ЦИФРОВАЯ УРБАНИСТИКА

УДК 911.375.6:004.942 Научная статья

Александр Юрьевич Зуев✉
аспирант каф. цифровых технологий в урбанистике, архитектуре и строительстве, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Россия, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1;
e-mail: Zuev34W@yandex.ru

Артем Геннадьевич Щербаков
аспирант каф. цифровых технологий в урбанистике, архитектуре и строительстве, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Россия, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1;
e-mail: artem.shcherbakov01@gmail.com

Данила Сергеевич Парыгин
канд. техн. наук, доцент, зав. каф. цифровых технологий в урбанистике, архитектуре и строительстве, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Россия, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1;
e-mail: dparygin@gmail.com

Артём Николаевич Колядов
студент каф. цифровых технологий в урбанистике, архитектуре и строительстве, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Россия, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1;
e-mail: artemkoladov75@yandex.ru

Константин Викторович Егоров
старший преподаватель каф. цифровых технологий в урбанистике, архитектуре и строительстве, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Россия, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1;
e-mail: kv.egorow@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ МОДИФИЦИРУЕМЫХ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ ЕДИНИЦ НА КОЛИЧЕСТВЕННУЮ ОЦЕНКУ ГОРОДСКОГО ПРОСТРАНСТВА

В статье рассматривается проблема модифицируемых территориальных единиц с точки зрения влияния на результаты количественной оценки городской территории, как в исследовательских целях, так и в задачах, связанных с градостроительной деятельностью на территории России, в том числе при территориальном планировании. Отдельно рассмотрены два проявления этой проблемы: эффект масштаба и эффект зонирования. В статье описаны и проанализированы основные практики по уменьшению степени влияния проблемы модифицируемых территориальных единиц на анализ пространственных данных, такие как использование нескольких вариантов пространственного агрегирования и оценка устойчивости получаемых результатов, радикальный отказ от использования агрегированных данных и использование исходных точечных измерений, теоретическая аргументация выбора пространственной единицы анализа и др. Подготовлены рекомендации по учету этих практик применительно к задачам, связанным с количественной оценкой городского пространства, в диапазоне от более универсальных подходов, предполагающих использование административно-территориального деления разных уровней и различных пространственных сеток нескольких типов геометрии (квадратных или гексагональных), до более специфичных методов, основанных на дополнительных статистических тестах для оценки чувствительности конкретного показателя.

Ключевые слова: MAUP, проблема модифицируемых территориальных единиц, агрегация данных, зонирование территории.

Для цитирования: *Зуев А. Ю., Щербаков А. Г., Парыгин Д. С., Колядов А. Н., Егоров К. В.* Влияние проблемы модифицируемых территориальных единиц на количественную оценку городского пространства // Социология города. 2026. № 3. С. 133—145. DOI: 10.35211/19943520_2026_3_133

Введение

Оценка качества городской среды, территориальное и стратегическое планирование в значительной степени основываются на анализе больших объемов данных, в том числе пространственных с привязкой к географическим координатам (Парыгин, 2021). Современные возможности сбора данных и постоянно увеличивающиеся их качество и объемы позволяют получать широкий спектр количественных характеристик городской среды, например плотность населения и точек интереса, доступность и обеспеченность территории и населения различными услугами (Гущина, Парыгин, Гараева и др., 2026).

Количественная оценка городской территории проводится как в исследовательской и научной деятельности, так и в градостроительной. В рамках градостроительной деятельности на территории России она проводится при подготовке документов территориального планирования, а также при подготовке мастер-планов территорий.

Результаты такой оценки могут быть обоснованием в процессе принятия решений при распределении бюджетов между регионами, необходимости в

размещении объектов федерального, регионального, местного значения и их качественных характеристик, а также в инвестиционной деятельности. Также для постоянного мониторинга городских процессов создаются цифровые двойники городов, которые используют различные количественные характеристики (Hämäläinen, 2021).

Количественная оценка городского пространства в большинстве своем использует пространственные данные, представленные в виде точек, линий, полигонов или растровых данных. Такие данные могут обобщаться и преобразовываться в показатели, рассчитываемые к различным территориальным единицам. Зачастую это либо административно-территориальные единицы, либо разбиение территории на ячейки, формирующие регулярные сетки квадратов или гексагонов. В последнем случае количественная оценка происходит применительно к каждой ячейке, что позволяет получить информацию о пространственном распределении показателя. Выбор территориальных единиц для такого анализа может рассматриваться как технический этап исследования, не оказывающий существенного влияния на содержание последующего анализа. Нередко количественная оценка городского пространства используется для корреляционных исследований с целью выявления зависимости между отдельными характеристиками городской среды и их влиянием на экономическую деятельность, здоровье человека и иные показатели (Голубев, Парыгин, Финогеев, 2018).

Однако агрегирование пространственных данных само по себе способно влиять на результаты анализа (Openshaw, Taylor, 1979). Одни и те же исходные данные могут приводить к различным значениям показателей в зависимости от размера и формы территориальных единиц, используемых для агрегирования данных. Данная проблема получила название проблемы модифицируемых территориальных единиц (Modifiable Areal Unit Problem — MAUP) (Ibid).

Проблема модифицируемых территориальных единиц хорошо известна в пространственной статистике и географии. Вместе с тем применительно к задачам количественной оценки городской территории она имеет не только методологическое, но и практическое значение. Если изменение способа пространственного агрегирования приводит к изменению количественной характеристики территории, то это может повлиять на весь процесс принятия решений в городском планировании и приводить к нерациональным или неоптимальным решениям.

Целью настоящей *работы* является оценка влияния проблемы модифицируемых территориальных единиц на количественную оценку городского пространства для территориального планирования, а также определение возможных подходов к снижению зависимости результатов анализа от выбранного способа пространственного агрегирования для повышения качества процесса принятия решений.

Научная новизна работы заключается в рассмотрении проблемы модифицируемых территориальных единиц применительно к количественной оценке городской территории как источника неопределенности, способного влиять не только на результаты анализа, но и на последующие решения в сфере городского планирования.

Проблема модифицируемых территориальных единиц

Проблема модифицируемых территориальных единиц возникает при агрегировании пространственных данных и проявляется в изменении результатов анализа в зависимости от размера (масштаба) и конфигурации (формы) территориальных единиц, используемых для агрегации. Агрегирование больших объемов данных широко используется как при оценке и сравнении городских территорий, так и для выявления закономерностей пространственного распределения с применением методов пространственного анализа. Это дает возможность делать выводы о закономерности распределения какого-либо явления в пространстве, устанавливать его причины, оценивать достаточность имеющихся данных (Mazzulla, Forciniti, 2012).

При количественной оценке городского пространства оно ограничивается территорией исследования и представляется совокупностью отдельных территориальных единиц, и результат в таком случае определяется не только значением и координатами наблюдений, но и тем, каким образом проведены границы территориальных единиц.

Изменение схемы пространственного агрегирования (зонирования) способно существенно изменять статистические характеристики одной и той же совокупности данных, а последующий статистический анализ одних и тех же данных может приводить к существенным различиям коэффициента корреляции (Openshaw, Taylor, 1979). Несмотря на то, что классическая для исследований MAUP работа Стэна Опеншоу вышла в 1979 г., по состоянию на 2014 г., согласно обзору Дэвида Мэнли, факт наличия MAUP признавался лишь в 1 % научных публикаций, использующих агрегацию пространственных данных (Manley, 2013).

На изменчивость значений влияет как размер пространственной единицы, так и форма. В связи с этим в рамках MAUP выделяют две подпроблемы: эффект масштаба (scale effect) и эффект зонирования (zoning effect) (Openshaw, Taylor, 1979).

Эффект масштаба связан с изменением размера территориальных единиц, применительно к которым происходит агрегация данных. При переходе от одного масштаба к другому, от единиц меньшей площади к большей и наоборот изменяются значения статистических показателей и характер выявляемых пространственных закономерностей. Зафиксировано, что изменение масштаба может приводить к изменению дисперсии и корреляционных связей между переменными (Swift, Liu, Uber, 2018).

Эффект зонирования проявляется при изменении конфигурации территориальных единиц при сопоставимом масштабе анализа. Одна и та же территория может быть разделена на одинаковое количество ячеек одинаковой площади и формы, но различным образом. Средние показатели выборки одних и тех же исходных данных агрегированных к сеткам квадратов площадью 100 га и гексагонов такой же площади могут значительно отличаться. Несмотря на сохранение исходных данных, изменение границ территориальных единиц способно привести к отличающимся результатам анализа.

Таким образом, пространственные единицы являются элементами, влияющим на результаты обработки и анализа пространственных данных, а следовательно, и на процесс принятия решения в территориальном планировании: оценку качества городской среды, обоснование выбранного варианта и места размещения планируемых объектов, планирование бюджетов и т. д.

Оценка влияния эффекта масштаба
на количественную оценку городской территории

При проведении оценки городской территории проектировщик сталкивается с необходимостью выбора единиц анализа.

В отношении нормативов градостроительного проектирования, учет которых является обязательным в документах территориального планирования и нередко учитывается разработчиками мастер-планов, количественная оценка определенных показателей в пространственной плоскости происходит в границах населенного пункта или муниципального образования. При этом можно выделить как показатели, которые меньше подвержены влиянию эффекта масштаба, когда нормативы указывают количество объектов на населенный пункт, так и те, которые напрямую зависят от площади населенного пункта, например плотность улично-дорожной сети или плотность каких-либо иных объектов на единицу территории. В таком случае изменение границ населенного пункта, виртуальной линии, не видимой на местности, может влиять на соблюдение норматива, что может создавать ложное представление об обеспеченности населения объектами определенного типа.

При количественной оценке городской территории без привязки к нормативам нередко происходит разбиение территории с использованием регулярной сетки. Одна и та же городская территория может быть разделена на ячейки размером 250 на 250, 500 на 500 или 1000 на 1000 м. При этом исходное пространственное распределение объектов не изменится.

Таким образом, использование территориальных единиц разного масштаба может искажать данные, в том числе терять проявление эффектов и закономерностей, видимых при использовании территориальных единиц другого, более мелкого или более крупного масштаба. Укрупненные территориальные единицы могут терять неоднородность распределения объектов внутри них, в то же время использование единиц более мелкого масштаба тоже может дать неудовлетворительные результаты (Jacobs-Crisioni, Rietveld, Koomen, 2014).

Исходя из вышеперечисленного, выбор масштаба территориальных единиц для анализа городского пространства является нетривиальной задачей, требующей особого внимания, и размер таких единиц должен выбираться в зависимости от задачи количественной оценки городского пространства.

Оценка влияния эффекта зонирования
на количественную оценку городской территории

Эффект зонирования демонстрирует другую, менее очевидную сторону MAUP — зависимость результата от конфигурации границ. При одинаковой площади пространственных единиц их форма может влиять на значения показателей, измеряемых в ходе количественной оценки городского пространства, что может приводить к существенным расхождениям в результатах исследований одних и тех же явлений при использовании одних и тех же источников данных (Deng, Liu, Feng, 2025).

В то же время эффект проявляется и при использовании регулярных пространственных сеток, состоящих из территориальных единиц, которые имеют одинаковый размер и форму и которые позволяют отказаться от административных границ. Чаще всего используются квадратные или гексагональные

регулярные сетки. При фиксированном размере ячейки существует множество вариантов построения сетки для исследуемой территории. Если размер ячеек остается неизменным, но сетка смещается относительно исследуемой территории, часть объектов переходит из одной ячейки в другую. В результате изменяется количество объектов в отдельных территориях и рассчитанная для них плотность.

Исходя из того, что точка отсчета для построения регулярной пространственной сетки может быть произвольной и чаще всего зависит от граничной рамки (bounding box) административно-территориальной единицы, существует вероятность, что та или иная территория может быть при одном варианте построения сетки обеспечена объектами, а при другом варианте не обеспечена, что может прямо влиять на проектные решения и результаты анализа.

Экспериментальные исследования влияния эффекта зонирования, выполненые на «Вычислительном комплексе высокой производительности», внедренном на кафедре цифровых технологий в урбанистике, архитектуре и строительстве ВолгГТУ в рамках реализации программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030», подтверждают приводимые рассуждения.

Таким образом, выбор способа зонирования для количественной оценки с использованием регулярных сеток также осложняется тем фактором, что при анализе разных явлений качество количественной оценки городского пространства будет нестабильным (Wang, Zhou, Zhu, Lv, 2025).

Исходя из вышеперечисленного, эффект зонирования может влиять на качество проектных решений, а степень влияния формы территориальной единицы может варьироваться, даже если геометрия территориальных единиц идентична.

Анализ подходов к минимизации проблемы модифицируемых территориальных единиц при анализе пространственных данных

В научной литературе можно выделить несколько различных практик, ориентированных на уменьшение влияния проблемы модифицируемых территориальных единиц. При этом метода, позволяющего полностью устранить проблему, не существует, а различные практики могут быть полезными для разных видов данных, как с точки зрения типа геометрии, так и с точки зрения плотности наблюдений и типов явлений, которые они характеризуют. Эффективность конкретного подхода может варьироваться в зависимости от задачи и исходных данных (Manley, 2021).

Использование нескольких вариантов пространственного агрегирования и оценка устойчивости получаемых результатов анализа являются одним из используемых подходов по снижению влияния проблемы модифицируемых единиц. Такой подход может включать в себя использование территориальных единиц, как разного размера, так и площади (Ibid). Многомасштабный анализ, когда тестируется влияние MAUP на одних и тех же данных, но только при использовании разных масштабов, при количественной оценке городского пространства может снижать зависимость различных показателей, например концентрации различных объектов, от влияния проблемы модифицируемых территориальных единиц. Причем эффект масштаба может оказаться

более выраженным, чем эффект зонирования, в частности при анализе концентрации застроенных территорий, наиболее важных с точки зрения количественной оценки городского пространства (Nalej, 2026).

Одним из подходов к минимизации проблемы модифицируемых единиц является попытка радикального отказа от использования агрегированных данных и использования исходных точечных измерений. Основным недостатком такого метода является невозможность использования методов для некоторых типов данных, например плотность населения, либо когда юридические причины могут быть препятствием в использовании индивидуальных измерений (Xu, Huang, Dong, 2018). Также стоит отметить, что различные переменные могут предоставлять информацию, которая может не отражаться на индивидуальном уровне и в значительной степени игнорировать системные эффекты (Haynes, Jones, Kennedy et al., 2007).

Для оценки использования индивидуальных значений в некоторых работах используются статистические инструменты диагностики, призванные определить, насколько сильно изменяется показатель пространственно интенсивной переменной при ее агрегации по сравнению с максимальным уровнем пространственной дезагрегации (Duque, Laniado, Polo, 2018). Подобные тесты не просто констатируют наличие MAUP, игнорируемое во многих исследованиях до сих пор, но и оценивают степень чувствительности конкретного показателя к схеме зонирования. Такие тесты могут позволить выбрать наиболее оптимальную схему зонирования в случае количественной оценки городской среды по нескольким показателям, что нередко встречается при подготовке мастер-планов и документов территориального планирования.

Сравнение различных схем агрегации данных является частым инструментом противодействия проблеме модифицируемых территориальных единиц. При таком подходе происходит тестирование различных схем зонирования территории и последующая оценке влияния MAUP на результаты анализа с выбором наилучшего результата. Также это может быть цикличное модифицирование и изменение существующей схемы зонирования до тех пор, пока показатели, характеризующие влияние проблемы модифицируемых территориальных единиц, достигнут удовлетворительных значений (Chen, Ye, Widener, et al., 2022). Один из минусов такого подхода заключается в сложности повторения эксперимента и схемы зонирования при анализе других переменных или данных того же явления, но собранных в другой промежуток времени.

Ряд ученых считают, что эффективным способом борьбы с угрозами непостоянства выводов, порождаемых MAUP, может быть не только техническая аргументация, но и теоретическая аргументация выбора пространственной единицы анализа (Lee, Rogers, Soifer, 2025). Обоснованием размерности зоны может быть пешеходная или транспортная доступность, используемая при градостроительном проектировании (Парыгин, Алешкевич, Садовникова и др., 2020).

В то же время такой подход не исключает возникновения эффекта зонирования, особенно в городском пространстве, в котором присутствуют территории различного назначения. Большие плотно застроенные кварталы могут влиять на агрегацию плотности дорожно-транспортных происшествий, ха-

рактерных для улично-дорожной сети. В то же время широкие дороги, автомобильные развязки, объекты железнодорожного транспорта, которые могут присутствовать в различных частях городской территории, могут влиять на агрегацию плотности объектов обслуживания населения и занимать сравнительно большие площади. В совокупности данные факторы могут влиять на статистические показатели и восприятие распределения переменных в пространстве в зависимости от доли того или иного вида городского пространства в границах определенной территориальной единицы. Косвенно подтверждает данный тезис то, что использование территориальных единиц, увязанных с практикой регулирования землепользования, может смягчить искажения социально-экономической информации (Wang, Xue, Wang, Zhang, 2026).

Возможные подходы к снижению влияния проблемы модифицируемых территориальных единиц на количественную оценку городской территории

На основе изучения имеющихся подходов к снижению влияния MAUP при анализе пространственных данных можно сделать вывод, что степень влияния и способ учета MAUP зависят от типа задачи пространственного анализа, особенностей исходных данных и территории, на которой происходит анализ. Поэтому выбор способа минимизации воздействия MAUP на количественный анализ городского пространства должен учитывать эти факторы. В качестве универсальной практики может быть использование множества схем зонирования с выбором наиболее стабильного или стабильных вариантов. При анализе желательно использовать территориальные единицы как разного масштаба, так и разной формы. Такая практика может способствовать снижению влияния как эффекта масштаба, так и эффекта зонирования. В то же время стоит отметить, что выбор критерия оптимальности и его расчет для определения подходящих систем зонирования — важная отдельная задача.

Использование дополнительных статистических тестов для оценки чувствительности конкретного показателя может быть затратным инструментом для проектировщика и не принести качественного улучшения результата из-за недостаточной изученности этого способа и необходимости проведения тестов для разных показателей. В то же время в исследовательских целях узкой направленности, особенно при корреляционных исследованиях, такая практика может повысить качество исследования и достоверность результата.

При выборе территориальной единицы для анализа рекомендуется использовать не только административно-территориальное деление разных уровней, но и различные пространственные сетки, причем не только одного типа геометрии, а нескольких, например квадратную или гексагональную. Использование таких типов сеток весьма широко распространено в пространственном анализе, что позволяет сопоставлять результаты исследования и оценивать устойчивость получаемых показателей при изменении схемы зонирования. В то же время одна пространственная сетка может давать разные искажения для анализа различных типов исходных данных. В таком случае рекомендуется проведение сравнительных исследований нескольких схем зонирования с целью выбора оптимальной для конкретной задачи. В качестве

критериев оптимальности могут использоваться показатели вариативности и оценки средних показателей выборок, а также различные показатели пространственной автокорреляции. Оптимальными могут быть выбраны те схемы зонирования, которые ближе всего к средним показателям критериев оптимальности выборок. Такой подход позволит снизить риски существенного влияния выбранной схемы зонирования на отдельные показатели. Для этого потребуются дополнительные трудовые затраты для оценки устойчивости получаемых результатов количественной оценки городского пространства, а значит, и стоимость работ увеличится.

Теоретическое обоснование выбора масштаба и формы единицы анализа также может повысить качество исследования и сократить время проведения анализа за счет исключения необходимости построения сеток избыточного масштаба, например для определения уровня обеспеченности объектами социальной инфраструктуры. Если радиус обслуживания объекта социальной инфраструктуры составляет 500 м, то с увеличением масштаба пространственной единицы смысл его использования может утрачиваться (Парыгин, 2021).

Заключение

Проведенный анализ показывает, что проблема модифицируемых территориальных единиц может влиять на качество принимаемых решений в рамках градостроительной деятельности через результаты количественной оценки городского пространства. Исходя из имеющихся исследований градостроительных практик, учет проблемы модифицируемых единиц все еще является относительно редким явлением в исследовательских целях и особенно в градостроительной практике, несмотря на многочисленные работы, фиксирующие влияние MAUP на результаты количественных исследований пространственных данных разного типа. В то же время наблюдается тренд на увеличение количества работ по осмыслению и оценке подходов по минимизации эффектов масштаба и зонирования.

Результаты рассмотрения существующих подходов позволяют сделать вывод о том, что универсального способа полного устранения проблемы модифицируемых территориальных единиц не существует, а выбор территориальных единиц и схемы зонирования можно рассматривать как отдельную задачу, которую целесообразно встроить в методику количественной оценки городского пространства.

Для снижения риска получения результатов, существенно зависящих от выбора территориальной единицы анализа, целесообразно использовать несколько схем зонирования и проводить сопоставление результатов. Оценка устойчивости получаемых показателей может быть дополнительным критерием выбора конкретной схемы зонирования, в то же время использование выбранной схемы зонирования на определенной территории для новой задачи может быть неоптимальным.

Таким образом, дальнейшие исследования MAUP применительно к количественной оценке городского пространства могут быть направлены на разработку методик по выбору схемы зонирования для конкретных аналитических задач, решаемых в рамках градостроительной деятельности.

Благодарности

Исследование выполнено при поддержке «Центра цифровых научно-образовательных проектов и разработок в сфере промышленного искусственного интеллекта» Ц2RED-ИИ ВолгГТУ, созданного в рамках реализации образовательных программ топ-уровня в сфере искусственного интеллекта (Соглашение № 70-2025-000756). Авторы выражают благодарность коллегам по кафедре цифровых технологий в урбанистике, архитектуре и строительстве ИАиС ВолгГТУ, принимавшим участие в разработке проекта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

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.

Гущина В. И., Парыгин Д. С., Гараева О. В., Пикалов Д. М., Голубева О. О. Оценка жизнеспособности населенных пунктов: геопространственный подход // Социология города. 2026. № 2. С. 136—151. DOI: 10.35211/19943520_2026_2_136

Парыгин Д. С., Алешкевич А. А., Садовникова Н. П. и др. 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

Парыгин Д. С. Управляемое данными развитие урбанизированных территорий. Волгоград: ВолгГТУ, 2021. 124 с.

Chen X., Ye X., Widener M. et al. A systematic review of the modifiable areal unit problem (MAUP) in community food environmental research // Urban Informatics. 2022. Vol. 1. Art. 22. DOI: 10.1007/s44212-022-00021-1

Deng H., Liu K., Feng J. Understanding the impact of modifiable areal unit problem on urban vitality and its built environment factors // Geo-Spatial Information Science. 2025. Vol. 28. No. 2. Pp. 455—471. DOI: 10.1080/10095020.2024.2336593

Duque J. C., Laniado H., Polo A. S-Maup: Statistic Test to Measure the Sensitivity to the Modifiable Areal Unit Problem // arXiv:1806.08433, 2018.

Hämäläinen M. Urban development with dynamic digital twins in Helsinki city // IET Smart Cities. 2021. Vol. 3. No. 4. Pp. 201—210. DOI: 10.1049/smc2.12015

Haynes R., Jones A., Kennedy V., Harvey I., Jewell T. District variations in road curvature in England and Wales and their association with road-traffic crashes // Environment and Planning A: Economy and Space. 2007. Vol. 39. Pp. 1222—1237. DOI: 10.1068/a38106

Jacobs-Crisioni C., Rietveld P., Koomen E. The impact of spatial aggregation on urban development analyses // Applied Geography. 2014. Vol. 47. Pp. 46—56. DOI: 10.1016/j.apgeog.2013.11.014

Lee D. W., Rogers M., Soifer H. D. The Modifiable Areal Unit Problem in Political Science // Political Analysis. 2025. Vol. 33. No. 4. Pp. 412—424. DOI: 10.1017/pan.2025

Manley D. Scale, Aggregation, and the Modifiable Areal Unit Problem. 2013. Pp. 1157—1171. DOI: 10.1007/978-3-642-23430-9_69

Manley D. Scale, Aggregation, and the Modifiable Areal Unit Problem // Handbook of Regional Science / ed. by M. M. Fischer, P. Nijkamp. Springer, Berlin, Heidelberg, 2021. DOI: 10.1007/978-3-662-60723-7_69

Mazzulla G., Forciniti C. Spatial association techniques for analysing trip distribution in an urban area // European Transport Research Review. 2012. Vol. 4. Pp. 217—233. DOI: 10.1007/s12544-012-0082-9

Nalej M. Scale and Aggregation Effects of MAUP on Built-Up Area Concentration: Evidence from the Łódź Metropolitan Area // ISPRS International Journal of Geo-Information. 2026. Vol. 15. No. 2. Art. 72. DOI: 10.3390/ijgi15020072

Openshaw S., Taylor P. J. A million or so correlation coefficients: three experiments on the modifiable areal unit problem // Statistical Applications in the Spatial Sciences. 1979.

Swift A., Liu L., Uber J. Spatial aggregation methods for investigating the modifiable areal unit problem // International Journal of Health Geographics. 2018. Vol. 17. No. 1. Pp. 1—17. DOI: 10.1186/s12942-018-0138-9

Wang W., Xue X., Wang Z., Zhang Q. Multiscale driving mechanisms and spatial non-stationarity of landscape ecological risk based on an OPGD–MGWR framework: evidence from township-level units in the Nanjing metropolitan area (NMA), China // Ecological Indicators. 2026. Vol. 186. Art. 114840. DOI: 10.1016/j.ecolind.2026.114840

Wang W., Zhou L., Zhu A. X., Lv G. Isoline extraction based on a global hexagonal grid // Cartography and Geographic Information Science. 2025. Vol. 52. No. 3. Pp. 299—313. DOI: 10.1080/15230406.2024.2359709

Xu P., Huang H., Dong N. The modifiable areal unit problem in traffic safety: Basic issue, potential solutions and future research // Journal of Traffic and Transportation Engineering. 2018. Vol. 5. Pp. 73—82. DOI: 10.1016/j.jtte.2015.09.010

Research Article

Alexander Yu. Zuev✉
Postgraduate student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russia;
e-mail: Zuev34W@yandex.ru

Artem G. Shcherbakov
Postgraduate student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russia;
e-mail: artem.shcherbakov01@gmail.com; ORCID: 0009-0009-1008-9639

Danila S. Parygin
Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of Digital Technologies for Urban Studies, Architecture and Civil Engineering Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russia;
e-mail: dparygin@gmail.com; ORCID: 0000-0001-8834-5748

Artyom N. Kolyadov
Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russia;
e-mail: artemkoladov75@yandex.ru

Konstantin V. Egorov
Senior Lecturer of Digital Technologies in Urban Studies, Architecture and Civil Engineering Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russia;
e-mail: kv.egorow@yandex.ru; ORCID: 0009-0000-9470-7637

THE IMPACT OF THE MODIFIABLE AREAL UNIT PROBLEM ON THE QUANTITATIVE ASSESSMENT OF URBAN SPACE

Abstract. This article examines the Modifiable Areal Unit Problem (MAUP) regarding its impact on the quantitative assessment of urban areas — both for research purposes and for tasks related to urban planning and development in Russia. Two specific manifestations of this problem are addressed: the scale effect and the zoning effect. The article describes and analyzes key practices for mitigating the impact of MAUP on spatial data analysis, such as employing multiple spatial aggregation scenarios and assessing result robustness, eschewing aggregated data in favor of raw point-based measurements, and providing theoretical justification for the choice of spatial unit of analysis. Recommendations are offered for applying these practices to the quantitative assessment of urban space, ranging from general approaches utilizing various levels of administrative-territorial division and spatial grids with different geometries (e.g., square or hexagonal) to specialized methods based on additional statistical tests to evaluate the sensitivity of specific indicators.

Keywords: MAUP, modifiable areal unit problem, data aggregation, territorial zoning.

For citation: Zuev A. Yu., Shcherbakov A. G., Parygin D. S., Kolyadov A. N., Egorov K. V. (2026) The impact of the modifiable areal unit problem on the quantitative assessment of urban space. *Sotsiologiya Goroda* [Urban Sociology], no. 3, pp. 133—145 (in Russian). DOI: 10.35211/19943520_2026_3_133

Acknowledgement

The study was carried out with the support of the Center for Digital Scientific and Educational Projects and Developments in the Field of Industrial Artificial Intelligence (Ц2RED-AI) of Volgograd State Technical University, created as part of the implementation of top-level educational programs in the field of artificial intelligence (Agreement 70-2025-000756). The authors express gratitude to colleagues from the Department of Digital Technologies for Urban Studies, Architecture and Civil Engineering, VSTU involved in the development of the project.

REFERENCES

Chen X., Ye X., Widener M. et al. (2022) A systematic review of the modifiable areal unit problem (MAUP) in community food environmental research. *Urban Informatics,* vol. 1, art. 22. DOI: 10.1007/s44212-022-00021-1

Deng H., Liu K., Feng J. (2025) Understanding the impact of modifiable areal unit problem on urban vitality and its built environment factors. *Geo-Spatial Information Science*, vol. 28, no. 2, pp. 455—471. DOI: 10.1080/10095020.2024.2336593

Duque J. C., Laniado H., Polo A. (2018) S-Maup: Statistic Test to Measure the Sensitivity to the Modifiable Areal Unit Problem. *arXiv*:1806.08433.

Golubev A. V., Parygin D. S., Finogeev A. G. (2018) Approach to integrated processing of open data on city infrastructure. *Systems of Control, Communication and Security,* no. 2, pp. 84—107 (In Russian).

Gushchina V. I., Parygin D. S., Garaeva O. V., Pikalov D. M., Golubeva O. O. (2026) Assessing the viability of settlements: a geospatial approach. *Sotsiologiya Goroda* [Urban Sociology], no. 2, pp. 136—151 (in Russian). DOI: 10.35211/19943520_2026_2_136

Hämäläinen M. (2021) Urban development with dynamic digital twins in Helsinki city. *IET Smart Cities,* vol. 3, no. 4, pp. 201—210. DOI: 10.1049/smc2.12015

Haynes R., Jones A., Kennedy V., Harvey I., Jewell T. (2007) District variations in road curvature in England and Wales and their association with road-traffic crashes. *Environment and Planning A: Economy and Space*, vol. 39, pp. 1222—1237. DOI: 10.1068/a38106

Jacobs-Crisioni C., Rietveld P., Koomen E. (2014) The impact of spatial aggregation on urban development analyses. *Applied Geography*, vol. 47, pp. 46—56. DOI: 10.1016/j.apgeog.2013.11.014

Lee D. W., Rogers M., Soifer H. D. (2025) The Modifiable Areal Unit Problem in Political Science. *Political Analysis*, vol. 33, no. 4, pp. 412—424. DOI: 10.1017/pan.2025

Manley D. (2013) *Scale, Aggregation, and the Modifiable Areal Unit Problem*. Pp. 1157—1171. DOI: 10.1007/978-3-642-23430-9_69

Manley D. (2021) Scale, Aggregation, and the Modifiable Areal Unit Problem. In: Fischer M. M., Nijkamp P. (eds) *Handbook of Regional Science*. Springer, Berlin, Heidelberg. DOI: 10.1007/978-3-662-60723-7_69

Mazzulla G., Forciniti C. (2012) patial association techniques for analysing trip distribution in an urban area. *European Transport Research Review*, vol. 4, pp. 217—233. DOI: 10.1007/s12544-012-0082-9

Nalej M. (2026) Scale and Aggregation Effects of MAUP on Built-Up Area Concentration: Evidence from the Łódź Metropolitan Area. *ISPRS International Journal of Geo-Information,* vol. 15, no. 2, art. 72. DOI: 10.3390/ijgi15020072

Openshaw S., Taylor P. J. (1979) A million or so correlation coefficients: three experiments on the modifiable areal unit problem. *Statistical Applications in the Spatial Sciences*.

Parygin D. S., Aleshkevich A. A., Sadovnikova N. P. et al. (2020) Assessing the consistency of development of urban infrastructure based on spatial data analysis. *Systems of Control, Communication and Security,* no. 2, pp. 73—100 (in Russian.) DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10204

Parygin D. S. (2021) *Data-driven development of urbanized territories*. Volgograd: VSTU. 124 p. (in Russian).

Swift A., Liu L., Uber J. (2018) Spatial aggregation methods for investigating the modifiable areal unit problem. *International Journal of Health Geographics*, vol. 17, no. 1, pp. 1—17. DOI: 10.1186/s12942-018-0138-9

Wang W., Xue X., Wang Z., Zhang Q. (2026) Multiscale driving mechanisms and spatial non-stationarity of landscape ecological risk based on an OPGD–MGWR framework: evidence from township-level units in the Nanjing metropolitan area (NMA), China. *Ecological Indicators*, vol. 186, art. 114840. DOI: 10.1016/j.ecolind.2026.114840

Wang W., Zhou L., Zhu A. X., Lv G. (2025) Isoline extraction based on a global hexagonal grid. *Cartography and Geographic Information Science*, vol. 52, no. 3, pp. 299—313. DOI: 10.1080/15230406.2024.2359709

Xu P., Huang H., Dong N. (2018) The modifiable areal unit problem in traffic safety: Basic issue, potential solutions and future research. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, vol. 5, pp. 73—82. DOI: 10.1016/j.jtte.2015.09.010

Поступила в редакцию 02.10.2026 *Received 02.10.2026*

Принята в печать 12.10.2026 *Accepted for publication 12.10.2026*