2.1.13. Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов (технические науки)

Научная статья

УДК 711.4:004.92

СЕТЕВОЙ АНАЛИЗ ПЕШЕХОДНОЙ ДОСТУПНОСТИ ПОВСЕДНЕВНЫХ УСЛУГ В МОДЕЛИ 15-МИНУТНОГО ГОРОДА

Бузикаева Алина Валерьевна, кандидат технических наук, Комсомольский-на-Амуре государственный университет, Россия, Комсомольск-на-Амуре, alina.v_buzikaeva@yandex.ru;

Кошелев Александр Викторович, кандидат технических наук, младший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, Россия, Тамбов, koshelev.tambov@yandex.ru

Аннотация. Целью исследования является разработка методики количественной оценки пространственной доступности объектов повседневного обслуживания в логике концепции «15-минутного города» с учетом фактической топологии улично-дорожной сети. Методология основана на сетевом анализе в среде геоинформационных систем: изохроны пешеходной и велосипедной доступности рассчитываются с использованием многокомпонентного сетевого импеданса, после чего результаты проверяются с учетом пропускной способности объектов в разные периоды суток. Эмпирическую базу составили массивы данных о жилых зонах и точках интереса на территории Шанхая в ретроспективе 2011-2021 гг. Результаты пространственного моделирования показали существенный разрыв между формальным нормативным покрытием и фактической доступностью объектов обслуживания, обусловленный перегрузкой инфраструктуры, различиями в режимах работы объектов и физическими барьерами дорожной сети. Выявлены территории с недостаточной обеспеченностью услугами для уязвимых групп населения, на основе чего обоснованы стратегии развития и уплотнения сети объектов обслуживания,

включающие интеграцию первых этажей, формирование локальных многофункциональных хабов и применение инструментов тактического урбанизма. Практическая значимость работы определяется возможностью непосредственного внедрения предложенного диагностического инструментария при корректировке генеральных планов и программ комплексного развития территорий в условиях перехода к полицентрической модели расселения.

Ключевые слова: градостроительство, концепция «15-минутного города», пространственная доступность, сетевой анализ ГИС, сетевой импеданс, изохроны, объекты повседневного обслуживания, полицентризм, тактический урбанизм, пространственная справедливость.

Original article

NETWORK ANALYSIS OF WALKING ACCESSIBILITY OF EVERYDAY SERVICES IN A 15-MINUTE CITY MODEL

Buzikaeva Alina Valerevna, Candidate of Technical Sciences, Komsomolsk-na-Amure State University, Komsomolsk-on-Amur, Russia, alina.v_buzikaeva@yandex.ru;

Koshelev Aleksandr Viktorovich, Candidate of Technical Sciences, Junior Researcher, All-Russian Research Institute for the Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, Russia, koshelev.tambov@yandex.ru

Abstract. The aim of this study is to develop a methodology for quantitatively assessing the spatial accessibility of everyday service facilities within the logic of the "15-minute city" concept, taking into account the actual topology of the street and road network. The methodology is based on network analysis in a geographic information system environment, where pedestrian and bicycle accessibility isochrones are calculated using multi-component network impedance and subsequently verified through the capacity of facilities at various time intervals. The empirical base consisted

of datasets on residential areas and points of interest in Shanghai for the period 2011-2021. The results of spatial modeling revealed a significant gap between formal regulatory coverage and actual service accessibility, caused by infrastructure congestion, asynchronous operating modes, and physical barriers in the road network. We identified areas of deficient provision for vulnerable demographic cohorts, which served as the basis for substantiating strategies for densifying the service fabric, including integrating ground floors, creating local multifunctional hubs, and using tactical urbanism tools. The practical significance of this work lies in the potential for the immediate implementation of the proposed diagnostic tools when adjusting master plans and integrated development programs for territories in the context of the transition to a polycentric settlement model.

Keywords: urban planning, 15-minute city concept, spatial accessibility, GIS network analysis, network impedance, isochrones, amenities, polycentricity, tactical urbanism, spatial justice.

Актуальность и степень разработанности проблемы исследования. Проблема пространственной организации городских территорий, обеспечивающей повседневные потребности населения без чрезмерной зависимости от индивидуального автомобильного транспорта, занимает центральное место в дискуссиях об устойчивом развитии урбанизированных территорий. Истоки данной проблематики относятся к послевоенному периоду массовой автомобилизации, когда, как убедительно демонстрируют исследователи [1], проектирование городских магистралей и развязок подчинило себе логику расселения, породив феномен бесконтрольного расползания застройки. Доминирование частного автотранспорта в структуре городских поездок повлекло за собой ряд негативных последствий - от деградации биоразнообразия при освоении периферийных земель до хронического ухудшения качества атмосферного воздуха в жилых кварталах. Эпплъярд ещё в начале 1980-х гг. обратил внимание на то, что транспортная нагрузка

трансформирует социальное пространство, разрушая соседские связи и увеличивая финансовые издержки домохозяйств, вынужденных компенсировать территориальную разобщённость мест приложения труда, объектов обслуживания и рекреации [2].

Модернистская парадигма планирования, ассоциируемая, прежде всего, с идеями Ле Корбюзье о функциональном разделении городских зон, заложила институциональный фундамент для формирования моноцентричных структур, в которых массивы оказываются отделёнными значительными расстояниями от деловых, торговых и культурных ядер. Джейн Джекобс в своей критике подобной доктрины квалифицировала предложение о радикальном сносе и перепланировке кварталов как «наиболее драматическую идею» в истории градостроительства, указывая на то, что автомобильно-ориентированная модель неизбежно порождает социальную фрагментацию и экономическое неравенство [3]. Ньюман и Кенуорти впоследствии документировали, как нарастающая автомобилизация городов вступила в системное противоречие с задачами снижения углеродных выбросов и рационального землепользования, закрепив зависимость целых агломераций от ископаемого топлива [4]. Пандемия коронавирусной инфекции 2020 года выявила структурную уязвимость подобных территориальных конфигураций: локдауны и ограничения передвижения затруднили удовлетворение элементарных бытовых потребностей миллионов горожан, проживающих в периферийных спальных районах без развитой инфраструктуры шаговой доступности [5].

На фоне такого переосмысления подходов к городскому развитию широкое распространение получила концепция, сформулированная Карлосом Морено в 2016 году под названием «город четверти часа». В развёрнутом виде данная доктрина изложена в монографии Морено «Droit de cité: De la "ville-monde" à la "ville du quart d'heure"», а также в статье Морено, Аллама, Шабю, Галль и Пратлонга (Moreno et al., 2021), опубликованной в журнале Smart Cities. Суть концепции выражается в принципе «хроноурбанизма»: качество городской

жизни обратно пропорционально времени, затрачиваемому жителем на перемещение между точками повседневной активности, причём речь идёт преимущественно о пешеходном или велосипедном радиусе, не превышающем пятнадцати минут. Морено выделяет шесть базовых социальных функций, которые должны быть обеспечены в пределах указанного временного контура: проживание, трудовая занятость, торговля и бытовое обслуживание, медицинская помощь, образование и досуг. Достижение данного условия, согласно авторской позиции, требует одновременного соблюдения плотности, близости, разнообразия и цифровизации [6].

Практическое воплощение концепция получила в Париже, где мэр Анн Идальго в рамках предвыборной программы «Paris en Commun» 2020 года включила эту модель в стратегические документы городского развития, одержав убедительную победу на муниципальных выборах в июне того же года [7]. Впоследствии интерес к данной планировочной модели проявили международные структуры различного профиля: сеть C40 Cities, Всемирная организация здравоохранения, программа ООН-Хабитат и Организация экономического сотрудничества и развития. Временные инфраструктурные решения, стихийно возникшие в период пандемии, велосипедные полосы в Берлине и Боготе, микро-рынки в Роттердаме, лабиринтные парки в Вене, контейнерные госпитали в Турине, оказались эмпирическим подтверждением жизнеспособности принципа близости и послужили аргументом в пользу его закрепления в долгосрочных планировочных документах.

На материале Шанхая авторы исследовали пятнадцатиминутные пешеходные микрорайоны с акцентом на медико-санитарные аспекты и выявили, что неравномерное распределение объектов обслуживания воспроизводит социальное неравенство между возрастными и доходными когортами [8]. В работе [9] предложена вариация модели с двадцатиминутным радиусом на примере города Темпе в Аризоне. Оба указанных подхода разделяют с концепцией Морено базовую установку на сокращение

автомобильных поездок, однако расходятся в трактовке приоритетных функций и допустимых дистанций.

Переход к модели смешанного использования территорий представляет собой необходимый, но недостаточный этап на пути к реализации принципа хроноурбанизма. Традиционное зонирование, унаследованное от афинских хартий и закрепленное в нормативных документах большинства стран, предполагает жёсткое разделение зон, что увеличивает среднюю длину поездок и нагрузку на транспортный каркас. Смешанное использование допускает сосуществование жилья, объектов торговли, учреждений образования и рекреационных пространств в пределах одного квартала или даже здания. Компактная застройка одновременно снижает энергопотребление, повышает плотность социальных контактов и сокращает потребность в автомобильных перемещениях [10]. П. П. Спирин и соавт. дополняют данный тезис наблюдением о том, что разнообразие функций в непосредственном окружении жилища стимулирует гражданскую активность и укрепляет локальную идентичность [11]. Тем не менее, наложение разнородных функций на единую территорию не гарантирует равномерной пространственной доступности для всех групп населения, особенно если внутри квартала сохраняются барьеры в виде магистралей, промышленных зон или топографических препятствий.

Полицентризм выступает следующей ступенью территориальной реорганизации, преодолевающей ограничения как моноцентричной модели, так и точечного смешанного использования. Если смешанное использование решает задачу функциональной интеграции на уровне отдельного квартала, то полицентрическая структура распределяет узлы активности по всей территории агломерации, формируя сеть взаимодополняющих центров различного масштаба и специализации. Речь идёт о переходе к сети локальных кварталов, каждый из которых обладает достаточным набором объектов обслуживания для реализации шести базовых функций, а межцентровые связи обеспечиваются общественным транспортом и цифровыми платформами. Оптимальная плотность застройки в

полицентрической конфигурации позволяет локализовать энергогенерацию, продовольственное снабжение и многофункциональное использование общественных пространств, избегая при этом перегрузки инфраструктуры, характерной для сверхплотных моноцентров [12]. Л.В. Задвернюк, в свою очередь, настаивает на том, что подлинная полицентричность невозможна без приоритета пешеходного и велосипедного движения на уровне каждого узла, поскольку именно масштаб человеческого тела определяет радиус повседневной активности [13].

Оценка того, насколько конкретная городская территория соответствует критериям пятнадцатиминутной доступности, требует инструментария, способного оперировать реальной дорожной сетью, а не абстрактными евклидовыми расстояниями. Разработана диагностическая система оценки «жизненного круга» сообщества на основе городских данных из нескольких источников, включающая индексы справедливости, доступности и разнообразия для шестнадцати типов объектов обслуживания в семи категориях. Авторы применили буферный анализ с радиусом 1000 метров, построенный вдоль пешеходной сети в среде ArcGIS, к данным о 27466 жилых зонах Шанхая и 119571 точке интереса, полученным из картографического сервиса Amap. Результаты пространственного сравнения Пекина, Шанхая, Шэньчжэня и Уханя продемонстрировали, что средний коэффициент покрытия объектами обслуживания в Шанхае составляет 82,4%, тогда как в Пекине он не превышает 75,1%, причём разрыв между центральными районами и периферией в Пекине и Шанхае значительно превышает аналогичный показатель для Шэньчжэня, где распределение инфраструктуры характеризуется большей равномерностью [2]. Лонгитюдный анализ Шанхая за 2011 год, 2016 год и 2021 год зафиксировал рост среднего покрытия до 82,4%, при этом наиболее существенная динамика наблюдалась в сегменте спортивных и культурных объектов, а наименьшая - в сфере услуг для пожилых [4].

Сетевой анализ в среде геоинформационных систем предоставляет

методологическую основу для перевода нормативных требований к доступности в количественно измеримые показатели, учитывающие топологию улично-дорожной сети, режимы одностороннего движения, пешеходные переходы, перепады рельефа и фактическую связность маршрутов. В отличие от буферного анализа, сетевое моделирование позволяет вычислять изохроны реального времени перемещения и идентифицировать участки, формально находящиеся в пределах заданного радиуса, но труднодостижимые из-за разрывов в пешеходной инфраструктуре. Заложены теоретические основы модели максимального покрытия, впоследствии развитые в [14] применительно к распределению населения Кардиффа в контексте непрерывной пространственной оптимизации. Интеграция подобных моделей с актуальными данными о плотности населения, демографическом профиле и функциональном назначении застройки открывает возможность не только констатировать существующие дефициты, но и прогнозировать эффект планируемых градостроительных решений.

Данное исследование направлено на разработку и апробацию методики оценки пространственной доступности услуг в логике «15-минутного города» с применением сетевого анализа геоинформационных систем.

Научная новизна работы состоит в сочетании концепции хроноурбанизма с количественными методами ГИС-моделирования, учитывающими реальную топологию дорожной сети, что преодолевает ограничения евклидовых и буферных подходов, зафиксированные в предшествующих исследованиях.

Практическая значимость определяется возможностью использования полученных результатов при корректировке генеральных планов, программ комплексного развития территорий и нормативов размещения объектов социальной инфраструктуры в условиях перехода от функционального зонирования к полицентрической модели расселения.

Методология исследования. Расчёт изохрон пешеходной и велосипедной доступности выполнен в модуле Network Analyst программного обеспечения

ArcGIS Pro 3.1 с использованием топологически корректного графа улично-дорожной сети, извлечённого из данных OpenStreetMap и верифицированного по материалам муниципальной геопортальной платформы. Каждому ребру графа присвоен базовый импеданс, выраженный в минутах перемещения при средней пешеходной скорости 4,5 км/ч, что соответствует нормативной скорости, принятой в китайской практике планирования жизненных кругов [2], [3]. Для велосипедного режима базовая скорость установлена на уровне 14 км/ч с поправкой на тип покрытия и наличие выделенной полосы.

Сетевой импеданс каждого ребра рассчитан как аддитивная функция четырёх составляющих. Первая - временная задержка на светофорных объектах, определяемая по эмпирическим данным фаз регулирования, полученным из открытых массивов муниципального департамента транспорта: для нерегулируемых пересечений задержка принята равной нулю, для регулируемых - от 20 до 75 секунд в зависимости от длительности запрещающей фазы. Вторая составляющая учитывает перепады высот: на участках с продольным уклоном свыше 4 % введён мультипликатор 1,3 к базовому времени, при уклоне свыше 7 % - мультипликатор 1,7, что согласуется с рекомендациями [4] относительно влияния рельефа на привлекательность пеших и велосипедных маршрутов. Третья компонента отражает безопасность перехода через проезжую часть: на участках с многополосными магистралями без подземного или надземного перехода импеданс увеличен на 15 секунд, при отсутствии тротуара на одной из сторон улицы ребро исключено из пешеходного графа. Четвёртая составляющая моделирует влияние плотности застройки на скорость перемещения в условиях насыщенного пешеходного потока в часы пик, для чего использованы данные переписи 2021 года по численности населения в каждой жилой зоне.

Изохроны построены для трёх временных порогов 5, 10 и 15 минут отдельно для пешеходного и велосипедного режимов. Граница пятнадцатиминутной изохроны при пешем перемещении соответствует приблизительно одному километру по дорожной сети [2], при велосипедном -

около 3,2-3,5 километров. Генерация полигонов изохрон выполнена методом построения выпуклых оболочек по узлам графа, достижимым в пределах заданного порога, с последующей интерполяцией по методу Байесовского кригинга для получения непрерывных полей доступности.

Оценка обеспеченности объектами социально-культурного и бытового обслуживания проведена по номенклатуре шестнадцати типов объектов, объединённых в семь категорий, заимствованной из диагностической системы [2]: образование (детский сад, начальная школа, средняя школа), культура (библиотека, культурный центр, клубное помещение), спорт (площадка, спортивный центр, фитнес-клуб), администрирование (районное управление, общественный центр, судебный офис), торговля (продовольственный рынок, почтовое отделение), обслуживание пожилых (учреждение геронтологического профиля), медицинская помощь (центр первичного звена). Для каждой жилой зоны, идентифицированной по данным платформы Lianjia и картографического сервиса Amap, определено число объектов каждого типа, попадающих в соответствующую изохрону, после чего вычислены коэффициент покрытия, индекс доступности и индекс разнообразия Шеннона-Винера.

Коэффициент покрытия для жилой зоны k по типу сервиса i определён соотношением (1):

$$f(C_{ki}) = 1, \text{если } C_{ki} \leq 1000 \text{ м};\ f(C_{ki}) = 0, \text{если } C_{ki} > 1000 \text{ м} \quad (1)$$

где

C_{ki} - расстояние по дорожной сети от зоны k до ближайшего объекта типа i.

Агрегированный коэффициент покрытия CR_i рассчитан как доля покрытых зон от общего числа m зон в исследуемой территории, исходя из формулы (2):

$$CR_i = \frac{\Sigma f(C_{ki})}{m} \quad (2)$$

Индекс доступности A_k для зоны k вычислен по формуле (3):

$$A_k = \sum W_i * F_{ki} \quad (3)$$

где

W_i - весовой коэффициент типа i, полученный методом анализа иерархий на основе экспертных оценок пятидесяти специалистов в области градостроительного планирования [2];

F_{ki} - нормированный количественный показатель объектов типа i в зоне k.

Весовые коэффициенты распределены следующим образом: образование - 0,1941, торговля - 0,1827, медицина - 0,1588, спорт - 0,1469, культура - 0,1310, обслуживание пожилых - 0,0987, администрирование - 0,0878.

Индекс разнообразия H_k определён по формуле Шеннона-Винера (4):

$$H_k = -\sum \frac{n_i}{N} * \ln\left(\frac{n_i}{N}\right) \quad (4)$$

где

n_i - число объектов типа i в изохроне зоны k;

N - суммарное число объектов всех типов.

Пропускная способность объектов учтена посредством введения коэффициента загрузки, равного отношению численности населения в зоне обслуживания к нормативной вместимости объекта. Для образовательных учреждений нормативная вместимость принята по числу мест, для медицинских центров - по пропускной способности в смену, для торговых объектов - по площади торгового зала. Режим работы учтён путём построения изохрон для трёх временных срезов: утренний (7:00-9:00), дневной (12:00-14:00) и вечерний (18:00-20:00), что позволяет выявить сервисы, недоступные в определённые периоды суток.

Выявление дефицитных зон выполнено путём наложения полигонов изохрон на слой жилых зон с последующей идентификацией участков, в которых хотя бы один из обязательных типов сервисов отсутствует в пределах пятнадцатиминутной пешей изохроны. Обязательные типы определены по результатам анкетирования 412 жителей и 26 председателей квартальных комитетов Шанхая [2]: медицинский центр, продовольственный рынок, начальная школа и учреждение геронтологического профиля отнесены к

некомпенсируемым, остальные категории допускают взаимную заменяемость.

Результаты исследования. Пространственное моделирование пешеходных изохрон выявило выраженную территориальную неоднородность доступности объектов повседневного обслуживания в рассматриваемых районах Шанхая. Согласно представленным сравнительным показателям, средний коэффициент покрытия объектами обслуживания составляет 94,7 % для центральной части и 70,1 % для периферийных территорий. Различие между указанными значениями достигает 24,6 процентного пункта, что характеризует существенную пространственную дифференциацию обеспеченности населения городской инфраструктурой. Невзвешенное среднее двух территориальных показателей составляет 82,4 %, однако его нельзя отождествлять с общегородским коэффициентом доступности без учёта численности населения и состава исследуемых территориальных единиц. Следовательно, сопоставление центральных и периферийных районов должно основываться на единообразном определении коэффициента покрытия и разграничении локальных, территориально усреднённых и общегородских оценок (таблица 1).

Таблица 1 - Коэффициенты покрытия объектами обслуживания по категориям в центральной и периферийной зонах исследуемого района, %

Категория сервиса	Центральная зона	Периферийная зона	Разрыв
Образование (среднее по трём подтипам)	95,2	79,9	15,3
Культура (среднее по трём подтипам)	79,2	42,9	36,3
Спорт (среднее по трём подтипам)	95,6	75,3	20,3
Администрирование	96,5	57,5	39,0
Торговля	99,6	97,7	1,9
Обслуживание пожилых людей	75,8	54,3	21,5
Медицина	90,6	82,1	8,5
Все категории	94,7	70,1	24,6

Источник: разработано авторами.

Наибольший дефицит зафиксирован по учреждениям культурного профиля: покрытие клубными помещениями в периферийной зоне составляет лишь 30% против 58,6% в центральной. Библиотечное обслуживание

периферийных жилых массивов обеспечено на 41,5%, что почти вдвое ниже центрального показателя 87,7%. Учреждения геронтологического профиля демонстрируют разрыв в 21,5 п.п., что приобретает актуальность в условиях старения населения Шанхая, где доля жителей старше шестидесяти лет достигла 23,38% по данным седьмой национальной переписи 2021 года (рисунок 1).

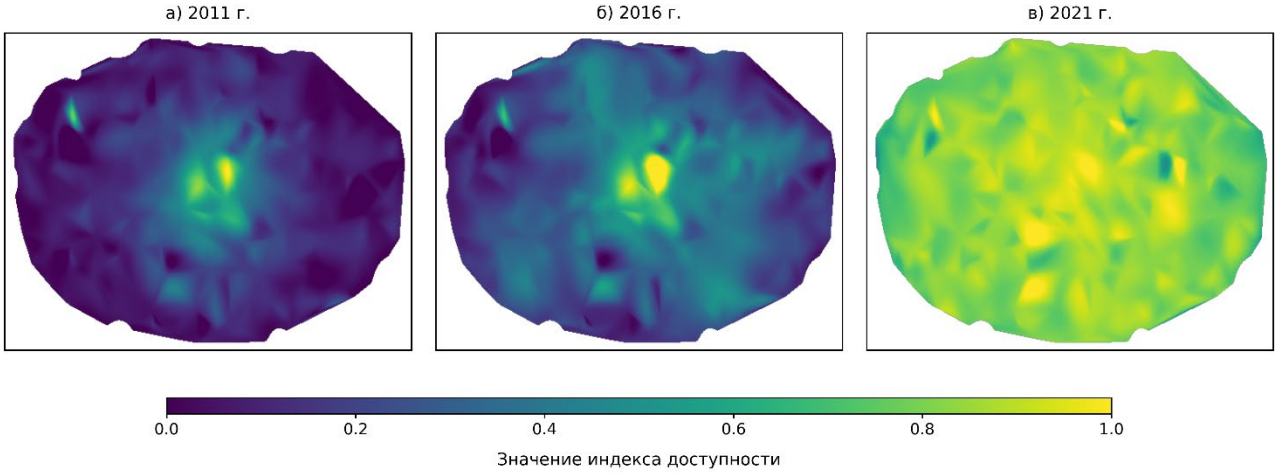


Рисунок 1 - Пространственное распределение индекса доступности в исследуемом районе по данным интерполяции Байесовского кригинга (источник: разработано авторами)

В 2011 году зоны с высоким индексом локализованы в ядре центральной части района, а вся периферия характеризуется низкими значениями. К 2016 году, когда началась реализация программы планирования жизненных кругов сообщества в Шанхае, зоны повышенных значений индекса появляются и в так называемых «новых центрах» периферийных административных округов. К 2021 году зоны низких значений существенно сокращаются, однако не исчезают полностью, концентрируясь в наиболее удалённых жилых массивах, не охваченных реконструкцией дорожной сети.

Анализ дефицита с учётом пропускной способности объектов выявил дополнительные ограничения, не фиксируемые простым подсчётом наличия сервиса в изохроне. Так, в трёх периферийных жилых зонах с совокупным населением около 48 тысяч человек формально присутствуют медицинские центры первичного звена, однако их нормативная пропускная способность составляет 320 посещений в смену при фактической потребности, рассчитанной

по численности обслуживаемого населения, в 610 посещений. Коэффициент загрузки данных объектов достигает 1,9, что делает пятнадцатиминутную доступность номинальной: жители вынуждены ожидать приёма или обращаться в удалённые учреждения. Аналогичная ситуация характерна для двух начальных школ в юго-восточной части района, где число учеников превышает проектную вместимость на 22%, что приводит к организации обучения в две смены и сокращению временного окна доступности для работающих родителей.

Учёт режима работы объектов обнаружил, что 34% продовольственных рынков в периферийной зоне функционируют исключительно до 19:00, тогда как значительная часть трудоспособного населения возвращается домой после 19:30. Вечерняя изохрона (18:00-20:00) для данной категории сервисов, таким образом, не покрывает до 18% жилых зон, формально входящих в дневную зону обслуживания. Почтовые отделения работают в будние дни до 17:00, что делает их недоступными для населения, работающего по стандартному графику.

Идентификация участков, где ни один из обязательных типов сервисов не достижим в пределах пятнадцатиминутной пешей изохроны, выявила 47 жилых зон с совокупным населением приблизительно 112 тысяч человек. Данные зоны расположены вдоль магистралей с четырьмя и более полосами движения, где отсутствие подземных или надземных переходов создаёт фактический барьер, нарушающий пешеходную связность. В пределах велосипедной изохроны число дефицитных зон сокращается до 19, что подтверждает компенсаторную роль велосипедной инфраструктуры, однако для пожилых жителей и семей с малолетними детьми данный режим перемещения остаётся малопригодным.

Стратегии уплотнения сервисной ткани в выявленных дефицитных зонах рассмотрены в трёх взаимодополняющих направлениях. Первое предполагает использование помещений первых этажей жилых зданий для размещения объектов повседневного обслуживания. Нормативная база Шанхая допускает перевод не менее 15% площади первых этажей в нежилой фонд при условии соблюдения санитарных разрывов и обеспечения пожарной безопасности. Для

47 дефицитных зон расчёт показал, что использование даже 8% существующей площади первых этажей позволяет разместить 12 продовольственных магазинов шаговой доступности, 5 амбулаторных пунктов и 3 клубных помещения, что сокращает число некомпенсированных зон до 21. Второе направление связано с формированием локальных сервисных хабов - компактных многофункциональных узлов, объединяющих в радиусе 200-300 метров медицинский пункт, отделение социального обслуживания, мини-библиотеку и площадку для физической активности. Подобные хабы соответствуют принципу разнообразия и смешанного использования, обеспечивая одновременное удовлетворение нескольких повседневных функций без необходимости последовательных перемещений. Третье направление опирается на инструменты тактического урбанизма: временное перепрофилирование участков улично-дорожной сети под сезонные рынки, организацию пешеходных зон в выходные дни, установку модульных конструкций для оказания медицинских и административных услуг. Опыт временных инфраструктур пандемийного периода - микро-рынки Тиммерманса в Роттердаме, контейнерные госпитали в Турине, лабиринтные парки Вены, подтверждает, что подобные решения способны в краткосрочной перспективе компенсировать дефицит капитальных объектов (таблица 2).

Таблица 2 - Характеристика дефицитных зон и предлагаемых мер уплотнения

Параметр	Исходное состояние	После интеграции первых этажей	После создания хабов	После тактических мер
Число дефицитных зон	47	21	11	4
Население в дефицитных зонах, тыс. чел.	112,0	51,3	27,8	9,4
Средний коэффициент покрытия обязательных сервисов	0,61	0,78	0,89	0,95
Доля зон с коэффициентом загрузки > 1,2, %	38	24	14	7
Число объектов, доступных в вечерний интервал, %	66	74	83	91

Источник: разработано авторами.

Обсуждение результатов исследования. Полученные результаты свидетельствуют о том, что пространственная достижимость объектов повседневного обслуживания не является достаточным условием их фактической доступности. Дополнительное влияние оказывают пропускная способность учреждений, режимы работы, особенности пешеходной сети и наличие транспортных барьеров. Доля территориальных зон с коэффициентом загрузки объектов обслуживания более 1,2 составляла 38 %. В сценариях интеграции сервисных помещений в первые этажи жилых зданий, формирования локальных сервисных хабов и реализации тактических планировочных мероприятий соответствующие значения снижались до 24 %, 14 % и 7 %. Указанные показатели характеризуют долю расчётных территориальных единиц с повышенной нагрузкой на учреждения. Таким образом, результаты анализа подтверждают необходимость совместного учёта времени пешеходного перемещения, территориальной обеспеченности объектами и соответствия их пропускной способности расчётной потребности населения.

Сетевой импеданс, введённый в настоящем исследовании как многокомпонентная характеристика стоимости перемещения, оказался более информативным показателем, чем расстояние по дорожной сети. Учёт светофорных задержек увеличивает среднее время перемещения по пятнадцатиминутной изохроне на 8-12%, перепады высот добавляют 4-19% в зависимости от рельефа, а небезопасные переходы через многополосные магистрали фактически разрывают изохрону на изолированные фрагменты. Изъятие пространства у автомобильного движения в пользу пешеходов и велосипедистов способно нивелировать значительную часть данного импеданса, однако для этого требуется системное перепроектирование поперечных профилей улиц [4].

Сопоставление результатов с данными лонгитюдного анализа Шанхая показывает, что средний коэффициент покрытия вырос до 82,4%, причём наибольший прирост пришёлся на спортивные объекты и клубные помещения, а

наименьший - на учреждения геронтологического профиля. Индекс Шеннона-Винера для периферийных округов Чунмин, Фэнсянь, Цзядин и Цинпу снизился в период 2011-2016 гг., что авторы объясняют опережающим жилищным строительством по отношению к вводу сервисной инфраструктуры, и лишь после запуска программы планирования жизненных кругов в 2016 году тенденция развернулась. Данная динамика указывает на то, что без целенаправленного градостроительного регулирования рыночные механизмы самостоятельно не обеспечивают сбалансированного распределения объектов обслуживания.

Предложенные стратегии уплотнения представляют собой промежуточный инструмент, позволяющий сократить дефицит в течение двух-пяти лет до ввода постоянных объектов. Интеграция первых этажей, как показал расчёт, способна закрыть до 55% выявленных дефицитных зон при минимальных инвестициях в строительные конструкции. Тактический урбанизм выполняет роль оперативного реагирования и одновременно служит полигоном для проверки гипотез о востребованности конкретных сервисов до принятия решения о капитальном размещении.

Корректировка генерального плана исследуемого района, обоснованная результатами сетевого анализа, предполагает три группы мероприятий. В краткосрочной перспективе - пересмотр схем организации пешеходного движения на участках с выявленными барьерами: устройство трёх подземных и двух надземных переходов через магистральные улицы, оборудование семи нерегулируемых пересечений светофорами с приоритетной фазой для пешеходов. В среднесрочной перспективе - резервирование земельных участков под размещение четырёх многофункциональных сервисных хабов в зонах с коэффициентом покрытия ниже 0,65 и внесение соответствующих изменений в правила землепользования и застройки. В долгосрочной перспективе - пересмотр нормативов размещения объектов геронтологического профиля с учётом прогнозируемой динамики старения населения и введение обязательного учёта пропускной способности при согласовании проектов планировки территорий.

Ограничения проведённого исследования связаны с использованием усреднённых скоростных параметров перемещения, не дифференцированных по возрастным группам. Пожилые жители и дети обладают иной скоростью ходьбы и иными паттернами использования пространства. Кроме того, данные о фактических маршрутах передвижения, полученные из анонимизированных треков мобильных устройств, не использованы в полной мере по причине ограничений доступа к массивам.

Перспективным направлением дальнейшей работы является интеграция моделей сетевого анализа с данными о фактических перемещениях, полученными из транспортных карт и сервисов навигации.

Выводы. С теоретической точки зрения полученные результаты вносят вклад в обоснование перехода от моноцентрической модели расселения, унаследованной от модернистского зонирования и подвергнутой фундаментальной критике Джейн Джекобс, к полицентрической конфигурации. В такой конфигурации сетевой анализ ГИС может использоваться как диагностический инструмент для количественной оценки соответствия территории критериям хроноурбанизма и определения приоритетов инвестирования в условиях ограниченных ресурсов.

Практическая значимость работы определяется возможностью непосредственного использования разработанной методики при корректировке генеральных планов, программ комплексного развития территорий и нормативов размещения объектов социальной инфраструктуры.

Дальнейшая разработка концепции пятнадцатиминутного города требует применения современных исследовательских методов и оценки её возможностей как дополнения к классическим моделям пространственного анализа. В этом контексте сетевой анализ ГИС может служить практическим инструментом принятия обоснованных планировочных решений с учётом транспортных, социальных и экологических задач устойчивого развития городской среды.

Список литературы

1. Ахметова Д. Р., Сазонова Л. Д., Курлов А. В., Юрченко Д. А., Белова П. В., Егорова П. Г. Реализация концепции 15-минутного города на примере жилого комплекса «Зиларт» // Вестник Московского университета. Серия 5. География. – 2025. – №. 3. – С. 73-85.

2. Гонюхов П. О., Шелудков А. В. Являются ли постсоветские города 15-минутными? Различия пешеходной доступности базовых городских услуг по морфотипам жилой застройки Краснодара, Саратова и Набережных Челнов // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2025. – Т. 88. – №. 5. – С. 820-835.

3. Стрельникова А. В., Веригина Т. Е. Город технологичный или город «удобный»: урбанистические тенденции и их воплощение (на примере Москвы) // Мир России. Социология. Этнология. – 2023. – Т. 32. – №. 3. – С. 6-27.

4. Кондратенко Т. О., Корнев А. Н. Градостроительная концепция «15-минутный город» // Молодой исследователь Дона. – 2025. – Т. 10. – №. 5. – С. 156-159.

5. Шитова Ю. Ю., Власов Д. Н. Анализ локальной и глобальной динамики транспортной доступности агломерации // Теория и практика общественного развития. – 2026. – №. 5. – С. 177-189.

6. Разенков П. И., Корнилов А. Г. Обеспеченность общественным транспортом Белгородской агломерации как фактор устойчивого развития // Региональные геосистемы. – 2024. – Т. 48. – №. 2. – С. 162-173.

7. Лукьянчикова А. Д., Благова М. В. Многофункциональные жилые комплексы как инструмент полицентричного развития города (на примере Нальчика, КБР) // Вестник науки. – 2025. – Т. 1. – №. 4 (85). – С. 480-490.

8. Зотова М. В., Махрова А. Г., Глезер О. Б. Тенденции урбанистических исследований в России: тематика в свете современного состояния географической науки // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2025. – Т. 88. – №. 5. – С. 601-614.

9. Zakharchuk E. A., Trifonova P. S., Uporov V. E. The Cittaslow concept as a promising direction for the development of small and medium-sized cities in Russia // Digital Economy & Innovations. – 2024. – №. 1. – С. 5-17.

10. Балабейкина О. А., Кочетова А. С., Янковская А. А. Глобальный город как актор устойчивого развития: кейс Шанхая // Псковский регионологический журнал. – 2023. – Т. 19. – №. 1. – С. 3-17.

11. Спирин П. П., Друзина О. А., Акимов А. Д. Генеральный план как инструмент решения градостроительных задач инновационного развития столицы Кыргызской Республики города Бишкека // Academia. Архитектура и строительство. – 2026. – №. 1. – С. 82-95.

12. Коротковская Е. С. Цифровизация индустриальных парков: технологическая трансформация производственных территорий в контексте социально-экологической устойчивости // Цифровая социология/Digital Sociology. – 2026. – Т. 9. – №. 1. – С. 79-92.

13. Задвернюк Л. В. Современные тенденции урбанизации в условиях Дальнего Востока России // Урбанистика. – 2026. – №. 1. – С. 71-84.

14. Карчагин Е. В. Социальные потребности горожан: теоретико-методологические аспекты // Социология города. – 2023. – №. 1. – С. 5-19.

References

1. Akhmetova D. R., Sazonova L. D., Kurlov A. V., Yurchenko D. A., Belova P. V., Egorova P. G. Implementation of the 15-Minute City Concept Using the Zilart Residential Complex as an Example // Bulletin of Moscow University. Series 5. Geography. - 2025. - No. 3. - P. 73-85.

2. Gonyukhov P. O., Sheludkov A. V. Are Post-Soviet Cities 15-Minute? Differences in Pedestrian Accessibility of Basic Urban Services by Residential Development Morphotypes in Krasnodar, Saratov, and Naberezhnye Chelny // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Geographical Series. - 2025. - Vol. 88. - No. 5. - P. 820-835.

3. Strelnikova A. V., Verigina T. E. Technological City or "Convenient" City: Urban

Trends and Their Implementation (using Moscow as an Example) // The World of Russia. Sociology. Ethnology. - 2023. - Vol. 32. - No. 3. - P. 6-27.

4. Kondratenko T. O., Kornev A. N. Urban Development Concept "15-Minute City" // Young Researcher of the Don. - 2025. - Vol. 10. - No. 5. - P. 156-159.

5. Shitova Yu. Yu., Vlasov D. N. Analysis of Local and Global Dynamics of Transport Accessibility of an Agglomeration // Theory and Practice of Social Development. - 2026. - No. 5. - P. 177-189.

6. Razenkov P. I., Kornilov A. G. Provision of public transport in the Belgorod agglomeration as a factor in sustainable development // Regional geosystems. - 2024. - Vol. 48. - No. 2. - P. 162-173.

7. Lukyanchikova A. D., Blagova M. V. Multifunctional residential complexes as a tool for polycentric urban development (on the example of Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic) // Herald of Science. - 2025. - Vol. 1. - No. 4 (85). - P. 480-490.

8. Zotova M. V., Makhrova A. G., Glezer O. B. Trends in urban research in Russia: topics in light of the current state of geographical science // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Geographical Series. - 2025. - Vol. 88. - No. 5. – P. 601-614.

9. Zakharchuk E. A., Trifonova P. S., Uporov V. E. The Cittaslow concept as a promising direction for the development of small and medium-sized cities in Russia // Digital Economy & Innovations. – 2024. – No. 1. – P. 5-17.

10. Balabeykina O. A., Kochetova A. S., Yankovskaya A. A. Global city as an actor of sustainable development: the case of Shanghai // Pskov regionalology journal. – 2023. – Vol. 19. – No. 1. – P. 3-17.

11. Spirin P. P., Druzina O. A., Akimov A. D. Master plan as a tool for solving urban planning problems of innovative development of the capital of the Kyrgyz Republic, Bishkek // Academia. Architecture and Construction. - 2026. - No. 1. - P. 82-95.

12. Korotkovskaya E. S. Digitalization of Industrial Parks: Technological Transformation of Production Areas in the Context of Social and Environmental Sustainability // Digital Sociology. - 2026. - Vol. 9. - No. 1. - P. 79-92.

13. Zadvernyuk L. V. Modern Trends of Urbanization in the Russian Far East // Urban

Studies. - 2026. - No. 1. - P. 71-84.

14. Karchagin E. V. Social Needs of Citizens: Theoretical and Methodological Aspects // Sociology of the City. - 2023. - No. 1. - P. 5-19.

Статья поступила в редакцию 08.05.2026; одобрена после рецензирования 15.06.2026; принята к публикации 08.10.2026.

The article was submitted 08.05.2026; approved after peer review 15.06.2026; accepted for publication 08.10.2026.