

Пространственная структура, связность и стратегии планирования логистической сети Уханьской агломерации: исследование на основе данных грузовой навигации

ШАН Чжожань, ЧЖУ Цзюньмо, ЮАНЬ Мани, ХУАН Япин, ФУ Линфэн

Аннотация: На основе больших данных грузовой навигации Gaode (AutoNavi) данное исследование рассматривает пространственные характеристики и методологию планирования логистической сети Уханьской агломерации. Результаты показывают, что общая пространственная структура логистической активности имеет полюсно-доминантный характер с географической концентрацией, обусловленной распределением ресурсов. В частности, активность тяжёлых грузовиков демонстрирует модель концентрации в центральных районах и рассредоточения к периферийным индустриальным паркам и портовым зонам. В отличие от них, активность средних, малых и микрогрузовиков демонстрирует иерархическое распределение — закрепление в городских ядрах, кластерную агломерацию в застроенных зонах центральных городов и фрагментарное рассредоточение в периферийных районах. С помощью кластерного анализа выявлено 122 функционально дифференцированных логистических пространственных единицы, некоторые из которых не соответствуют действующей политике планирования. Сетевой анализ обнаруживает «эффект Матфея» в логистической связности, выявляет потенциальные региональные транспортные коридоры в различных направлениях и фиксирует значительные диспропорции в силе внутренних связей и межкластерных потоках среди вторичных логистических сообществ. Для устранения пространственных дисбалансов в распределении ресурсов, отставания в связности и недостаточной координации между кластерами в сети грузовых перевозок данная работа предлагает стратегическую framework планирования, основанную на укреплении узлов, развитии коридоров и реорганизации сообществ. Данная структура описывает логистическую пространственную конфигурацию, включающую пять типов объектов, семь коридоров и пять сообществ, и предлагает три направления оптимизации с практическими мерами. Исследование создаёт теоретическую базу для развития современной логистики и планирования пространственного размещения в агломерациях Китая.

Ключевые слова: данные грузовой навигации; логистическая сеть; пространственное размещение логистики; стратегия планирования; агломерация

Согласованное размещение и комплексное планирование современных логистических пространств имеет большое значение для повышения региональной экономической эффективности, оптимизации транспортных структур, укрепления межгородских производственных связей и стабилизации цепочек поставок в агломерациях [1-3]. В ноябре 2024 года General Office ЦК КПК и General Office Государственного совета опубликовали План действий по существенному снижению логистических издержек во всём обществе, предусматривающий дальнейшее совершенствование системы логистического обслуживания «хаб-спица», развитие хабов и коридорной экономики, а также построение современной логистической операционной системы, интегрирующей «коридоры + узлы + сети». Уханьская агломерация, являясь ключевой

экономической зоной среднего течения Янцзы и крупнейшим национальным комплексным транспортным узлом, за последние годы продемонстрировала рост масштабов логистики и увеличение числа логистических предприятий. Её логистическая деятельность играет всё более важную роль как двигатель регионального экономического роста, формируя политически обусловленные пространственные конфигурации. План развития современной логистической индустрии Уханя на 14-ю пятилетку (2022) предусматривал создание осей логистической синергии вдоль городских коридоров развития У-Э-Хуан-Хуан, Хань-Сяо, У-Сянь и У-Сянь-Тянь-Цянь (У-Сянь), а также углубление региональных связей и каскадное развитие логистических узлов вдоль этих осей. Однако реализация планов и строительных проектов выявила такие недостатки, как слабая связность между узлами логистических хабов, неполнота междугородних транспортных сетей, недостаточность логистической инфраструктуры и несбалансированность планирования логистических ресурсов, что свидетельствует о незрелости понимания закономерностей развития логистического пространства на уровне агломерации.

Региональное распределение ресурсов и размещение факторов производства на основе характеристик логистической активности всё больше становятся предметом повышенного внимания в планировочной науке. В части данных более ранние исследования опирались преимущественно на обследования «начало-конец» (OD-опросы) и анкетирование (выявленные предпочтения, RP), а также переписи населения и обследования мобильности для идентификации ключевых грузовых узлов [4-6]. Последующие исследования в значительной степени опирались на данные GPS грузовиков [7], данные пунктов взимания платы [8], данные о транспортных потоках [9] и данные полевых обследований, собранных при посещении магазинов Taobao [10], что позволило картографировать топологическую структуру и распределение потоков региональных логистических сетей в крупных масштабах [11-12]. В методологическом плане большинство исследований использовали провинции, города или районы/уезды в качестве статистических единиц, при этом эмпирические исследования были сосредоточены преимущественно на национальном уровне [13-14], провинциальном масштабе [8] и городских агломерациях [15]. Методы анализа социальных сетей получили широкое применение с фокусом на таких ключевых показателях, как плотность сети, сила связей и коэффициент вариации [16-17]. В содержательном плане картографирование пространственной структуры региональных логистических сетей остаётся основной работой; некоторые исследования также исследовали применение теории «хаб-спица» для снижения общих затрат и ускорения региональной координации логистических узлов [18-19]. Другие рассматривали трансграничные логистические сети в межгородских переходных зонах, исследуя «эффект затухания расстояния – эффект границы» в эволюции сетей [18]. В целом, существующие исследования накопили ценный опыт в методах количественного анализа; однако статистические анализы на основе масштаба административных районов не способны точно зафиксировать значительный объём логистической активности, протекающей в пределах индустриальных парков и логистических парков, и не могут отразить реальные схемы движения грузовиков в физическом пространстве. Поэтому необходимо внедрение сеточных единиц более высокой точности для повышения надёжности аналитических результатов и обоснованности выводов [20-21].

В данном контексте настоящее исследование использует сеточные ячейки 2 км × 2 км для измерения моделей пространственного распределения логистической активности различных типов грузовиков в Уханьской агломерации, интегрирует методы пространственной кластеризации для идентификации региональных логистических пространственных единиц и применяет анализ социальных сетей для характеристики структуры связности и общественных отношений логистической сети, тем самым направляя оптимизацию региональной логистической пространственной структуры Уханьской агломерации.

1 Данные и методы исследования

1.1 Область исследования

План развития Уханьской агломерации был официально утверждён Государственной комиссией по развитию и реформам в 2022 году. Поскольку её границы не были официально опубликованы, в качестве области исследования были выбраны девять городов, охваченных Трёхлетним планом действий Уханьской агломерации (2023–2025): Ухань, Эчжоу, Хуанши, Хуанган, Сяогань, Сяньнинь, Сяньтао, Тяньмэнь и Цяньцзян. Несбалансированная модель развития «сильное ядро – слабая периферия» Уханьской агломерации, а также значительные различия в экономической плотности и уровне инфраструктуры между городами-членами создают идеальную лабораторию для измерения эффектов «всасывания – перелива» региональной логистической сети.

1.2 Преимущества данных

Данные грузовой навигации, использованные в данном исследовании, предоставлены компанией AutoNavi (Gaode) Software Co., Ltd. и обладают тремя основными преимуществами:

- ① Более точное и достоверное отражение фактических начал и окончаний поездок. В отличие от данных GPS грузовиков, подверженных техническим остановкам, перебоям сигнала и пробелам покрытия под мостами или в удалённых горных районах (что приводит к разрывам цепочек OD и ложным точкам остановки), данные навигации грузовиков генерируются активными запросами навигации пользователями и не подвержены таким помехам. Более того, пользователи грузовой навигации Gaode составляют примерно 40 % всех пользователей грузовиков, что обеспечивает надёжность данных. Доля пар OD грузовых поездок с относительно стабильными началами и окончаниями в течение одного дня в Уханьской агломерации достигает 75 %, что способствует комплексному и непрерывному захвату высокочастотных и короткоцикловых повторяющихся паттернов движения грузовиков.
- ② Более детальная информация о классификации грузовиков по размерам. Обычные исследования часто используют данные о перемещениях грузовиков массой более 12 тонн (например, данные транспортных ведомостей по мониторингу тяжёлых грузовиков) в качестве прокси, что не может отразить логистическую активность средних, малых и микрогрузовиков [21]. Данные грузовой навигации, собранные в данном исследовании, включают ключевые параметры, такие как тип грузовика, длина, ширина и масса автомобиля, что позволяет более полно и сбалансированно охарактеризовать операционные условия различных типов грузовых автомобилей.
- ③ С учётом ограничений по стоимости данные собирались с 10 по 17 апреля 2023 года. Во-первых, были отфильтрованы поездки, начинающиеся в пределах Уханьской агломерации, что дало более 1,44 миллиона первоначальных записей OD. Во-вторых,

следуя методике Jiao Hongzan и др. [20], были извлечены пары OD грузовых поездов, у которых обе координаты начала и окончания находятся в пределах агломерации, для научного отражения структуры региональной логистической сети. В-третьих, были очищены аномальные точки координат (удаление данных со смещениями координат, искажениями скорости и неполной информацией в полях) и аномальные поездки (удаление поездов с расстоянием маршрута OD < 500 м). В итоге было извлечено 780 229 действительных записей OD грузовых поездов, из которых примерно 56 % составляли записи о поездках тяжёлых грузовиков и примерно 44 % — средние, малые и микрогрузовики. Каждая запись о поездке включает 8 полей: идентификатор автомобиля, дата поездки, координаты начала, координаты окончания, тип грузовика, расстояние маршрута OD и другие.

1.3 Методы исследования

(1) Метод кластеризации K-means

Путём вычисления сходства совокупных объёмов логистической активности между сеточными ячейками все сетки разбиваются на K кластеров, а региональные логистические пространственные единицы идентифицируются на основе межкластерных различий в совокупном объёме логистической активности. Псевдо-F статистика используется для определения оптимального числа кластеров для логистических пространственных единиц Уханьской агломерации. Формула расчёта:

$$F = [SSW/(N-K)] / [SSB/(K-1)]$$

где SSW — сумма квадратов внутри кластера, отражающая сходство данных в пределах одного кластера; SSB — сумма квадратов между кластерами, отражающая различия данных между кластерами; N — общее количество выборок; K — количество кластеров. Более высокое значение псевдо-F статистики указывает на более достоверную оценку степени межкластерного сходства и внутрикластерной дифференциации.

(2) Анализ социальных сетей (SNA)

Для характеристики структуры связности региональной логистической сети Уханьской агломерации отобраны такие показатели, как плотность сети, коэффициент вариации, средний коэффициент кластеризации и сила связей. «Узлы» социальной сети в данном исследовании интерпретируются как «логистические пространственные единицы». Основные показатели и методы их расчёта приведены ниже.

① Сила связи (F) отражает уровень взаимодействия между логистическими пространственными единицами. Формула расчёта:

$$F = F_{ij} + F_{ji} \quad (1)$$

где F_{ij} представляет совокупный объём логистической активности логистической пространственной единицы i , связанной с логистической пространственной единицей j ; F_{ji} представляет совокупный объём логистической активности логистической пространственной единицы j , связанной с логистической пространственной единицей i .

② Плотность сети (M) отражает степень тесноты связей между логистическими пространственными единицами. Более высокая плотность указывает на более тесные связи. Формула расчёта:

$$M = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n F}{n(n-1)}$$

(2)

где n — количество логистических пространственных единиц в сети.

③ Коэффициент вариации (CV) измеряет относительную степень рассеяния математической статистики среди логистических пространственных единиц. Более высокий коэффициент вариации указывает на большие различия в объёме грузовых поездок, объёме логистических связей и силе логистических связей между единицами.

$$C_v = \frac{\sigma}{\mu} \times 100\%$$

Формула расчёта:

(3)

где σ и μ — стандартное отклонение и среднее значение объёма грузовых поездок, объёма логистических связей и силы логистических связей среди логистических пространственных единиц соответственно.

④ Средний коэффициент кластеризации (C) измеряет тенденцию логистических пространственных единиц к образованию локальных кластеров или «малых групп».

Формула расчёта:

$$C = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{2E_i}{k_i(k_i - 1)}$$

(4)

где E_i — количество фактических связей между логистическими пространственными единицами, связанными с логистической пространственной единицей i , а k_i — степень логистической пространственной единицы i (т. е. количество логистических пространственных единиц, непосредственно с ней связанных).

(3) Алгоритм обнаружения сообществ Лейдена

Внедряя более точные условия завершения для устранения проблемы сверхсегментации традиционного алгоритма Louvain в определённых ситуациях, данный метод позволяет выявлять структуры сообществ в регионах с более высоким качеством. «Сообщество» в данном методе интерпретируется как «логистическое ассоциированное сообщество», изучаемое в настоящей работе. На основе технологии «обнаружения сообществ» (по сути, разбиение узлов сети на группы) идентифицируются логистические ассоциированные сообщества в региональной логистической сети агломерации. Показателем измерения выступает модулярность сети (Q); более высокая модулярность указывает на более тесные связи внутри логистического ассоциированного сообщества [22]. Формула расчёта:

$$Q = \frac{1}{2p} \sum_e e_e - \gamma \frac{T^2}{2p}$$

(5)

где p — общее количество связей между логистическими пространственными единицами по всей сети, e_e — сумма сил логистических связей между логистическими пространственными единицами внутри логистического ассоциированного сообщества e , T — общий объём логистических связей логистического ассоциированного сообщества e , а γ — параметр разрешения модели.

2 Характеристики пространственной структуры логистической активности Уханьской агломерации

2.1 Характеристики пространственной структуры логистической активности

2.1.1 Пространственная структура активности тяжёлых грузовиков

Было рассчитано общее количество поездок тяжёлых грузовиков в каждой сеточной ячейке за период сбора данных (в единицах транспортных средств). Результаты

показывают, что количество ячеек с ненулевыми значениями составило 11 809 (58,4 % от всех сеточных ячеек), при среднем объёме поездок тяжёлых грузовиков 84 и коэффициенте вариации, достигающем 3,3, что указывает на широкий географический охват активности тяжёлых грузовиков и значительные различия в уровнях интенсивности.

Пространственный анализ выявляет, что активность тяжёлых грузовиков в агломерации демонстрирует модель «концентрации в центральных районах для операций, с рассредоточением к периферийным паркам и портовым зонам». Редкие 78 ячеек с высокими значениями (определяемые как ячейки с объёмом грузовых поездок > 1 304, составляющие 0,7 %) расположены в 10 важных регионах, с выраженными эффектами всасывания. Среди них Кластер современной циркуляционной индустрии Цыхуэй–Цзоумалинь является региональным логистическим организационным ядром для тяжёлых грузовиков, осуществляя функции высокоинтенсивного сбора, распределения и перевалки грузов (см. ① на рис. 1). Расположенный вблизи третьей кольцевой дороги Уханя и имеющий радиальное сообщение через скоростные автомагистрали, сформировалось несколько смежных зон агломерации активности тяжёлых грузовиков (см. ②③④⑥⑧ на рис. 1). Центральный индустриальный парк циркулярной экономики каменных материалов Мачэн, порт Янло, высокотехнологическая зона озера Дае и зона развития Гэдянь также служат крупнейшими узлами активности тяжёлых грузовиков (см. ⑤⑦⑨⑩ на рис. 1).



Рис. 1 Пространственная структура активности тяжёлых грузовиков в Уханьской агломерации

2.1.2 Пространственная структура активности средних, малых и микрогрузовиков

Аналогичным методом был рассчитан общий объём поездок средних, малых и микрогрузовиков в каждой сеточной ячейке. Результаты показывают, что количество ячеек с ненулевыми значениями составило 12 412 (61,3 % от всех сеточных ячеек), при

среднем объеме поездок 72 и коэффициенте вариации, достигающем 4,0, что указывает на более широкий диапазон активности средних, малых и микрогрузовиков в агломерации, большие региональные различия, но более низкие средние объемы поездок по сравнению с тяжелыми грузовиками.

Пространственный анализ выявляет, что активность средних, малых и микрогрузовиков в агломерации демонстрирует модель «сильного центрального притяжения, секторальной агломерации в агломерационной зоне, фрагментарного периферийного рассредоточения». Насчитывается 68 ячеек с высокими значениями (определяемые как ячейки с объемом грузовых поездок $> 1\,304$, составляющие 0,5 %, меньше, чем у тяжелых грузовиков), сосредоточенных преимущественно в Кластере современной циркуляционной индустрии Цыхуэй–Цзоумалинь, Зоне торговой логистики Ханькоубэй и Зоне логистики холодных цепей Байшачжоу. Район Цыхуэй–Цзоумалинь, служащий логистическим организационным ядром для тяжелых грузовиков, также подтвержден как количественный центр активности средних, малых и микрогрузовиков с ещё более выраженным поляризующим эффектом. Высокочастотная деятельность «закупка–распределение» торговли мелкими товарами и оптовой торговли в Ханькоубэй и предприятий распределения холодных цепей/замороженных продуктов в Байшачжоу генерирует многократные потребности в перевозках малыми партиями для средних, малых и микрогрузовиков. Кроме того, основная городская зона Уханя с концентрированным жилым населением, развитым потребительским рынком и плотной городской дорожной сетью практически полностью охвачена активностью средних, малых и микрогрузовиков (рис. 2).

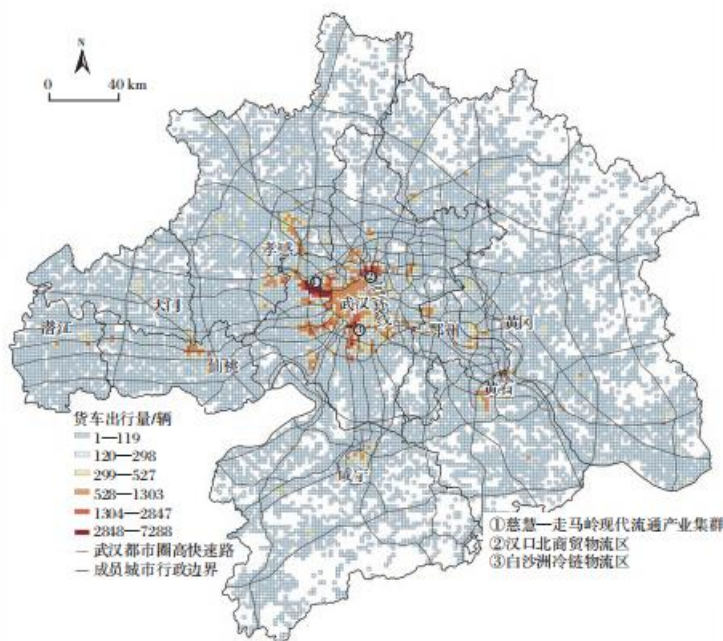


Рис. 2 Пространственная структура активности средних, малых и микрогрузовиков в Уханьской агломерации

2.1.3 Общая пространственная структура логистической активности агломерации

Ежедневная логистическая активность в агломерации совместно обеспечивается грузовиками различной грузоподъемности и операционных характеристик. Для более точного отражения фактического масштаба активности и интенсивности поездок

данное исследование опирается на подход Liu Xinxuan и др. о взаимосвязи между типами грузовиков и объёмами грузов [17-18], интегрируя наборы данных тяжёлых грузовиков и средних, малых и микрогрузовиков, используя массу автомобиля в качестве взвешивающего фактора [17-18] и суммируя совокупный объём логистической активности для каждой сеточной ячейки. Результаты показывают, что общее количество ячеек с ненулевыми значениями составляет 13 990 (69,1 %), при среднем совокупном объёме логистической активности 1 152, максимальном значении 119 295 и экстремально высоких значениях (экссесс = 346). Наложённая на территориальную структуру, логистическая активность на уровне агломерации демонстрирует общую пространственную модель «полюсно-доминантной, ресурсодобывающей грузовой агломерации». Формирование и рост полюсов обусловлены множественными факторами, включая транспорт, промышленность и потребление; относительно высокие объёмы логистической активности в Мачэн (каменные материалы) и Хуанши (медная руда) отражают пространственное притяжение деятельности по добыче, переработке, складированию и торговле ресурсами на региональный логистический транспорт.

2.2 Идентификация логистических пространственных единиц

С использованием метода кластеризации K-means было рассчитано сходство значений совокупного объёма логистической активности между сетками по всей агломерации для автоматической идентификации регионов с согласованными характеристиками потоков. Результаты показывают, что при числе кластеров, равном 6, псевдо-F статистика максимизируется и межкластерное различие в совокупном объёме логистической активности является наибольшим (средние значения составляют 248, 1 619, 3 542, 17 212, 35 583, 87 565 соответственно). Соответственно, на основе ArcGIS, шесть категорий сеточных ячеек подверглись пространственному разделению и слиянию пятен с учётом транспортной системы и содержания комплексных логистических хабов Плана развития Уханьской агломерации, системы основных функциональных зон пространственного плана агломерации, а также национальных генеральных планов территориального пространства и серийных исследований высококачественного развития провинциальных городских и промышленных кластеров каждого города-члена. В итоге было идентифицировано 122 логистические пространственные единицы агломерации (рис. 3), со средней площадью единицы примерно 20,3 км². Наблюдая географическое расположение логистических пространственных единиц, были обобщены четыре типичные функции: функции обслуживания логистических хабов (6), функции обслуживания промышленных парков (86), функции обслуживания логистических парков (17) и функции обслуживания перевалки и распределения (11). Кроме того, некоторые зоны обслуживания на скоростных автомагистралях демонстрируют потенциал развития в логистические пространственные единицы.

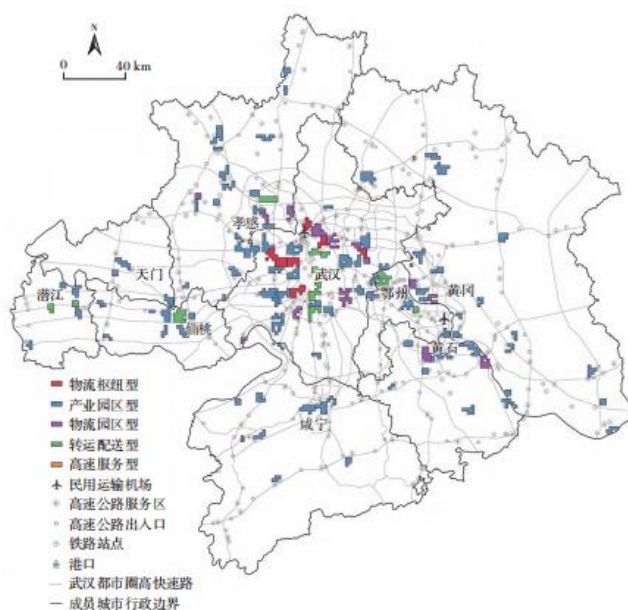


Рис. 3 Пространственное распределение 122 логистических пространственных единиц Уханьской агломерации

На основе атласа текущего и планируемого землепользования Уханьской агломерации, составленного исследовательской группой, 122 логистические пространственные единицы были наложены и проанализированы совместно с промышленными землями, землями логистики и складирования, портовыми землями и сетями скоростных автомагистралей для оценки пространственной совместимости. Обнаружено, что пять логистических пространственных единиц высоко совместимы с плановыми намерениями. Логистические пространственные единицы, сформированные на базе Высокотехнологической зоны Сяньтао и Промышленной зоны автомобилестроения и автозапчастей Чжуаньюкоу, соответствуют плановой ориентации агломерации на развитие интеллектуального автомобилестроения. Кластер современной циркуляционной индустрии Цыхуэй–Цзоумалинь заложил основу для достижения цели построения национального логистического хаба наземного типа. Зона торговой логистики Ханькоубэй поддерживает региональную позицию «построение модернизированного торгово-логистического центра». Логистические пространственные единицы, обслуживающие Зону тяжёлого промышленного производства Янло и Высокотехнологическую зону озера Дае, реализовали функции грузовой агломерации и излучения благодаря стотысячетонному классу крупного порта и железнодорожным магистралям высокого объёма. Однако также выявлено четыре логистические пространственные единицы, не полностью совместимые с действующими планами: например, планируемое землепользование в Городском индустриальном парке Дцзяо и Зоне логистики холодных цепей Байшачжоу остаётся преимущественно промышленным, жилым и коммерческим, с нехваткой пространственного обеспечения для высокоинтенсивных функций логистического распределения и перевалки; другой пример — планы Зоны машиностроения Мяошань и Зоны экономического развития железнодорожного вокзала Хуанчжоу имеют недостаточное резервирование и организацию грузовых дорог в пределах данных

единиц, с особым дефицитом тяжёлых дорог и выделенных каналов, необходимых для крупномасштабных перевозок.

3 Характеристики структуры связности региональной логистической сети Уханьской агломерации

3.1 Характеристики структуры узлов сети

Региональная логистическая сеть Уханьской агломерации демонстрирует выраженный «эффект Матфея», при котором грузовые связи высокого объёма в значительной степени доминируются небольшим числом узлов (т. е. логистических пространственных единиц). Структуры межгородского многонаправленного излучения и сетевого переплетения также весьма отчётливы (рис. 4).

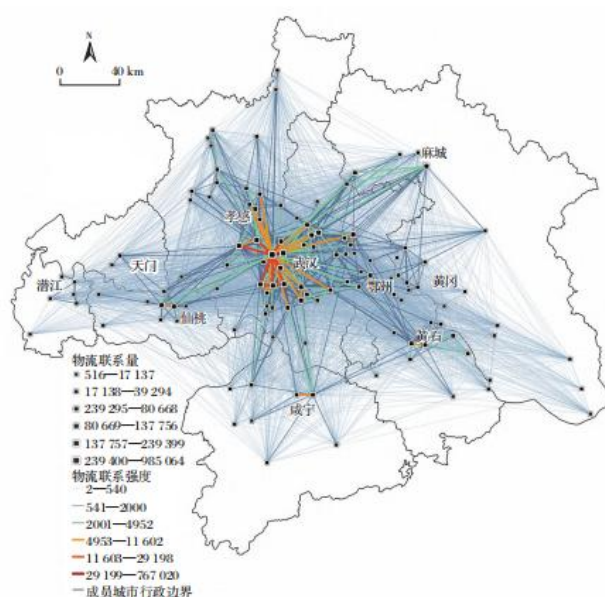


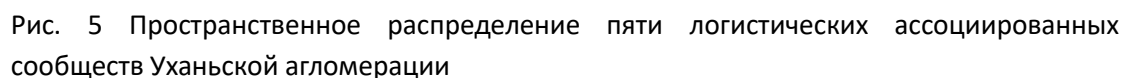
Рис. 4 Структура логистической ассоциации Уханьской агломерации на основе логистических пространственных единиц

Измерения плотности сети и среднего коэффициента кластеризации показывают, что компактность структуры логистической сети агломерации достигает средневысокого уровня (значение плотности = 0,691, коэффициент кластеризации = 0,801), что указывает на тенденцию сотен логистических пространственных единиц к формированию более тесных взаимосвязей.

Однако кажущиеся плотными сетевые связи не являются пространственно сбалансированными. Статистический анализ объёма логистических связей каждой логистической пространственной единицы показывает, что: средний объём логистических связей 122 единиц составляет 39 536 с коэффициентом вариации 2,37; верхние 5 % логистических пространственных единиц по объёму связей насчитывают 7, а в диапазоне 5 %–10 % — 6. Среди них небольшое число логистических пространственных единиц, таких как Кластер современной циркуляционной индустрии Цыхуэй–Цзоумалинь, Зона логистики холодных цепей Байшачжоу и Зона тяжёлого промышленного производства Янло, образуют узлы сети и играют доминирующие роли. Кластер современной циркуляционной индустрии Цыхуэй–Цзоумалинь является суперлогистическим хабом, доминирующим во всей сети, тогда как периферийные единицы имеют слабое влияние на структуру сети.

3.2 Характеристики общественной структуры сети

Алгоритм обнаружения сообществ Лейдена был использован для выявления общественной структуры логистической сети агломерации. Алгоритм выполнил 10 итераций со средней модулярностью 0,426, в итоге идентифицировав пять логистических ассоциированных сообществ: Хань-Сяо, Э-Хуан-Хуан, У-Ма, Сянь-Тянь-Цянь и У-Сянь (рис. 5), со средней территориальной площадью 11 659 км². Среди них сообщества Хань-Сяо, У-Ма и У-Сянь пересекли административные границы Уханя, а в пределах Уханя дифференцировались на три района с относительно сбалансированными сферами логистического влияния, косвенно подтверждая научную обоснованность предложения Плана о построении осей региональной логистической синергии Хань-Сяо и У-Сянь.



Хотя количество логистических пространственных единиц в пяти сообществах относительно одинаково, объёмы логистических связей значительно различаются (табл.

1). Статистические данные и пространственный анализ показывают, что сообщество Хань-Сяо демонстрирует однополярную модель излучения в структуре логистической сети (коэффициент вариации объёма логистических связей достигает 1,595). Кластер современной циркуляционной индустрии Цыхуэй–Цзоумалинь осуществляет чрезвычайно сильный контроль над данным сообществом, формируя три логистических коридора сообщества, радиально направленных к Зоне экономического развития Ханьчуань, Парку общей авиации и спутниковой индустрии Ханьнань и Национальной высокотехнологической зоне Сяогань в качестве вспомогательных узлов. Сообщество У-Ма имеет наибольшую плотность сети (0,968) и наименьший коэффициент вариации (0,735), формируя многоцентровое сбалансированное распределение логистической активности. Два логистических коридора сообщества соединяют порт Янло и Зону экономического развития Хунань, а также Центральный индустриальный парк циркулярной экономики каменных материалов Мачэн соответственно. Начинает формироваться коридор, соединяющий Зону экономического развития Лучань и Приморский индустриальный парк Туаньфэн. Внутренняя структура логистической ассоциации сообщества У-Сянь характеризуется признаками большой удалённости, единого коридора и двуконцевой структуры (Парк индустрии здоровья юга Гуангу — Высокотехнологическая зона Сяньнинь), что может быть связано с цепным разделением труда в индустрии здоровья с R&D в Ухане и производством в Сяньнинь. Сообщество Э-Хуан-Хуан демонстрирует характеристики низкой плотности сети и высокого коэффициента вариации, с сильной зависимостью от отдельных логистических пространственных единиц, таких как Зона развития Хуанши, порождая вертикально-речной логистический коридор и приречный логистический коридор с новым портом Хуанши и Зоной развития Гэдянь в качестве конечных точек. Сообщество Сянь-Тянь-Цянь представляет треугольную логистическую ассоциированную структуру «во главе с Высокотехнологической зоной Сяньтао, дополненную Высокотехнологической зоной Тяньмэнь и Высокотехнологической зоной Цяньцзянь», с выраженными характеристиками интровертности сети.

Табл. 1 Сравнение объёмов логистических связей и показателей структуры сети пяти логистических ассоциированных сообществ

衡量指标	汉孝社区	武麻社区	鄂黄黄社区	武威社区	仙天潜社区
单元间物流联系量的平均值	31 731	11 655	6844	8895	4846
单元内物流联系量的极大值	283 810	31 356	30 286	26 547	16 259
单元间物流联系量的极小值	2371	2830	191	1100	956
网络密度	0.934	0.968	0.795	0.926	0.941
网络变异系数	1.595	0.735	0.971	0.877	0.852
网络平均聚类系数	0.946	0.969	0.890	0.938	0.944

3.2.3 Сила межобщественных грузовых логистических связей

Был рассчитан объём грузовых логистических связей между любыми двумя сообществами, и доля межобщественной грузовой логистики в общем объёме грузовых связей сообщества была табличирована. Результаты показывают, что доля межобщественных грузов сообщества У-Ма (35,4 %) значительно выше, чем у других сообществ, демонстрируя отличительные характеристики внешнеориентированной логистической активности. Доля межобщественных грузов сообщества Э-Хуан-Хуан

(29,8 %) немного ниже, чем у сообщества У-Ма, отчасти потому, что порты и железные дороги диверсифицируют зависимость от автомобильных грузовых перевозок. Сообщества Хань-Сяо и У-Сянь демонстрируют сильную внутреннюю привязанность логистической активности, с долями исходящих грузовых поездок всего 27,4 % и 26,7 % соответственно. Сообщество Сянь-Тянь-Цянь имеет самую низкую долю межсообщественных грузовых потоков (менее 20 %), с наивысшей степенью внутренней замкнутости цепочек поставок.

4 «Укрепление узлов, развитие коридоров и реорганизация сообществ» — Стратегии оптимизации логистической сети Уханьской агломерации

4.1 Проблемы и политические цели в развитии и планировании логистической сети

Во-первых, логистические пространственные единицы рассредоточены и фрагментированы, размещение функций хабов является недостаточным и несбалансированным, а системное строительство логистических узлов агломерации остаётся незавершённым. Во-вторых, многоцентровость и многонаправленная связность логистической сети недостаточны; эффект диффузии центральных городов не полностью реализован, а участие и влияние периферийных и удалённых районов/уездов крайне низки. Сетевой уровень логистических коридоров связи срочно нуждается в повышении: направление У-Э-Хуан-Хуан имеет срединный разрыв в логистических связях, направление У-Сянь-Тянь-Цянь ещё не сформировало непрерывный региональный коридор, а слепые зоны наземных логистических коридоров выявлены на севере Хань-Сяо, в приречной зоне Сяньнинь, в северо-центральном Хунань, в революционной базе гор Дабие и других регионах. Необходимо дополнить восточные приречные и трансрегиональные логистические коридоры, а также скоординировать агломерационное кольцевое соединение всех городов-членов. В-третьих, способность к локальной кластеризации и ближней синергии логистической сети несовершенна; необходимо сократить разрыв в объёме логистических связей между пятью логистическими ассоциированными сообществами, сбалансировать распределение инфраструктуры между сообществами и устранить интровертные островные барьеры логистической связности, такие как в сообществе Сянь-Тянь-Цянь. В-четвёртых, необходимо усилить плановую совместимость некоторых логистических пространственных единиц.

Для устранения вышеуказанных проблем, черпая вдохновение и перенимая передовой опыт агломераций Центрального региона в построении модернизированных логистических систем, и признавая, что научные иерархии хабов, эффективные логистические коридоры и механизмы глубокой синергии являются эффективными рычагами для повышения региональной логистической эффективности, данное исследование — в сочетании со стратегической ориентацией Плана, направляющего строительство метрополиции, а также соображениями по транспортному и современному логистическому пространственному размещению девяти городов-членов — предлагает стратегию оптимизации логистической сети «укрепление узлов, развитие коридоров и реорганизация сообществ» (рис. 6). На основе эмпирических результатов данного исследования стратегия закрепляет и использует поляризующие эффекты Кластера современной циркуляционной индустрии Цыхуэй-Цзоумалинь, Зоны торговой логистики Ханькоубэй и других комплексных грузовых хабов, создаёт 7 логистических хабов агломерационного уровня, включая Наземный порт Уцзяшань и

Аэропорт Хуаху, продвигает мультимодальные перевозки, интегрирующие автомобильный, железнодорожный, водный и воздушный транспорт; строит логистические хабы общинного уровня на основе Зонок развития Гэдянь, Маочэн и других, создавая 5 важных общинных баз сбора и распределения ресурсов; расширяет узлы логистики индустриального типа в рамках крупных промышленных агломераций, таких как Национальная база памяти и Высотехнологическая зона Сяньнинь, для дополнения производственно-сервисных логистических объектов; усиливает узлы логистических парков, такие как интеграция логистических предприятий в Парке логистики при аэропорте Хуанпи и Новом городе при аэропорте Сяогань, для разумного планирования зон городского распределения и зон трансграничных логистических операций; встраивает узлы перевалки и распределения в Базу логистики холодных цепей Байшачжоу и Национальную высокотехнологическую зону Сяогань, фокусируясь на сборе, распределении и размещении готовой продукции и сырья, развёртывая интеллектуальные и настраиваемые сортировочные установки; и оценивает поддерживающий потенциал зон обслуживания на скоростных автомагистралях для парковки, разгрузки и обслуживания персонала регионального транспорта.

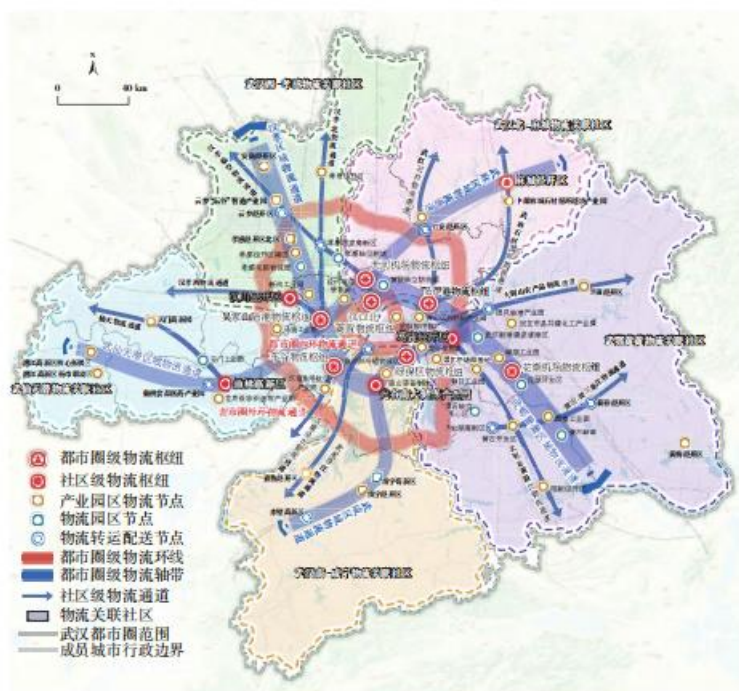


Рис. 6 Предлагаемый план оптимизации логистической пространственной структуры Уханьской агломерации

4.2 Укрепление двухуровневых региональных логистических хабов и совершенствование строительства функциональных узлов

Закрепляя 6 хабовых логистических пространственных единиц на рис. 3 и отвечая требованиям национального плана оптимизации размещения логистических хабов 2025 года, с принципами продвижения территориального баланса и соответствия местным политическим драйверам, строится система логистических объектов агломерации «двухуровневые хабы + три типа узлов»: укрепление 7 логистических хабов агломерационного уровня, включая Наземный порт Уцзяшань и Аэропорт Хуаху, продвижение интеграции автомобильных грузовых перевозок и мультимодальных

перевозок «железнодорожная-водная-воздушная»; строительство 5 важных общинных баз сбора и распределения ресурсов; расширение узлов логистики индустриального типа в крупных промышленных агломерациях, таких как Национальная база памяти и Высокотехнологическая зона Сяньнинь, для дополнения производственно-сервисных логистических объектов; усиление узлов логистических парков, таких как интеграция логистических предприятий в Парке логистики при аэропорте Хуанпи и Новом городе при аэропорте Сяогань, для разумного планирования зон городского распределения и зон трансграничных логистических операций; встраивание узлов перевалки и распределения в Базу логистики холодных цепей Байшачжоу и Национальную высокотехнологическую зону Сяогань, фокусируясь на сборе, распределении и размещении готовой продукции и сырья, развёртывая интеллектуальные и настраиваемые сортировочные установки; и приоритизация поддерживающего потенциала зон обслуживания на скоростных автомагистралях для парковки, разгрузки и обслуживания персонала регионального транспорта.

4.3 Модернизация сети логистических коридоров агломерации и расширение общинных потоковых каналов

На основе анализа и осмысления эмпирических результатов, демонстрируя эффекты поглощения и притяжения третьей кольцевой дороги Уханя и радиальных скоростных автомагистралей, следуя линейным тенденциям, сформированным рядом логистических пространственных единиц на рис. 3, и закрепляя структуру логистической сети, совершенствуются выявленные формы коридоров Хань-Сяо, У-Ма, У-Сянь и У-Сянь. Следуя принципам взаимопроникновения, переплетения, сетевой закрепляемости, усиления эффектов излучения, содействия периферийной интеграции в агломерационный круг и продвижения межсообщественной интеграции, формируется система автомобильных грузовых коридоров агломерации «двойное кольцо + осевая сетка + мультирадиальная».

Построение внутренней и внешней логистической двойной петли агломерационного уровня: Модернизация третьей кольцевой дороги Уханя, добавление выделенных полос для интеллектуальной логистики для формирования внутренней петли автомобильных грузовых перевозок. Ускоренное завершение кольцевой скоростной автомагистрали агломерации, предварительный контроль зон интеллектуального логистического обслуживания и формирование внешней петли грузовых перевозок.

Связывание сетчатых логистических осевых коридоров агломерационного уровня: Объединение национальных транспортных магистралей, проходящих через территорию, и агломерационных опорных скоростных автомагистралей, пересечение и поддержка всех логистических хабов, соединение как можно большего числа логистических узлов и фокусировка на строительстве пяти междугородних коридоров: У-Э-Хуан-Хуан, Хань-Сяо, У-Ма, У-Сянь и У-Сянь-Тянь-Цянь.

Сбалансированные радиальные логистические коридоры общинного уровня: Используя хабы и узлы в качестве начал, дополнение приречных портовых и горных сельскохозяйственных маршрутов в каждом логистическом ассоциированном сообществе. Примеры включают коридоры У-Хун и У-Ма для перевозки каменных материалов, коридоры гор Дабие и севера Хань-Сяо для обращения сельскохозяйственной и лесной продукции, коридор Сянь-Тянь и западный коридор Хань-Сяо для производства одежды/текстиля и оборудования и другие.

4.4 Трансграничная реконструкция логистических ассоциированных сообществ и повышение структурной устойчивости кластеров

Используя пять общественных структур, выявленных на рис. 5, в качестве когнитивной основы, адаптируясь к зоне охвата излучения планируемых логистических хабовых узлов и двустороннему потенциальному диапазону обслуживания опорных логистических коридоров, следуя модели «центр + осевая полоса» пространственного размещения растущих агломераций [23], строится трансрегиональная организационная структура логистических ассоциированных сообществ.

Ускорение интеграции логистического ассоциированного сообщества Ухань Запад–Сяогань: Координация двойных хабовых источников излучения «Наземный порт Уцзяшань + Зона экономического развития Ханьчуань», расширение для формирования коридорной структуры в виде «8», соединяющей горы, прилегающей к портам, с интермодальным наземно-водно-воздушным транспортом, с выделением функций логистического обслуживания индустриального парка и перевалки-распределения Зонок экономического развития Хунань.

Ускорение логистического ассоциированного сообщества Ухань Север–Мачэн: Объединение четырёх хабовых источников излучения «Порт Янло + Аэропорт Тяньхэ + Ханькоубэй + Зона экономического развития Мачэн», расширение для формирования коридорной структуры в виде «8», соединяющей горы, прилегающей к портам, с интермодальным наземно-водно-воздушным транспортом, с выделением функций логистического обслуживания индустриального парка и перевалки-распределения Зонок экономического развития Хунань.

Совершенствование и модернизация логистического ассоциированного сообщества Ухань Юг–Сяньнинь: Опираясь на двойные хабовые источники излучения «Комплексная зона таможенного хранения + Парк индустрии здоровья юга Гуангу», стабилизация регионального транспортного каркаса Н-образной формы, дополнение ресурсов перевалки и распределения в Высокотехнологической зоне Чоби и усиление строительства функций логистического парка в Высокотехнологической зоне Сяньнинь и других зонах.

Расширение и построение логистического ассоциированного сообщества У-Э-Хуан-Хуан: Укрепление двойных хабовых источников излучения «Аэропорт Хуаху + Зона экономического развития Гэдянь», обеспечение бесперебойности «приречных + трансрегиональных» сетчатых основных коридоров и экстраординарное расширение всех типов логистических функций вокруг аэропорта Хуаху циркулярным и послойным образом.

Совместное развитие логистического ассоциированного сообщества У-Сянь-Тянь-Цянь: Поддержка двойных хабовых источников излучения «Автоград + Высокотехнологическая зона Сяньтао», построение транспортно-коридорной структуры в виде «человеческой формы» и дополнение услуг логистического парка.

5 Выводы

На основе больших данных грузовой навигации Gaode данное исследование анализирует логистическую сеть Уханьской агломерации со следующими ключевыми выводами: ① Региональная пространственная структура логистической активности часто демонстрирует такие модельные характеристики, как полюсная доминанта, агломерированные операции, иерархическое распределение и периферийное

рассредоточение, однако зоны активности тяжёлых грузовиков и средних, малых и микрогрузовиков показывают значительную дифференциацию; ② Уханьская агломерация сформировала 122 логистические пространственные единицы, функции которых в основном ориентированы на обслуживание парков, дополнены функциями перевалки-распределения и хабового типа, при этом некоторые единицы демонстрируют отклонения плановой совместимости; ③ «Эффект Матфея» в логистических связях выражен — общая сеть доминируется небольшим числом высокообъёмных узлов, таких как Цыхуэй–Цзоумалинь, и сформировались несколько вторичных логистических сообществ с заметно различающимися внутренними и внешними структурами связности; ④ Развитие логистической сети Уханьской агломерации обнаруживает такие проблемы, как фрагментированные и несбалансированные узлы, рыхлая и запоздавшая связность и недостаточная координация кластеров. Планирование должно следовать подходу «укрепление узлов, развитие коридоров и реорганизация сообществ», формируя логистическую пространственную структуру «пять типов объектов — семь основных коридоров — пять сообществ», оптимизируя систему логистических объектов «двухуровневые хабы, три типа узлов» и систему автомобильных грузовых коридоров «двойное кольцо, осевая сетка, мультирадиальная», а также совершенствуя и укрепляя функции обслуживания и структурную устойчивость ассоциированных сообществ.

Данное исследование предоставляет новую методологическую цепочку «добыча данных — измерение паттернов — идентификация единиц — анализ сети — планировочный ответ» для современного пространственного логистического планирования в современных китайских агломерациях, с теоретической ценностью и прикладным демонстрационным значением для преодоления барьеров «экономики административных районов» и содействия региональной логистической интеграции. Будущие исследования должны расширять циклы данных и интегрировать мультимодальные перевозки «автомобильные-железнодорожные-водные-воздушные» для углубления исследований.

Список литературы

- [1] WU Zhiqiang, LIU Xiaochang. Эволюция сети знаний градостроительного планирования в Китае за 40 лет реформ и открытости [J]. Urban Planning Forum, 2018(5): 11-18.
- [2] HUANG Jianzhong, HU Gangyu, SHI Jianing и др. Стратегические размышления о планировании и строительстве крупных межрегиональных инфраструктур в новую эпоху [J]. Urban Planning, 2025, 49(2): 119-130.
- [3] YE Zhenna. Построение и применение модели диагностики городской мобильности [J/OL]. Frontiers of Urban and Rural Planning, 2023, 1(14): 18. [2025-08-19]. <https://doi.org/10.1007/s44243-023-00016-9>.
- [4] YU Z, WANG H, LIU X. Гетерогенность мобильности городских грузовых зон: геопропространственные данные из динамики совместной логистики [J]. Journal of Transport Geography, 2024, 117: 103873.
- [5] NEUTENS T, DELAFONTAINE M, SCOTT D M и др. Метод на основе ГИС для выявления пространственно-временных пробелов в предоставлении государственных услуг [J]. Applied Geography, 2012, 32(2): 253-264.

- [6] GAN Mi, QING Sandong, LIU Xiaobo и др. Обзор применения данных траекторий грузовиков в автомобильных грузовых перевозках [J]. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2021, 21(5): 91-101.
- [7] LI Qiuping, JIA Jingnan, ZHANG Yunfei и др. Анализ характеристик межгородских грузовых потоков на основе данных о траекториях грузовиков [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2022, 47(5): 84-88.
- [8] CHEN Z, WANG J, LI Y. Междугородние связи по скоростным автомагистралям в агломерациях: пассажирские vs грузовые потоки [J]. *Journal of Transport Geography*, 2022, 98: 103272.
- [9] ZHU C S, WANG X, WANG D и др. Пространственная связность деревень Таобао в Китае и Соединённых Штатах [J]. *Journal of Transport Geography*, 2021, 91: 102992.
- [10] MAOH N, DIMATULAC T, KHAN S и др. Исследование поведения выбора пересечения границы грузовиками, движущимися между Онтарио, Канада и городом Хайнин, на основе операционного процесса [J/OL]. *Frontiers of Urban and Rural Planning*, 2023, 1(16): 19. [2025-08-19]. <https://doi.org/10.1007/s44243-023-00017-8>.
- [11] NIU Xinyi, LIN Shijia. Пространственно-временные большие данные в исследованиях городского планирования: технологическая эволюция, темы исследований и передовые тенденции [J]. *Urban Planning Forum*, 2022(6): 50-57.
- [12] HU Yang, WANG De, REN Xiyan и др. Механизмы и стратегии заторов на дорогах с позиции пространственно-временного поведения: пример тоннеля Сяньинь в Шанхае [J]. *Urban Planning*, 2024, 48(8): 55-66.
- [13] ZHAO Y, CHENG S, LIU K и др. Междугородние грузовые связи в Китае в контексте массовых траекторий грузовиков [J]. *Cities*, 2024, 150: 105034.
- [14] WU Siyu, ZHONG Yexi, LI Jianxin. Эволюция и характеристики пространственной корреляции межпровинциальной железнодорожной грузовой сети Китая с 1990 по 2019 год [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2024, 79(10): 2548-2566.
- [15] WANG Qixuan, CHENG Yao. Измерение полицентричности городских агломераций Китая с учётом внутренних и внешних связей [J/OL]. *Frontiers of Urban and Rural Planning*, 2023, 1(19): 22. [2025-08-19]. <https://doi.org/10.1007/s44243-023-00023-w>.
- [16] XIAO Hongwei, ZHAO Min, ZHANG Jie и др. Многомасштабный анализ пространственной корреляции и темы планирования «новых городов» в новую эпоху: примеры Пекина, Шанхая и Гуанчжоу [J]. *Urban Planning Forum*, 2022(2): 32-39.
- [17] ZHANG Shangwu, PAN Xin. Стратегические размышления о планировании и строительстве крупных межрегиональных инфраструктур в новую эпоху [J]. *Urban Planning*, 2021(2): 38-44.
- [18] DABLANC L. Грузовые перевозки в крупных европейских городах: сложно организовать, сложно модернизировать [J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2007, 41(3): 280-285.
- [19] GAN Mi, QING Sandong, LIU Xiaobo и др. Обзор применения данных траекторий грузовиков в автомобильных грузовых перевозках [J]. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2021, 21(5): 91-101.
- [20] JIAO Hongzan, YANG Faxing, XU Shasha и др. Исследование стратегий оптимизации пространственного размещения современной городской грузовой логистики: пример Уханя [J]. *Shanghai Urban Planning*, 2023(2): 93-100.
- [21] ZHOU Huan, HUANG Jin, ZOU Xiao и др. Внутригородские логистические связи и

структура сети с позиции пространства потоков: пример Шэньчжэня [J]. *Tropical Geography*, 2023, 43(10): 1917-1928.

[22] CHENG Cheng, CHEN Wendong, MA Hongsheng и др. Метод идентификации сообществ активности велосипедов общего пользования на основе алгоритма Лейдена: пример Нанкина [J]. *Journal of Transport Information and Safety*, 2023, 41(2): 103-111.

[23] YUAN Man, ZHANG Xuan, SHAN Zhuoran и др. Характеристики пространственной организации промышленности и стратегии оптимизации Уханьской агломерации с позиции промышленных кластеров [J]. *Urban Planning Forum*, 2024(1): 63-73.