территории и учитывает реальные возможности существующих объектов городской инфраструктуры обеспечить необходимый уровень качества жизни жителей.

Достаточное количество и доступность объектов инфраструктуры различных типов, в конечном счете, определяют качество среды жизнедеятельности людей и безопасность, особенно в чрезвычайных ситуациях, когда вопросы жизнеобеспечения особенно важны. Для оценки данного свойства городской среды введем понятие когерентности территории. Когерентность территории (КТ) – это согласованность развития обеспечивающей инфраструктуры, удовлетворяющей потребности населения.

Таким образом, когерентность территории является одним из показателей качества городской среды. Это интегральный показатель, который формируется на основе расчета показателей, определяющих обеспеченность отдельных потребностей. Когерентность территории может оцениваться как для локального участка, так и для всего города в целом. В качестве базового объекта оценки предлагается ультралокальный участок территории (УлУТ) размером 250×250 м. Выбор такой размерности обусловлен тем, что центры всех смежных ячеек находятся в пределах усредненной 10-минутной пешеходной изохроны или 500-метровой удаленности друг от друга (до остановочного пункта согласно СНиП 2.07.01-89*), при крайних нормативных значениях 250 м в условиях центра и мест массового скопления [12]. Соответственно, с учётом тех же градостроительных нормативов, параметры доступности объектов инфра-

структуры для таких участков территории будут рассчитываться на предельно допустимой дистанции в 750 м пешего пути (ДПП) во все стороны от центра УлУТ, или в скользящем окне (СОД) размером 1250×1250 м вокруг центра УлУТ для площадных и доступных на транспорте объектов.

Для каждого УлУТ требуется оценить достаточность объектов обеспечивающей инфраструктуры (ОИ), которые необходимы для реализации той или иной потребности жителей. Из совокупности объектов и структур ОИ можно выделить следующие типы:

- 1) объекты обеспечения физиологических потребностей жителей:
 - объекты продажи продуктов питания и хозяйственно-бытовых товаров;
 - объекты общепита;
 - объекты продажи одежды;
 - объекты сервиса одежды;
 - постоянное жилье;
 - объекты найма жилья;
 - объекты гостиничного сервиса;
 - объекты коммунального сервиса;
 - объекты продажи стройматериалов;
 - объекты продажи электротоваров;
 - медучреждения;
 - медицинские центры;
 - объекты продажи медикаментов;
 - объекты санитарно-гигиенического сервиса;
 - объекты сервиса профилактики здоровья;
 - объекты рекреационные пространства;
 - объекты культурно-досуговые учреждения;
 - спортивные площадки и клубы;
 - объекты коммуникационных услуг;
 - объекты общественного транспорта;
 - транспортные узлы;
 - объекты улично-дорожной сети;
 - объекты доставки грузов и отправлений;
 - объекты сервиса транспорта;
 - объекты продажи транспортных средств;
 - объекты хранения транспорта;
 - объекты сервиса брачных отношений;
 - объекты ритуальных услуг;
- 2) объекты обеспечения безопасности:
 - объекты экомониторинга;
 - объекты охраны правопорядка;
 - объекты чрезвычайных служб;
 - объекты скорой помощи;
 - объекты юридических услуг;
 - объекты судопроизводства;

- объекты финансовых услуг;
 - объекты сервиса общественно-государственных отношений;
 - организации-работодатели;
- 3) объекты обеспечения социализации:
- учреждения общего образования;
 - высшие учебные заведения;
 - учреждения профобразования;
 - детские центры дообразования;
 - клубы по интересам;
 - общественно-политические организации;
 - учреждения культуры;
 - спортивные сооружения;
 - объекты общественного пространства;
 - религиозно-культурные организации;
 - объекты культурного наследия;
 - развлекательные центры;
- 4) объекты обеспечения потребностей в самореализации:
- объекты сервиса спорта высоких достижений;
 - объекты сервиса красоты и здоровья;
 - взрослые центры дообразования;
 - объекты продажи узкоспециализированных товаров;
 - бизнес центры;
 - производственные центры.

Каждый объект ОИ необходим для реализации определенных потребностей жителей и обеспечивает реализацию определенных функций городской системы по предоставлению услуг населению. В соответствии с этим можно выделить функциональные страты (ФС) соответствующие определенному типу потребностей:

- $ФС_{ПТ}$ – приобретение товаров первой необходимости;
- $ФС_{ПЖ}$ – постоянное проживание;
- $ФС_{ВП}$ – временное проживание;
- $ФС_{ПУ}$ – повседневные услуги;
- $ФС_{КУ}$ – коммунальные услуги;
- $ФС_{БУ}$ – базовые услуги;
- $ФС_{ДУ}$ – досуг;
- $ФС_{ТУ}$ – транспортные услуги;
- $ФС_{ДА}$ – общественно-деловая активность;
- $ФС_{ЗА}$ – закрытая активность.

Для расчета когерентности УЛУТ разработана система показателей четырех типов. Первая группа характеризует укомплектованность участка территории объектами ОИ шаговой доступности (таблица 1).

Таблица 1 – Локальные показатели (ЛП) инфраструктурной обеспеченности

ФС	Показатель	Единица измерения
ФС _{ПТ}	Количество точек продажи продуктов питания и хозяйственно-бытовых товаров в ДПП	шт.
	Количество точек продажи медикаментов в ДПП	шт.
	Количество точек продажи строительных и отделочных материалов в ДПП	шт.
	Количество точек продажи электротоваров в ДПП	шт.
	Количество точек продажи одежды в ДПП	шт.
	Количество точек продажи услуг связи в ДПП	шт.
	Доля территории УлУТ под объектами торговли	%
ФС _{ПП}	Отношение площади всех этажей объектов жилой недвижимости к площади УлУТ, коэффициент FAR жилой застройки	%
	Количество предложений жилья в аренду на УлУТ	шт.
	Доля территории УлУТ под объектами жилой недвижимости	%
ФС _{ВП}	Количество предложений жилья в аренду в ДПП	шт.
	Количество отелей в ДПП	шт.
	Доля территории УлУТ под объектами гостиничного сервиса	%
ФС _{ПУ}	Количество сервисов одежды в ДПП	шт.
	Количество сервисов гигиены и ухода в ДПП	шт.
	Количество сервисов транспорта в СОД	шт.
	Количество заведений общественного питания в ДПП	шт.
	Количество типов заведений общественного питания в ДПП	шт.
	Количество финансовых организаций в ДПП	шт.
	Количество пунктов приёма и доставки грузов и отправок в ДПП	шт.
	Доля территории УлУТ под объектами сферы услуг	%
ФС _{КУ}	Доля жилого фонда, обеспеченного централизованными услугами тепло, водо, электроснабжения и водоотведения, в общем объеме жилого фонда УлУТ	%
	Отношение площади аварийного жилья к общей площади жилья на УлУТ	%
ФС _{БУ}	Количество медучреждений в ДПП	шт.
	Количество учреждения общего образования в ДПП	шт.
	Количество дошкольных учреждений в ДПП	шт.
	Доля территории УлУТ под социальными объектами	%
ФС _{ДУ}	Количество детских центров допобразования в ДПП	шт.
	Количество типов детских центров допобразования в ДПП	шт.
	Доля озелененных территорий общего пользования типа парков, скверов, садов в СОД	%
	Количество культурно-досуговых организаций и пространств в ДПП	шт.
	Количество типов культурно-досуговых организаций и пространств в ДПП	шт.
	Количество спортивных площадок и клубов в ДПП	шт.

ФС	Показатель	Единица измерения
	Количество религиозно-культурных мест в ДПП	шт.
	Количество объектов культурного наследия и архитектурно-эстетических форм на УЛУТ	шт.
	Доля территории УЛУТ под объектами рекреации, культуры, досуга и спорта	%
ФС _{ТУ}	Количество остановок общественного транспорта в ДПП	шт.
	Количество объектов микромобильности типа велопарковок, станций зарядки, пунктов проката на УЛУТ	шт.
	Доля территории под плоскостными парковками на УЛУТ	шт.
ФС _{ДА}	Количество организаций-работодатели в ДПП	шт.
	Количество типов организаций-работодателей в ДПП	шт.
	Доля территории под торгово-развлекательными комплексами, бизнес центрами, административными объектами на УЛУТ	%
ФС _{ЗА}	Доля территории УЛУТ с зелеными насаждениями	%
	Доля территории УЛУТ с водными объектами	%
	Доля территории УЛУТ с хозяйственными, гаражными, железнодорожными объектами	%
	Доля территории УЛУТ под производственными и военными объектами	%

Вторая группа включает центральные показатели (ЦП), которые являются общими для всей территории и представляют собой усредненную оценку доступности определенных объектов (таблица 2).

Показатели интеграции (ПИ) – третья группа показателей, характеризующая связанность всей рассматриваемой территории, а также изохрональную связанность объектов, относящихся к центральным показателям, со всеми равноудаленными участками территории. Методика расчета связанности территории представлена в статьях [12-14]. Выполняется расчет следующих ПИ:

- связанность всех УЛУТ со всеми остальными УЛУТ рассматриваемой территории посредством маршрутной сети общественного транспорта (коэффициент, изоповерхность), I_T ;
- связанность всех УЛУТ со всеми остальными УЛУТ рассматриваемой территории посредством улично-дорожной сети (коэф., изоповерхность), I_R ;
- относительная доступность УЛУТ с объектами ЦП для всех УЛУТ рассматриваемой территории посредством маршрутной сети общественного транспорта (коэф., изоповерхность), I_{A_T} ;
- относительная доступность УЛУТ с объектами ЦП для всех УЛУТ рассматриваемой территории посредством улично-дорожной сети (коэф., изоповерхность), I_{A_R} .

Таблица 2 – Центральные показатели инфраструктурной обеспеченности

Тип территории	Показатель	Единица измерения
УлУТ с «сетевыми» объектами (ЦПсо)	Доступность точек продаж и сервиса транспортных средств	коэф.
	Доступность точек продажи строительных материалов	коэф.
	Доступность сервисов общественно-государственных отношений типа МФЦ, отделов ЗАГС, полиции, налоговой инспекции, судов	коэф.
	Доступность сервисов электроники и бытовой техники	коэф.
	Доступность ритуальных служб	коэф.
	Доступность юридических организаций	коэф.
УлУТ с уникальными объектами (ЦПуо)	Доступность транспортных узлов междугороднего сообщения дальнего следования	коэф.
	Доступность медицинских центров	коэф.
	Доступность центров санаторно-профилактического обслуживания	коэф.
	Доступность высших учебных заведений	коэф.
	Доступность учреждений профобразования	коэф.
	Доступность клубов по интересам	коэф.
	Доступность общественно-политических организаций	коэф.
	Доступность театральных, концертных и музейно-выставочных учреждений	коэф.
	Доступность стадионов, спорткомплексов и зрительских спортивных сооружений	коэф.
	Доступность общественных пространств и выставочно-конференционных площадок	коэф.
	Доступность спортивных тренировочных комплексов и баз	коэф.
	Доступность центров красоты и здоровья	коэф.
	Доступность взрослых центров допобразования	коэф.
	Доступность точек продажи узкоспециализированных товаров	коэф.
	Доступность производственных центров	коэф.
Доступность развлекательных центров	коэф.	

Структурные показатели (СП) – четвертая группа показателей (таблица 3) определяет особенности размещения инфраструктурных объектов и способы использования территории.

Таблица 3 – Структурные показатели инфраструктуры и территории

Показатель	Единица измерения
Доля застроенной территории УлУТ	%
Отношение площади всех этажей всех объектов недвижимости к площади УлУТ, коэффициент FAR	%
Средняя площадь квартала на УлУТ по оценке в СОД	кв.м
Плотность улично-дорожной сети на УлУТ	км/кв.км
Отношение площади улично-дорожной сети к площади УлУТ без учёта водных объектов, коэффициент Дубелира для участка	%

При оценке уровня когерентности УЛУТ выполняется расчёт значений всех локальных показателей L_i и проводится их нормирование по формуле:

$$L'_i = \frac{10 \cdot L_i}{L_{\max}}, \quad (1)$$

где: L'_i – нормированное значение показателя; L_{\max} – максимальное значение показателя на всей рассматриваемой территории; $i = [1, n]$, где n – количество рассчитываемых локальных показателей.

Далее выполняется свёртка локальных показателей для каждой ФС по формуле:

$$F_j = \frac{\sum_{i=1}^l L'_i}{l}, \quad (2)$$

где: F_j – интегральная оценка всех показателей, включенных в определенную ФС; $j = [1, 10]$; $i = [1, l]$, где l – количество локальных показателей, включенных в определенную F_j .

Полученная оценка F_j нормируется по формуле:

$$F'_j = \frac{10 \cdot F_j}{F_{\max}}, \quad (3)$$

где: F'_j – нормированное значение интегральной оценки локальных показателей определенной страты; F_{\max} – максимальное значение интегральной оценки локальных показателей определенной страты на всей рассматриваемой территории.

Интегральная оценка локальных показателей L_p для УЛУТ будет рассчитываться по формуле:

$$L_p = \frac{\sum_{j=1}^{10} F'_j}{10}, \quad (4)$$

где: $p = [1, t]$, а t – количество УЛУТ, выделенных на рассматриваемой территории.

Согласно разработанной ранее методике [12], оценка относительной доступности каждого объекта ЦПСО и ЦПУО изначально выполняется по десятибалльной шкале. Поэтому интегральная оценка доступности A_p для УЛУТ всех объектов, отнесенных к ЦП, рассчитывается по формуле:

$$A_p = \frac{\sum_{d=1}^m I_{A_{r_m}} + \sum_{d=1}^m I_{A_{R_m}}}{2 \cdot m}, \quad (5)$$

где: $I_{A_{r_m}}$ – относительная доступность определенного объекта ЦП посредством маршрутной сети общественного транспорта; $I_{A_{R_m}}$ – относительная доступность определенного объекта ЦП посредством улично-дорожной сети; $d = [1, m]$, а m – количество рассчитываемых центральных показателей ЦПСО и ЦПУО вместе взятых.

В соответствии с методологией [14], оценка связанности территории выполняется по десятибалльной шкале. Тогда показатель интеграции УЛУТ I_p рассчитывается по формуле:

$$I_p = \frac{I_T + I_R}{2}, \quad (6)$$

где: I_T – связанность со всеми остальными УЛУТ рассматриваемой территории посредством маршрутной сети общественного транспорта; I_R – связанность со всеми остальными УЛУТ рассматриваемой территории посредством улично-дорожной сети.

Интегральная оценка когерентности C_p для каждого УЛУТ есть средняя оценка по локальному и центральному показателям, а также показателю его интеграции:

$$C_p = \frac{L_p + A_p + I_p}{3}. \quad (7)$$

При этом предельные значения КТ варьируются в зависимости от свойств структуры использования и застройки УЛУТ. Учёт этих различий осуществляется на основе определения ключевых для рассматриваемой территории морфотипов застройки. Для этого рассчитываются значений всех структурных показателей S_b , и проводится их нормирование по формуле:

$$S'_b = \frac{10 \cdot S_b}{S_{\max}}, \quad (8)$$

где: S'_b – нормированное значение показателя; S_{\max} – максимальное значение показателя на всей рассматриваемой территории; $b = [1, r]$, где r – количество рассчитываемых структурных показателей.

На основе инструментария, описанного в [15], выполняется кластеризация системы нормированных значений структурных показателей по всем УЛУТ рассматриваемой территории, в результате которой УЛУТ относится к определенному кластеру k . Полученные ранее оценки C_p для УЛУТ, принадлежащих одному и тому же кластеру, нормируются по формуле:

$$C'_p = \frac{10 \cdot C_p}{C_{k_{\max}}}, \quad (9)$$

где: C'_p – нормированное значение когерентности территории определенного УЛУТ; $C_{k_{\max}}$ – максимальное значение КТ среди всех значений УЛУТ, принадлежащих одному кластеру k . Тогда интегральная оценка когерентности C_a рассматриваемой территории рассчитывается по формуле:

$$C_a = \frac{\sum_{p=1}^t C'_p}{t}. \quad (10)$$

Полученная оценка дает обобщенное представление о развитии урбанизированной территории с точки зрения ее готовности к реализации потребностей человека и может использоваться для сравнительной оценки развития различных городов, агломераций, групп населенных пунктов или территорий. При

формировании интегральной оценки могут быть введены веса для повышения значимости отдельных показателей в зависимости от ситуации. Например, для обеспечения товарами первой необходимости и пунктами медобслуживания в условиях карантина или стихийных бедствий.

2. Алгоритмическое и программное обеспечение метода оценки согласованности развития обеспечивающей инфраструктуры

В рамках работы по реализации системы для оценки качества городской среды на данный момент разработана система управления данными и элементы интерфейса для визуального представления показателей, а также алгоритмы для семи показателей: «Количество заведений общественного питания в ДПП», «Количество типов заведений общественного питания в ДПП», «Количество медучреждений в ДПП», «Количество учреждения общего образования в ДПП», «Доля озелененных территорий общего пользования типа парков, скверов, садов в СОД», «Количество остановок общественного транспорта в ДПП», «Плотность улично-дорожной сети на УлУТ». Для организации работы с данными используется PostgreSQL [16] с предустановленным модулем PostGIS [17] (рис. 1) и данными из OpenStreetMap [18]. В текущей версии система позволяет выполнять автоматическую генерацию сетки заданного шага (в метрах) для выбранного города с удалением пустых ячеек [13], а также расчет выбранных показателей.

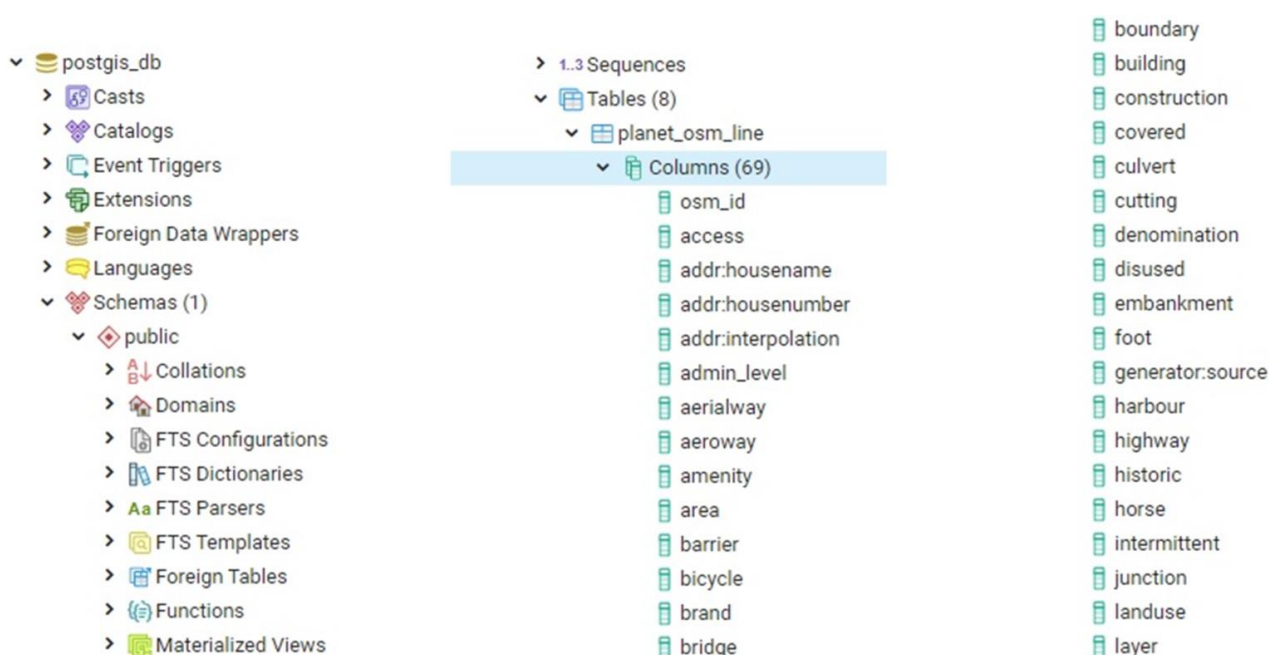


Рис. 1. Структура базы данных, генерируемая модулем PostGIS

Визуализация результатов расчёта показателей реализована в виде веб-приложения на фреймворке Django [19] с организацией хранения данных в базе PostgreSQL (рис. 2). Цветовое решение разработано на основе специально подготовленной палитры (рис. 3).

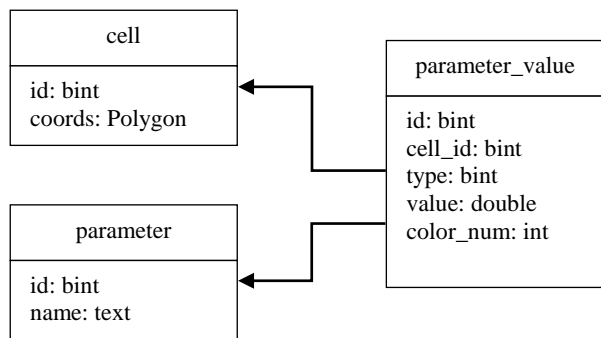


Рис. 2. Схема хранения данных веб-приложения в базе PostgreSQL

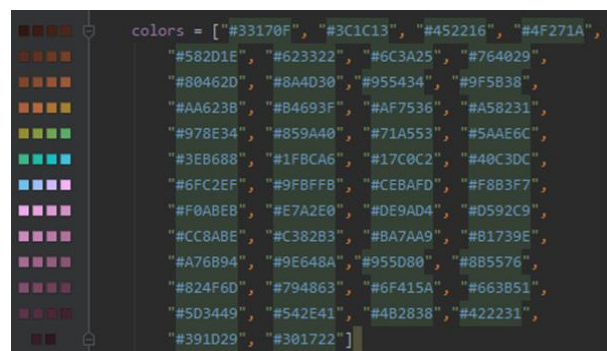


Рис. 3. Цветовая палитра для визуализации значений показателей (минимальные значения параметров соотносятся с началом представленного диапазона)

2.1. Алгоритм расчета количества заведений общественного питания в ДПП

Для получения данных о количестве объектов данного типа выполняется запрос к БД с тегом «amenity» соответствующим одному из значений в списке:

```
['restaurant', 'cafe', 'fast_food', 'bbq', 'pub', 'bar', 'biertgarten', 'drinking_water', 'food_court', 'ice_cream'].
```

Пример запроса к БД:

```
"SELECT COUNT(*) AS cnt FROM planet_osm_point WHERE ST_DWithin(ST_Transform(way, 4326), ST_GeomFromEWKT ('SRID = 4326;POINT(" + point + "')),0.008) AND amenity in " + list,
```

где: planet_osm_point – таблица для получения данных; point – координаты точки в радиусе которой идет поиск, в данном случае центр ячейки, радиус установлен в размере 800 м; list – список значений для сравнения, свой для каждого параметра.

Псевдокод алгоритма расчёта:

- 1) For $i := 0$ to N , где N – количество ячеек сетки:
 - для i -ой ячейки выполнить получение количества заведений общественного питания.

Алгоритм ранжировки значения показателя для визуализации:

- 1) For $i := 0$ to N , где N – количество ячеек сетки:
 - записать значение показателя в отдельный список;
- 2) по полученному списку сформировать интервалы значений для ранжировки (шкала из 50 интервалов);
- 3) For $i := 0$ to N , где N – количество ячеек сетки:
 - определить положение значения на шкале, записать его.

Применение разработанной последовательности расчётов было протестировано на данных по городу Вена, Австрия [20]. Результаты для показателя количества заведений общественного питания показаны на рис. 4.

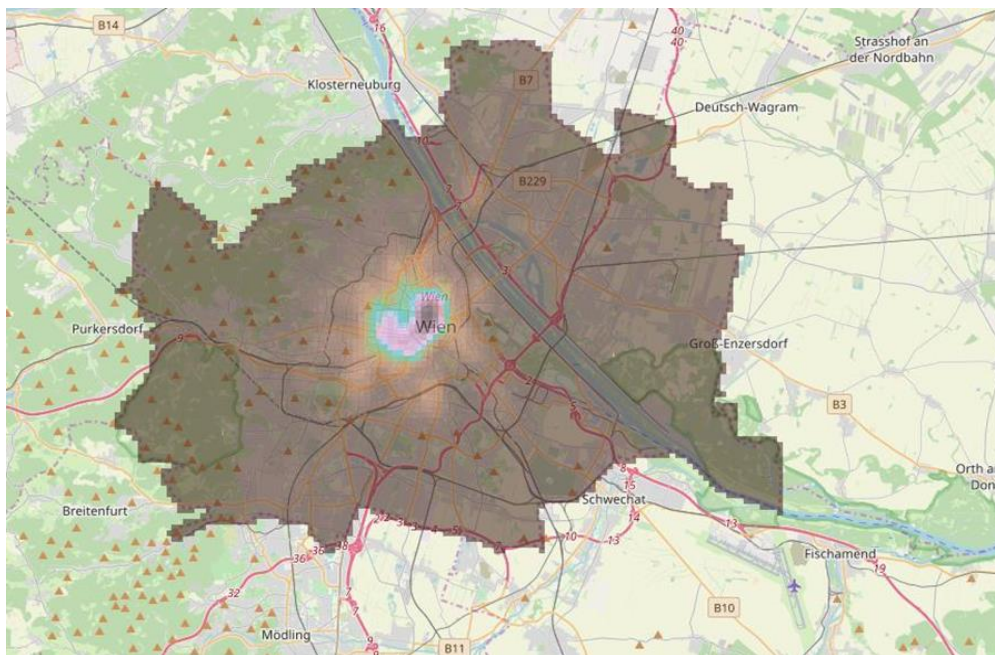


Рис. 4. Количество заведений общественного питания в ДПП

2.2. Алгоритм расчета количества типов заведений общественного питания в ДПП

Значения тега «amenity» аналогичны предыдущему параметру, но теперь в качестве получаемого значения выступает количество типов из списка, имеющего хоть один объект.

Пример запроса к БД:

```
"SELECT amenity, COUNT(*) AS cnt FROM
planet_osm_point WHERE ST_DWithin(ST_Transform(way,
4326), ST_GeomFromEWKT('SRID=4326; POINT(" +
point + ")'), 0.008) AND amenity in " + list +
"GROUP BY amenity ORDER BY cnt DESC",
```

где: planet_osm_point – таблица для получения данных; point – координаты точки в радиусе которой идет поиск, в данном случае центр ячейки, радиус установлен в размере 800 м; list – список значений для сравнения, свой для каждого параметра.

Группировка объектов по типам «amenity» дает при получении количества полученных значений искомое значение количества типов заведений.

Псевдокод алгоритма расчёта:

- 1) For $i := 0$ to N , где N – количество ячеек сетки:
 - для i -ой ячейки выполнить получение количества типов заведений общественного питания.

Алгоритм ранжировки значения показателя для визуализации:

- 1) For $i := 0$ to N , где N – количество ячеек сетки:
 - записать значение показателя в отдельный список;
- 2) по полученному списку сформировать интервалы значений для ранжировки (шкала из 50 интервалов);
- 3) For $i := 0$ to N , где N – количество ячеек сетки:
 - определить положение значения на шкале, записать его.

Результаты расчётов для показателя количества типов заведений общественного питания в городе Вена, Австрия показаны на рис. 5.

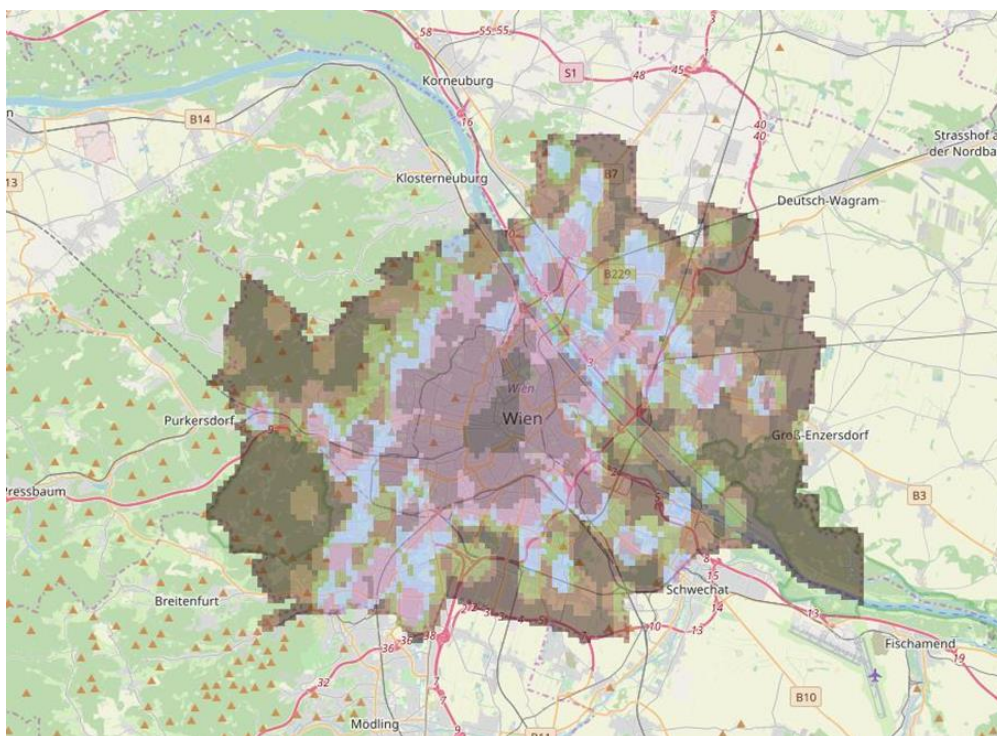


Рис. 5. Количество типов заведений общественного питания в ДПП

2.3. Алгоритм расчета количества медучреждений в ДПП

Для получения данных о количестве объектов данного типа выполняется запрос к БД с тегом «amenity» соответствующим одному из значений в списке:

```
['doctors', 'dentist', 'clinic',  
'hospital', 'first_aid'].
```

Пример запроса к БД:

```
"SELECT COUNT(*) AS cnt FROM planet_osm_point  
WHERE ST_DWithin (ST_Transform(way,  
4326), ST_GeomFromEWKT('SRID=4326;POINT(" +  
point + ")'), 0.008) AND amenity in " + list,
```

где: planet_osm_point – таблица для получения данных; point – координаты точки в радиусе которой идет поиск, в данном случае центр ячейки, радиус установлен в размере 800 м; list – список значений для сравнения, свой для каждого параметра.

Псевдокод алгоритма расчёта:

- 1) For $i := 0$ to N , где N – количество ячеек сетки:
 - для i -ой ячейки выполнить получение количества медучреждений.

Алгоритм ранжировки значения показателя для визуализации:

- 1) For $i := 0$ to N , где N – количество ячеек сетки:
 - записать значение показателя в отдельный список;
- 2) по полученному списку сформировать интервалы значений для ранжировки (шкала из 50 интервалов);
- 3) For $i := 0$ to N , где N – количество ячеек сетки:
 - определить положение значения на шкале, записать его.

Результаты расчётов для показателя количества медучреждений в городе Вена, Австрия показаны на рис. 6.

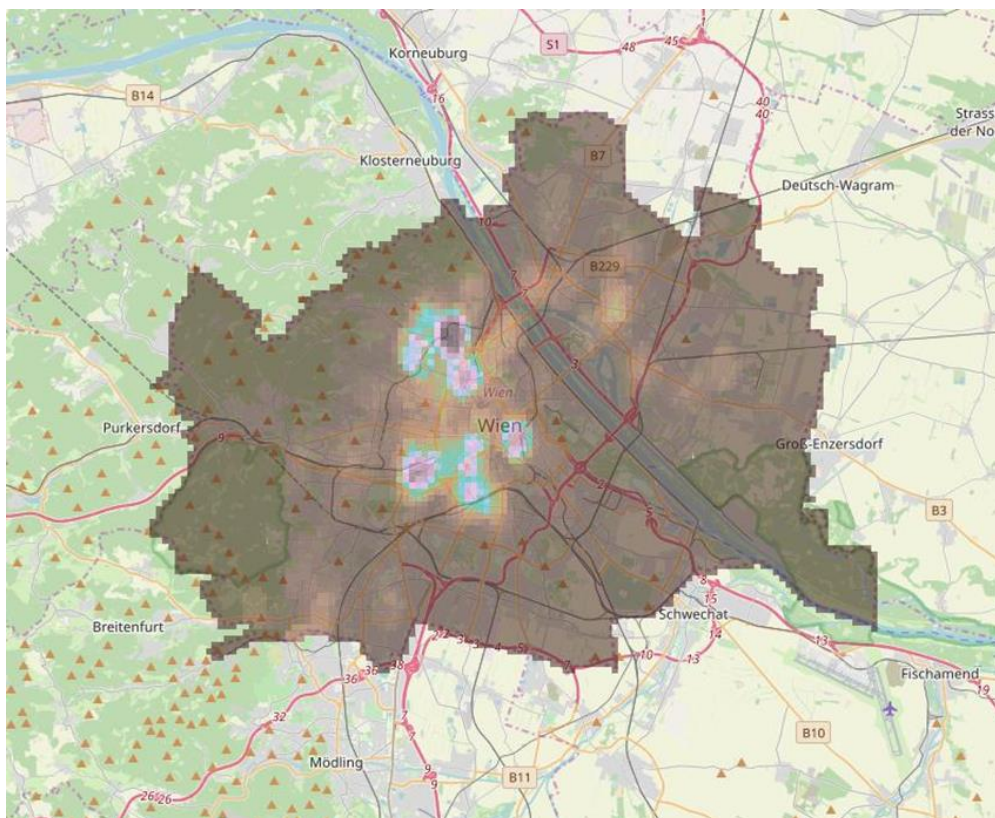


Рис. 6. Количество медучреждений в ДПП

2.4. Алгоритм расчета количества учреждения общего образования в ДПП

Для получения данных о количестве объектов данного типа выполняется запрос к БД с тегом «amenity» соответствующим одному из значений в списке:

['school'].

Пример запроса к БД:

```
"SELECT COUNT(*) AS cnt FROM planet_osm_point  
WHERE ST_DWithin(ST_Transform(way, 4326),  
ST_GeomFromEWKT('SRID=4326; POINT(" + point +  
")'),0.008) AND amenity in " + list,
```

где: planet_osm_point – таблица для получения данных; point – координаты точки в радиусе которой идет поиск, в данном случае центр ячейки, радиус установлен в размере 800 м; list – список значений для сравнения, свой для каждого параметра.

Псевдокод алгоритма расчёта:

1) For $i := 0$ to N , где N – количество ячеек сетки:

- для i -ой ячейки выполнить получение количества учреждений общего образования.

Алгоритм ранжировки значения показателя для визуализации:

1) For $i := 0$ to N , где N – количество ячеек сетки:

- записать значение показателя в отдельный список;

- 2) по полученному списку сформировать интервалы значений для ранжировки (шкала из 50 интервалов);
- 3) For $i := 0$ to N , где N – количество ячеек сетки:
 - определить положение значения на шкале, записать его.

Результаты расчётов для показателя количества учреждений общего образования в городе Вена, Австрия показаны на рис. 7.

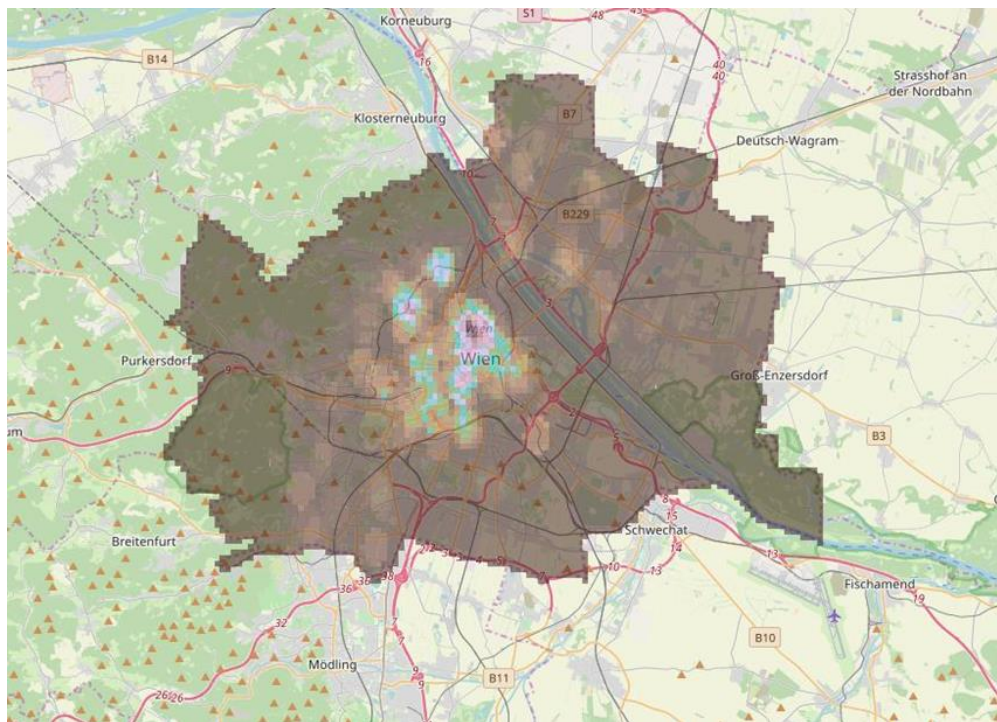


Рис. 7. Количество учреждений общего образования в ДПП

2.5. Алгоритм расчета доли озелененных территорий общего пользования в СОД

Для получения данных о доле озелененных территорий (парков, скверов, садов, др.) выполняется запрос к БД с тегом «landuse» соответствующим одному из значений в списке:

```
['village_green', 'forest', 'meadow', 'grass', 'orchard'].
```

Пример запроса к БД:

```
"SELECT SUM(ST_AREA(ST_GeomFromText(ST_AsText(
  ST_Transform(way, 4326)), 4326))) FROM
planet_osm_polygon WHERE ST_DWithin(
  ST_Transform(way, 4326), ST_GeomFromEWKT('SRID=4326;
  POINT(" + point + ")'), 0.0125) AND landuse in " + list,
```

где: planet_osm_polygon – таблица для получения данных; point – координаты точки в радиусе которой идет поиск, в данном случае центр ячейки, радиус установлен в размере 1250 м; list – список значений для сравнения, свой для каждого параметра.

Псевдокод алгоритма расчёта:

- 1) For $i := 0$ to N , где N – количество ячеек сетки:

- для i -ой ячейки выполнить получение количества заведений общественного питания.

Алгоритм ранжировки значения показателя для визуализации:

- 1) For $i := 0$ to N , где N – количество ячеек сетки:
 - записать значение показателя в отдельный список;
- 2) по полученному списку сформировать интервалы значений для ранжировки (шкала из 50 интервалов);
- 3) For $i := 0$ to N , где N – количество ячеек сетки:
 - определить положение значения на шкале, записать его.

Результаты расчётов для показателя доли озелененных территорий общего пользования типа парков, скверов, садов в городе Вена, Австрия показаны на рис. 8.

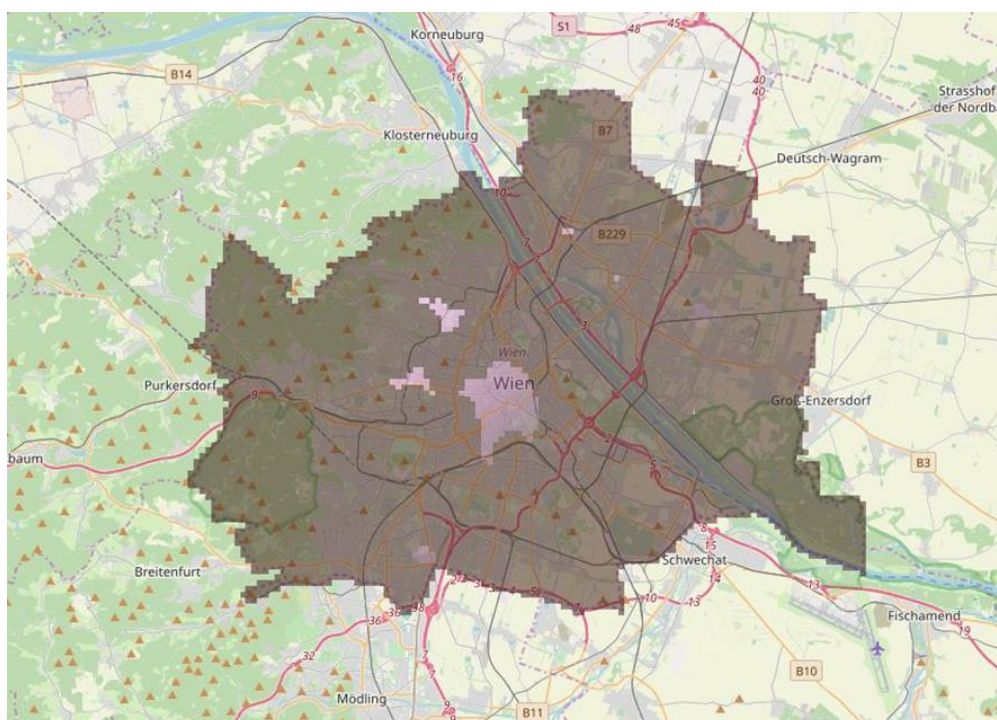


Рис. 8. Доля озелененных территорий общего пользования типа парков, скверов, садов в СОД

2.6. Алгоритм расчета количества остановок общественного транспорта в ДПП

Количество остановок считает подобно остальным параметрам, выполняется запрос к БД, но используется тег «public_transport», а список значений включает:

```
['stop_position'].
```

Пример запроса к БД:

```
"SELECTCOUNT(*) AS cnt FROM planet_osm_point  
WHERE ST_DWithin(ST_Transform(way,  
4326), ST_GeomFromEWKT('SRID=4326;POINT  
( " + point + " )'), 0.008) AND  
public_transport 'stop_position'",
```

где: planet_osm_point – таблица для получения данных; point – координаты точки в радиусе которой идет поиск, в данном случае центр ячейки, радиус установлен в размере 800 м.

Группировка объектов по типам «amenity» дает при получении количества полученных значений искомое значение количества типов заведений.

Псевдокод алгоритма расчета:

1) For $i := 0$ to N , где N – количество ячеек сетки:

– для i -ой ячейки выполнить получение количества остановок общественного транспорта.

Алгоритм ранжировки значения показателя для визуализации:

1) For $i := 0$ to N , где N – количество ячеек сетки:

– записать значение показателя в отдельный список;

2) по полученному списку сформировать интервалы значений для ранжировки (шкала из 50 интервалов);

3) For $i := 0$ to N , где N – количество ячеек сетки:

– определить положение значения на шкале, записать его.

Результаты расчётов для показателя количества остановок общественного транспорта в городе Вена, Австрия показаны на рис. 9.

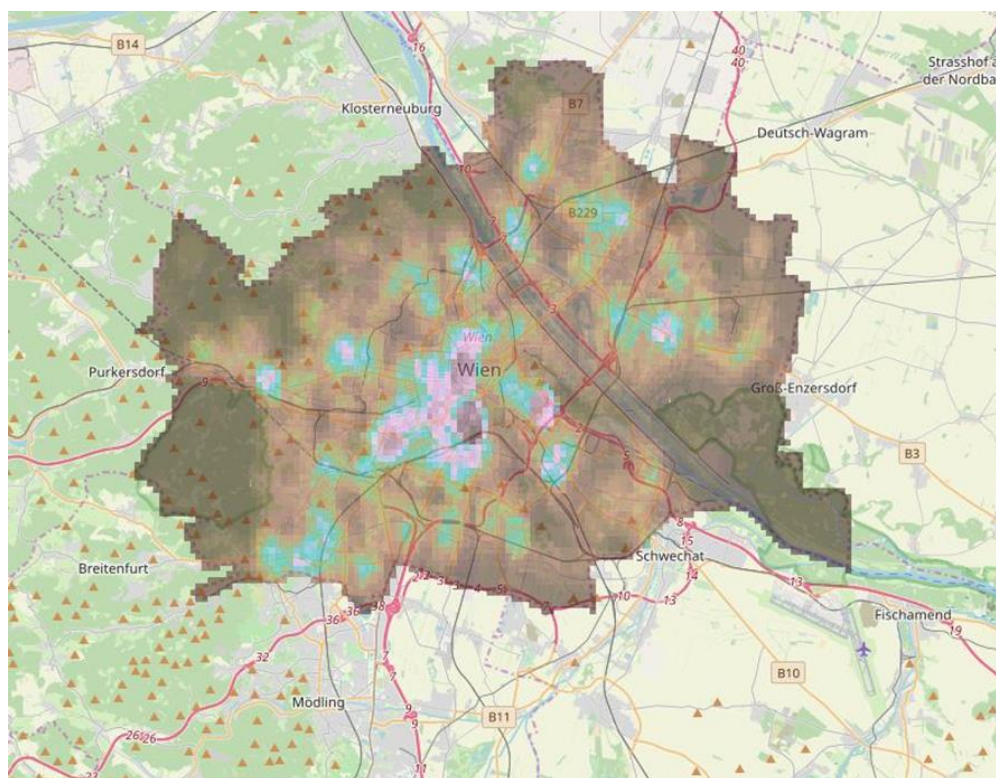


Рис. 9. Количество остановок общественного транспорта в ДПП

2.7. Алгоритм расчета плотности улично-дорожной сети на УЛУТ

В данном случае в запросе к БД идет получение длины всех дорог в пределах ячейки [14].

Пример запроса к БД:

```
"SELECT SUM(ST_LENGTH(ST_Intersection(ST_GeomFromText  
( 'POLYGON( (" + p_t + " ) )', 4326), ST_GeomFromText
```

```
(ST_AsText(ST_Transform(way,4326)),4326))) FROM  
planet_osm_line WHERE ST_Intersects(ST_GeomFromText  
( 'POLYGON(' + p_t + ')',4326), ST_GeomFromText  
(ST_AsText(ST_Transform(way,4326)),4326))",
```

где: planet_osm_line – таблица для получения данных; p_t – координаты границ ячейки.

Псевдокод алгоритма расчета:

1) For $i := 0$ to N , где N – количество ячеек сетки:

– для i -ой ячейки выполнить получение количества заведений общественного питания.

Алгоритм ранжировки значения показателя для визуализации:

1) For $i := 0$ to N , где N – количество ячеек сетки:

– записать значение показателя в отдельный список;

2) по полученному списку сформировать интервалы значений для ранжировки (шкала из 50 интервалов);

3) For $i := 0$ to N , где N – количество ячеек сетки:

– определить положение значения на шкале, записать его.

Результаты расчётов для показателя плотности улично-дорожной сети в городе Вена, Австрия показаны на рис. 10. При отображении показателей, можно вывести числовые значения для выбранного участка (рис. 11).



Рис. 10. Плотность улично-дорожной сети на УлУТ

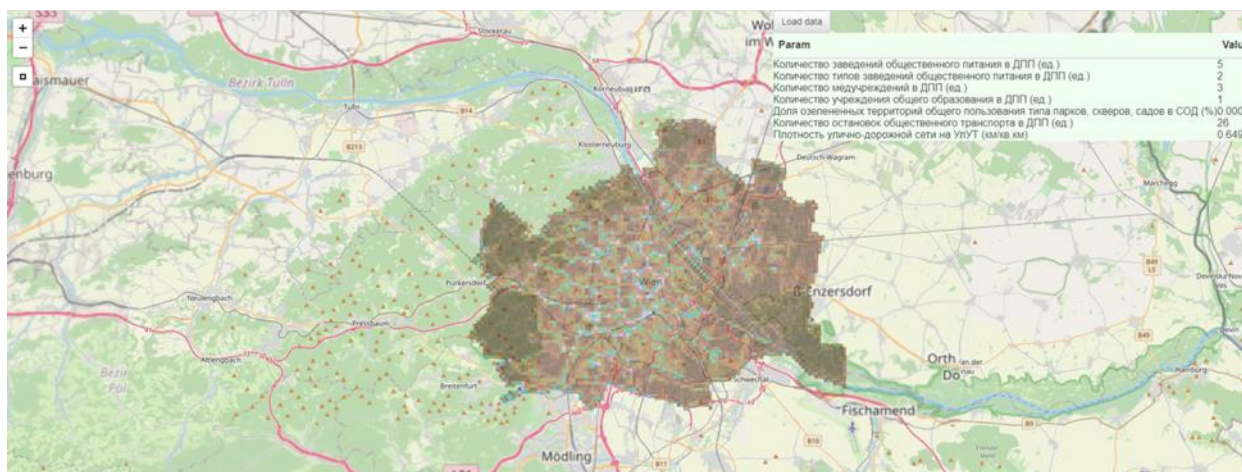


Рис. 11. Отображение значений показателей ячейки по клику

Выводы

Оценка качества городской среды является одной из наиболее важных задач градостроительства и позволяет учитывать особенности текущего состояния территории при формировании стратегии ее пространственного развития и управления городом, как целостной социально-технической системой [21].

В рамках проведенного исследования были выявлены проблемы и недостатки существующих подходов к оценке качества городской среды, показано, что вопросам инфраструктурной обеспеченности не уделяется должного внимания. В связи с этим появляются сложности в принятии решений по градостроительству. Так, например, при выборе проектов городской застройки не учитываются существующие дисбалансы развития территории. Как правило, не проводится анализ связанности и транспортной доступности, что приводит к градостроительным ошибкам, исправление которых дорого обходится городскому бюджету.

В общем случае стратегия сбалансированного развития урбанизированной территории основывается на совершенствовании обеспечивающей инфраструктуры и транспортной связанности. При этом необходимо сопоставлять затраты ресурсов на преобразование территории и получаемый эффект.

Как уже отмечалось ранее, информация, полученная на основе анализа согласованности развития обеспечивающей инфраструктуры города, может использоваться для поддержки принятия решений по совершенствованию городской среды. Для определения требований к таким решениям были сформулированы условия сбалансированного развития урбанизированной территории, которые необходимы для обеспечения потребностей жителей и создания комфортной и безопасной среды жизнедеятельности:

- комплексное развитие территории должно основываться на анализе динамики показателей, которые отражают уровень инфраструктурной обеспеченности по каждой категории городских услуг, при этом все показатели должны быть рассчитаны на основе объективных и актуальных данных;
- развитие обеспечивающей инфраструктуры каждого участка территории должно выполняться в направлении достижения сбалансированно-

го развития всей территории с учетом всех потребностей жителей, которые обеспечивает город;

- для выбора наиболее эффективного решения по совершенствованию городской среды необходимо учитывать возможности текущего состояния обеспечивающей инфраструктуры и влияние вновь создаваемых объектов на интегральный показатель согласованности развития городской инфраструктуры – должны рассматриваться все варианты (в том числе отказ от изменений), которые возможны в текущих условиях;
- необходимо обеспечить исключение избыточных расходов на создание новых объектов инфраструктуры, если минимальный набор функций реализуется в пределах нормативной доступности;
- при корректировке транспортной связанности города должен быть обеспечен минимально необходимый уровень доступности всех значимых объектов инфраструктуры.

Создание эффективного инструмента для анализа состояния городской территории с точки зрения инфраструктурной обеспеченности является важным этапом создания комплексной системы поддержки управления городом с учетом принципов устойчивого развития [22].

Предложенный в работе метод оценки согласованности развития обеспечивающей инфраструктуры города основан на системе показателей, расчет которых осуществляется на основе анализа реальных пространственных данных с использованием технологий геоинформационного моделирования.

Алгоритмы расчета показателей согласованности развития обеспечивающей инфраструктуры города реализованы в разрабатываемой авторами системе оценки качества городской среды. Разрабатываемая система является гибким инструментом исследования пространственных особенностей любого города на предмет соответствия актуальным потребностям человека, а также способности урбанизированной территории противостоять современным вызовам, связанным с изменением климата, увеличением численности населения, распространением заболеваний и т.д.

Авторы выражают благодарность коллегам по лаборатории UCLab, участвующим в разработке проекта UrbanBasis.com.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-37-20066 «мол_a_вед».

Литература

1. Жук В. А. Актуальные проблемы городского развития и структурного градостроительного регулирования российских регионов // Проблемы современной экономики. 2008. № 4 (28). С. 396-400.

2. Моисеев Ю. М. Контуры неопределенности в системе градостроительного планирования // Наука, образование и экспериментальное проектирование. Труды МАРХИ: Международная научно-практическая конференция (Москва, 4–8 апреля 2016 г.). – М.: МАРХИ, 2016. С. 108-111.

3. Морозова Е. А. Качество жизни населения как индикатор социально-экономического развития моногородов // Вестник Кемеровского государственного университета. Серия: Политические, социологические и экономические науки. 2018. № 3. С. 35-41.

4. Индекс качества городской среды – инструмент для оценки качества материальной городской среды и условий её формирования // Национальные проекты «Жилье и городская среда» [Электронный ресурс]. 02.02.2020. – URL: <https://индекс-городов.рф/#/> (дата обращения 02.02.2020).

5. Verdini G., Dauge Y., Wang S. Culture as a tool for harmonious territorial development // Цифровая библиотека UNESDOC [Электронный ресурс]. 12.03.2020. – URL: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000260643> (дата обращения 12.03.2020).

6. Urban Sustainability Index // McKinsey Global Institute [Электронный ресурс]. 22.12.2019. – URL: <http://www.urbanchinainitiative.org/en/research/usi.html> (дата обращения 22.12.2019).

7. Quality of Living City Ranking // Mercer [Электронный ресурс]. 20.12.2019. – URL: <https://mobilityexchange.mercer.com/Insights/quality-of-living-rankings> (дата обращения 20.12.2019).

8. A new tool designed by Strelka KB makes it possible to diagnose a city's problems // Strelka Mag [Электронный ресурс]. 18.01.2020. – URL: <https://strelkamag.com/en/article/russian-cities-index> (дата обращения 18.01.2020).

9. Об утверждении Методики формирования индекса качества городской среды. Распоряжение Правительства РФ от 23.03.2019 г. № 510-р // Законы, кодексы и нормативно-правовые акты в Российской Федерации [Электронный ресурс]. 10.12.2019. – URL: <https://legalacts.ru/doc/rasporjazhenie-pravitelstva-rf-ot-23032019-n-510-r-ob-utverzhdanii/> (дата обращения 10.12.2019).

10. О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года. Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 г. № 204 // Официальный портал Министерства энергетики Российской Федерации [Электронный ресурс]. 15.12.2019. – URL: <https://minenergo.gov.ru/view-pdf/11246/84473> (дата обращения 15.12.2019).

11. Голубев А. В., Парыгин Д. С., Финогеев А. Г. Подход к интегрированной обработке открытых данных об инфраструктуре города // Системы управления, связи и безопасности. 2018. № 2. С. 84-107.

12. Алешкевич А. А., Парыгин Д. С., Садовникова Н. П., Голубев А. В. Алгоритмическое обеспечение метода локализованной оценки транспортной обеспеченности города // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия: Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. 2018. № 13 (223). С. 29-33.

13. Parygin D. S., Aleshkevich A. A., Golubev A. V., Smykovskaya T. K., Finogeev A. G. Map data-driven assessment of urban areas accessibility // Journal of Physics: Conference Series. 2018. Vol. 1015. No. 042048. doi: 10.1088/1742-6596/1015/4/042048.

14. Parygin D., Aleshkevich A., Golubev A., Sadovnikova N., Shcherbakov M., Savina O. Development the Methodology of Urban Area Transport Coherence Assessment // Communications in Computer and Information Science. 2019. Vol. 1083. Part I. P. 369-381. doi: 10.1007/978-3-030-29743-5_30.

15. Садовникова Н. П., Парыгин Д. С., Коробкин Д. М. Методы и модели в аналитических программных средствах. – Волгоград: ИНУЛ ВолгГТУ, 2017. – 96 с.

16. The PostgreSQL Global Development Group [Электронный ресурс]. 11.02.2020. – URL: <https://www.postgresql.org/> (дата обращения 11.02.2020).

17. PostGIS – Spatial and Geographic objects for PostgreSQL [Электронный ресурс]. 12.02.2020. – URL: <https://postgis.net/> (дата обращения 12.02.2020).

18. OpenStreetMap is the free wiki world map [Электронный ресурс]. 16.02.2020. – URL: <https://www.openstreetmap.org/> (дата обращения 16.02.2020).

19. Django Software [Электронный ресурс]. 02.04.2020. – URL: <https://www.djangoproject.com/> (дата обращения 02.04.2020).

20. Graser A., Straub M., Dragaschnig M. Is OSM Good Enough for Vehicle Routing? A Study Comparing Street Networks in Vienna // Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. Progress in Location-Based Services 2014. 2015. P. 3-17. doi: 10.1007/978-3-319-11879-6_1.

21. Шабалина О. А., Давтян А. Г., Садовникова Н. П., Парыгин Д. С. Моделирование динамического целеполагания в социально-экономических системах. – Волгоград: ИНУЛ ВолгГТУ, 2019. – 76 с.

22. Садовникова Н. П. Экологическая безопасности города: поддержка принятия решений: Научное издание. – М.: Издательский дом «Спектр», 2013. – 164 с.

References

1. Zhuk V. A. Aktual'nyye problemy gorodskogo razvitiya i strukturnogo gradostroitel'nogo regulirovaniya rossiyskikh regionov [Actual problems of urban development and structural urban planning of the Russian regions]. *Eurasian International scholarly analytical journal «Problems of modern economics»*, 2008, vol. 4, no. 28, pp. 396-400 (in Russian).

2. Moiseev Yu. M. Kontury neopredelennosti v sisteme gradostroitel'nogo planirovaniya [The contours of uncertainty in the system of urban planning]. *Nauka, obrazovaniye i eksperimental'noye proyektirovaniye. Trudy MARKHI: Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya* [Science, education and experimental design. MARCHI Proceedings: International Scientific and Practical Conference]. Moscow, MARCHI, 2016, pp. 108-111 (in Russian).

3. Morozova E. A. Living Standards as Indicator of Socio-Economic Development of Single-Industry Towns. *Bulletin of Kemerovo State University. Series: Political, Sociological and Economic Sciences*, 2018, no. 3, pp. 35-41 (in Russian).

4. Indeks kachestva gorodskoy sredy – instrument dlya otsenki kachestva material'noy gorodskoy sredy i usloviy yeyo formirovaniya [Urban Environment Quality Index – a tool for assessing the quality of the material urban environment and

the conditions for its formation]. Natsional'nyye proyekty «Zhil'ye i gorodskaya sreda», 02 February 2020. Available at: <https://индекс-городов.рф/#/> (accessed 02 February 2020) (in Russian).

5. Verdini G., Dauge Y., Wang S. Culture as a tool for harmonious territorial development. *Tsifrovaya biblioteka UNESDOC*, 12 March 2020. Available at: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000260643> (accessed 12 March 2020).

6. Urban Sustainability Index. *McKinsey Global Institute*, 22 December 2019. Available at: <http://www.urbanchinainitiative.org/en/research/usi.html> (accessed 22 December 2019).

7. Quality of Living City Ranking. *Mercer*, 20 December 2019. Available at: <https://mobilityexchange.mercer.com/Insights/quality-of-living-rankings> (accessed 20 December 2019).

8. A new tool designed by Strelka KB makes it possible to diagnose a city's problems. *Strelka Mag*, 18 January 2020. Available at: <https://strelkamag.com/en/article/russian-cities-index> (accessed 18.01.2020).

9. Ob utverzhdenii Metodiki formirovaniya indeksa kachestva gorodskoy sredy. Rasporyazheniye Pravitel'stva RF ot 23.03.2019 g. № 510-r [On approval of the Methodology for the formation of an urban environment quality index. Order of the Government of the Russian Federation of March 23, 2019, no. 510-r]. *Zakony, kodeksy i normativno-pravovyye akty v Rossiyskoy Federatsii* [Laws, Codes and Legal Acts in the Russian Federation], 10 December 2019. Available at: <https://legalacts.ru/doc/rasporjazhenie-pravitelstva-rf-ot-23032019-n-510-r-ob-utverzhdenii/> (accessed 10 December 2019) (in Russian).

10. O natsional'nykh tselyakh i strategicheskikh zadachakh razvitiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2024 goda. Ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 7 maya 2018 g. № 204 [On the national goals and strategic objectives of the development of the Russian Federation for the period until 2024. Decree of the President of the Russian Federation of May 7, 2018, no. 204]. *Ofitsial'nyy portal Ministerstva energetiki Rossiyskoy Federatsii* [Official portal of the Ministry of Energy of the Russian Federation], 15 December 2019. Available at: <https://minenergo.gov.ru/view-pdf/11246/84473> (accessed 15 December 2019) (in Russian).

11. Golubev A. V., Parygin D. S., Finogeev A. G. The Approach to Integrated Processing of Open Data about the City Infrastructure. *Systems of Control, Communication and Security*, 2018, no. 2, pp. 84-107 (in Russian).

12. Aleshkevich A. A., Parygin D. S., Sadovnikova N. P., Golubev A. V. Algorithmic support for the method of city transport provision localized assessment. *Izvestiya Volgograd State Technical University. Series «Actual problems of management, computing hardware and informatics in engineering systems»*, 2018, no. 13 (223), pp. 29-33 (in Russian).

13. Parygin D. S., Aleshkevich A. A., Golubev A. V., Smykovskaya T. K., Finogeev A. G. Map data-driven assessment of urban areas accessibility. *Journal of Physics: Conference Series*, 2018, vol. 1015, no. 042048. doi: 10.1088/1742-6596/1015/4/042048.

14. Parygin D., Aleshkevich A., Golubev A., Sadovnikova N., Shcherbakov M., Savina O. Development the Methodology of Urban Area Transport Coherence Assessment. *Communications in Computer and Information Science*, 2019, vol. 1083, part I, pp. 369-381. doi: 10.1007/978-3-030-29743-5_30.

15. Sadovnikova N. P., Parygin D. S., Korobkin D. M. *Metody i modeli v analiticheskikh programmnykh sredstvakh* [Methods and models in analytical software]. Volgograd, INUL VolgGTU, 2017, 96 p (in Russian).

16. *The PostgreSQL Global Development Group*, 11 February 2020. Available at: <https://www.postgresql.org/> (accessed 11 February 2020).

17. PostGIS – Spatial and Geographic objects for PostgreSQL, 12 February 2020. Available at: <https://postgis.net/> (accessed 12 February 2020).

18. OpenStreetMap is the free wiki world map, 16 February 2020. Available at: <https://www.openstreetmap.org/> (accessed 16 February 2020).

19. *Django Software*, 02 April 2020. Available at: <https://www.djangoproject.com/> (accessed 02 April 2020).

20. Graser A., Straub M., Dragaschnig M. Is OSM Good Enough for Vehicle Routing? A Study Comparing Street Networks in Vienna. *Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. Progress in Location-Based Services 2014*, 2015, pp. 3-17. doi: 10.1007/978-3-319-11879-6_1.

21. Shabalina O. A., Davtyan A. G., Sadovnikova N. P., Parygin D. S. *Modelirovaniye dinamicheskogo tselepolaganiya v sotsial'no-ekonomicheskikh sistemakh* [Modeling dynamic goal setting in socio-economic systems]. Volgograd, INUL VolgGTU, 2019, 76 p (in Russian).

22. Sadovnikova N. P. *Ekologicheskaya bezopasnosti goroda: podderzhka prinyatiya resheniy: Nauchnoye izdaniye* [Ecological safety of the city: decision support: Scientific publication]. Moscow, Izdatel'skiy dom «Spektr», 2013, 164 p (in Russian).

Статья поступила 06 мая 2020 г.

Информация об авторах

Парыгин Данила Сергеевич – кандидат технических наук. Доцент кафедры систем автоматизированного проектирования и поискового конструирования. Волгоградский государственный технический университет. Область научных интересов: город; информационно-коммуникационные технологии; геопространственные данные; моделирование; поддержка принятия решений; интеллектуальный анализ данных; Smart City; устойчивое городское развитие; управление социально-экономическим развитием города; местное самоуправление; управление муниципальными образованиями; урбанизация. E-mail: dparygin@gmail.com

Алешкевич Александр Александрович – магистр техники и технологии. Аспирант кафедры систем автоматизированного проектирования и поискового конструирования. Волгоградский государственный технический университет. Область научных интересов: инфраструктура территории; геопространственные

данные; сбор данных; визуальное представление данных; база данных; онлайн-платформа; анализ больших данных; поддержка принятия решений. E-mail: deck344@gmail.com

Садовникова Наталья Петровна – доктор технических наук, доцент. Профессор кафедры систем автоматизированного проектирования и поискового конструирования. Волгоградский государственный технический университет. Область научных интересов: системы поддержки принятия решений; интеллектуальный анализ данных; моделирование систем; моделирование в условиях неопределенности; предсказательное моделирование. E-mail: prsn1@ya.ru

Зуев Александр Юрьевич – магистр техники и технологии. Аспирант кафедры систем автоматизированного проектирования и поискового конструирования. Волгоградский государственный технический университет. Область научных интересов: сбор, обработка и анализ данных; ГИС; геопространственные данные; градостроительство; управление территорией. E-mail: zuev34w@yandex.ru

Зеленский Илья Сергеевич – бакалавр техники и технологии. Магистрант кафедры систем автоматизированного проектирования и поискового конструирования. Волгоградский государственный технический университет. Область научных интересов: извлечение знаний; модели оценки; критерии оценки объектов инфраструктуры; объект недвижимости; кадастр недвижимости; массовая оценка; поддержка принятия решений. E-mail: ilyhaspmarine@gmail.com

Харина Алина Сергеевна – бакалавр техники и технологии. Магистрант кафедры систем автоматизированного проектирования и поискового конструирования. Волгоградский государственный технический университет. Область научных интересов: оценка качества городских услуг; анализ данных; геопространственные данные; Smart City; поддержка принятия решений. E-mail: alina_harina97@mail.ru

Сивашова Екатерина Сергеевна – бакалавр техники и технологии. Магистрант кафедры систем автоматизированного проектирования и поискового конструирования. Волгоградский государственный технический университет. Область научных интересов: машинное обучение; мультиагентные системы; моделирование поведения в городской среде; геопространственные данные; модель жизнедеятельности человека. E-mail: winteriscomingstark@mail.ru

Адрес: 400005, Россия, г. Волгоград, пр. им. Ленина, д. 28.

Coherence Assessment of Urban Provision Infrastructure Development Based on the Spatial Data Analysis

D. S. Parygin, A. A. Aleshkevich, N. P. Sadovnikova, A. Yu. Zuev,
I. S. Zelenskiy, A. S. Kharina, E. S. Sivashova

Purpose. *There are no objective criteria for assessing the provision of the population with infrastructure objects in existing approaches to researching the quality of urban services. In the best case, this assessment is based on official statistics, the data of which do not always objectively reflect the real situation and quickly become outdated. Tools to assess the current state and predict possible problems of the urban*

environment associated with a decrease in the quality of life are necessary to support decision-making on managing its development. This is especially important in case of emergency, when the decision has to be made in a limited time in conditions of high uncertainty. The purpose of the work is to develop a method for evaluate the coherence of provision infrastructure development based on objective criteria that allow to take into account the features of spatial development and consumer qualities of an urbanized area. **Methods.** The method for quantifying the coherence of provision infrastructure development is proposed. Algorithms based on spatial data analysis are proposed for calculating individual indicators of infrastructure provision. The classes of objects are highlighted and an integral indicator is introduced to assess the coherence of provision infrastructure development. **Novelty.** Accounting the consumer properties of the area and the real capabilities of existing urban infrastructure objects to satisfy the population life activity needs in the process of assessing the provision with infrastructure are elements of the novelty of the solutions presented. The concept of area coherence as an integral indicator is introduced to assess the coherence of development the provision infrastructure that meets the needs of population. **Results.** The disadvantages of existing approaches to assessing the quality of the urban environment are considered and the need to take into account the characteristics of the area and its consumer properties is shown. The new indicator of the quality of the urban environment, based on the concept of area coherence, is proposed. The method for quantifying the coherence of provision infrastructure development has been developed. **Practical relevance.** The paper presents the components of the developed system for the urban environment quality assessment based on spatial data analysis and algorithms for calculating particular indicators of infrastructure provision. In the current version, the system allows automatic generation of a grid of a given step for a selected city and calculation of selected indicators. The conditions for the balanced development of an urbanized area, which are necessary to meet the needs of residents and create a comfortable and safe living environment, are formulated.

Key words: quality of urban environment, urban environment, provision infrastructure, urban infrastructure object, spatial data analysis, area coherence, assessment of urban services quality, algorithms for calculating infrastructure provision indicators.

Information about Authors

Danila Sergeevich Parygin – Ph.D. of Engineering Sciences. Associate Professor at the Department of CAD. Volgograd State Technical University. Field of research: city; information and communication technologies; geospatial data; modeling; decision support; data mining; Smart City; sustainable urban development; management of social and economic development of the city; local government; management of municipalities; urbanization. E-mail: dparygin@gmail.com

Alexander Alexandrovich Aleshkevich – Doctoral Student. The postgraduate student of the Department of CAD. Volgograd State Technical University. Field of research: area infrastructure; geospatial data; data collection; visual representation of data; database; online platform; big data analysis; decision support. E-mail: deck344@gmail.com

Natalya Petrovna Sadovnikova – Dr. habil. of Engineering Sciences, Associate Professor. Professor at the Department of CAD. Volgograd State Technical University. Field of research: decision support systems; data mining; system modeling; uncertainty modeling; predictive modeling. E-mail: npsn1@ya.ru

Alexander Yurievich Zuev – Doctoral Student. The postgraduate student of the Department of CAD. Volgograd State Technical University. Field of research: collection, processing and analysis of data; GIS; geospatial data; urban planning; territory management. E-mail: zuev34w@yandex.ru

Ilya Sergeevich Zelenskiy – Bachelor of Science. The master student of the Department of CAD. Volgograd State Technical University. Field of research: knowledge extraction; assessment models; criteria for infrastructure objects assess-

ment; real estate cadastre; mass appraisal; decision support. E-mail: ilyhasp-marine@gmail.com

Alina Sergeevna Kharina – Bachelor of Science. The master student of the Department of CAD. Volgograd State Technical University. Field of research: assessment of urban services quality; data analysis; geospatial data; Smart City; decision support. E-mail: alina_harina97@mail.ru

Ekaterina Sergeevna Sivashova – Bachelor of Science. The master student of the Department of CAD. Volgograd State Technical University. Field of research: machine learning; multiagent systems; modeling behavior in an urban environment; geospatial data; human life activity model. E-mail: winteriscomingstark@mail.ru

Address: Russia, 400005, Volgograd, Lenina Ave., 28.