

На правах рукописи

Киселев Игорь Владимирович

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПАССАЖИРОПОТОКОВ В СИСТЕМЕ
МЕТРОПОЛИТЕНА (НА ПРИМЕРЕ МОСКВЫ)**

Специальность: 1.6.13 – Экономическая, социальная, политическая и рекреационная
география

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Москва – 2026

Работа выполнена в отделе социально-экономической географии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт географии Российской академии наук (г. Москва)

- Научный руководитель** – **Тархов Сергей Анатольевич**, доктор географических наук; ФГБУН Институт географии Российской академии наук, ведущий научный сотрудник отдела социально-экономической географии (г. Москва)
- Официальные оппоненты** – **Бабурин Вячеслав Леонидович**, доктор географических наук, профессор; ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», профессор кафедры экономической и социальной географии России (г. Москва)
- Самбуров Кирилл Владимирович**, кандидат географических наук; ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича», старший преподаватель кафедры истории и регионоведения (г. Санкт-Петербург)
- Ведущая организация** – ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва» (г. Саранск)

Защита диссертации состоится мая 2026 г. в 14-00 на заседании диссертационного совета 24.1.049.01 на базе ФГБУН Институт географии Российской академии наук по адресу 119017, г. Москва, Старомонетный пер. 29.

Факс: (495) 959-00-33, e-mail: d00204601@igras.ru, borodina@igras.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБУН Института географии Российской академии наук и на сайте: <http://igras.ru/4372>

Автореферат разослан марта 2026 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат географических наук

Т.Л. Бородина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Диссертация посвящена анализу транспортных потоков ядра крупной городской агломерации сквозь призму географии. Для этого автором в качестве объекта исследования выбрана система московского метрополитена по следующим причинам:

1. Она имеет сложную пространственную организацию: сеть ее линий имеет три *топологических яруса* (замкнутых кольцеобразных полос *циклов*, т.е. замкнутых контуров линий) и относится к группе самых сложных систем метрополитенов мира, с большим числом связей между ее узлами и значительной вариативностью маршрутов между ними.

2. Сложность структуры сети линий московского метрополитена в последнее десятилетие увеличивается: число ее станций возросло с 192 до 294, протяженность – с 302 км до 513 км.

3. Эта система эффективно удовлетворяет транспортные потребности жителей городской агломерации: ежедневно по его линиям совершается 78% всех поездок; сеть линий метрополитена почти полностью покрывает территорию города: лишь 15 из 125 районов не имеют в своих границах станций метро. Структура пассажиропотоков метрополитена во многом соответствуют общему рисунку направлений всех транспортных корреспонденций города.

Несмотря на большое число исследований по моделированию транспортных потоков в крупных городах, его географическая интерпретация редка, что создает пробелы при изучении пространственного перераспределения городских пассажиропотоков. Накопленный эмпирический опыт изучения их пространственного распределения до сих пор недостаточно изучен географами-транспортниками. Именно поэтому географический подход к изучению пассажиропотоков крупнейших городов и городских агломераций очень актуален.

Объектом исследования является система московского метрополитена (сеть его станций, линий, пассажиропотоков), **предметом исследования** – пространственные различия параметров ее пассажиропотоков и их временная динамика.

Цель работы – *установить особенности пространственной структуры пассажиропотоков* московского метрополитена и степень ее устойчивости-изменчивости за 2019 – 2023 гг.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе были поставлены и решены следующие **задачи**: 1) собрать информационную базу о числе пассажиров, ежедневно входящих на каждую станцию за 2019-2023 гг.; 2) разработать методику расчета объема корреспонденций на основе этой статистической базы; 3) установить факторы, влияющие на распределение пассажиропотоков; 4) выявить степень связи между

пространственной структурой распределения пассажиропотоков и установленными факторами; 5) оценить степень устойчивости параметров пассажиропотока во времени; 6) определить зоны конвергенции и дивергенции пассажиропотоков.

Научная новизна исследования.

Разработан *географический подход к изучению пассажиропотоков* в системе городского транспорта включающего анализ базовых параметров потока (*входящий объем, пассажирообмен, интенсивность, пассажиронапряженность и мощность*) и его структурных параметров (*неоднородность входящего объема потока, взаимосвязь интенсивности пассажиропотока и протяженности направлений, доля главных направлений в общей мощности пассажиропотока*), а также с анализом иерархической структуры узлов в зависимости от их положения в графе главных направлений.

Впервые использована *информация транспортных смарт-карт для анализа пространственной структуры пассажиропотоков* крупнейшего города на примере московского метрополитена, которая ранее в отечественных исследованиях по географии городского транспорта не применялась.

Разработана *авторская методика расчета транспортных корреспонденций* между остановочными пунктами по данным о валидации проездных документов при входе.

Определена роль отдельных факторов, влияющих на распределение пассажиропотока (функциональных – на гравитационный потенциал станций, транспортно-географических – на локальные территориальные сдвиги базовых параметров пассажиропотока, временных – на изменение внутренней структуры пассажиропотока).

Выявлена четырехчленная *пространственная модель распределения пассажиропотока*, детализирующая существующее представление о функционально-планировочной структуре Москвы.

Личный вклад автора заключается в разработке собственной методики изучения пассажиропотоков сложнейших городских транспортных систем; создании уникальной статистической базы данных по корреспонденциям между станциями Московского метрополитена за 2019-2023 гг. (за каждый из 1825 дней, 48 тыс. ежедневных межстанционных связей); составлении 53 авторских карт этих корреспонденций, входящего объема пассажиропотока по станциям московского метрополитена и иных параметров пассажиропотока; выявлении анизотропности пространственной структуры ядра Московской агломерации и ее устойчивости-изменчивости.

Теоретико-методологическую основу исследования составили работы по географии транспорта (С.В. Бернштейн-Когана, В.Н. Бугроменко, Г.А. Гольца, С.А. Тархова и др.), географии расселения и городов (Н.К. Куричева, И.М. Маергойза, А.Г. Махровой, Т.Г.

Нефедовой, П.М. Поляна, А.И. Трейвиша и др.), пространственному анализу в социально-экономической географии (В. Бунге, П. Хаггета, Д. Харвей), вычислительной математике, связанной с анализом пассажиропотоков (М. Багхи, К. Су, Д. Луо, Д.Е. Намиота и др.), транспортному планированию городов (М.Я. Блинкина, С.А. Ваксмана, А.М. Якшина и др.).

Методы и информационная база исследования. При изучении пространственной неравномерности пассажиропотоков на московском метрополитене использовались методы математической (в т.ч. корреляционный анализ) и пространственной статистики, а также методы дискретной математики, теории графов, картографический, сравнительно-географический.

Период исследования начинается 1 октября 2019 г. и заканчивается 31 декабря 2023 г. Базовым временным интервалом выбран доковидный IV квартал 2019 г.; отдельно анализировались усредненные значения параметров пассажиропотоков в будние и выходные дни. Взято несколько дополнительных сопоставимых временных срезов для определения устойчивости выявленных пространственных структур пассажиропотоков (лето 2023 г. и IV квартал 2023 г.).

Для решения поставленных задач использованы обезличенные данные транзакций пассажиров со смарт-картами, предоставленные ООО «Мегаполис Информационные Технологии». Каждая транзакция содержит уникальный идентификатор валидации, параметры считывающего устройства и смарт-карты, дату и время, код вестибюля станции и тип проездного документа. Данные ограничены транспортными сутками (5:30–1:00). Их основное ограничение заключается в отсутствии информации о выходе пассажиров, что не позволяет точно определить маршруты передвижения пассажиров, однако уникальный идентификатор транзакции дает возможность частично проследить последовательность поездок и составить матрицы корреспонденций между всеми парами станций метрополитена, предварительно сгруппированных в пересадочные узлы по признаку общности географического места. Число направлений в матрице корреспонденций составило 47 961 (IV квартал 2023 г.).

Теоретическая значимость исследования. Результаты исследования уточняют представление о пространственной организации как системы московского метрополитена в частности, так и Московской городской агломерации в целом. Авторская методика пространственно-временного анализа пассажиропотока может быть применена для изучения городских транспортных систем любой топологической сложности.

Практическая значимость исследования. Результаты анализа вариаций параметров пассажиропотоков системы метрополитена, их пространственного распределения и устойчивости во времени позволяют определять приоритетное развитие отдельных

элементов транспортной системы города, оптимизировать маршрутную сеть и распределение подвижного состава, оценивать значения ключевых параметров пассажиропотока строящихся и проектируемых линий и станций метрополитена.

Степень достоверности, апробация результатов работы и публикации. Результаты и основные положения диссертации доложены на научных конференциях: XXVII международной (юбилейной тридцатой Екатеринбургской) «Социально-экономические проблемы развития и функционирования транспортных систем городов и зон их влияния» (2021), VI международной «Проблемы и вызовы географии транспорта» (2021), международной «Города на пути из настоящего в будущее» (V Геоурбанистические чтения; 2025), международной «МАРС–2025» по теме «Столицы и столичные регионы в пространственном развитии» (2025), международной «Актуальные факторы и тренды пространственного развития в фокусе общественно-географического анализа» в рамках XVI Ежегодной научной Ассамблеи Ассоциации российских географов-обществоведов (2025), XV Всероссийской с международным участием «Территориальная организация общества и управление в регионах». По теме диссертации автором опубликовано 4 научных статьи (все индивидуально); общий объем – 3,7 усл. печ. л., в т.ч. одна – в журнале «Белого списка» (Scopus, WoS, RSCI), две – в изданиях, рекомендованных ВАК по специальности 1.6.13.

Объем и структура исследования. Диссертационное исследование состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы из 92 источников, приложения. Объем основного текста диссертации, включая 6 таблиц и 72 рисунка, составляет 211 страниц; приложение занимает 9 страниц. **В первой главе** анализируется содержание понятия «пассажиропоток», его параметры и роль географии транспорта в их изучении; обобщается накопленный опыт изучения пассажиропотоков в городах, а также рассмотрена проблема использования больших данных для транспортно-географических исследований. Изучены факторы, влияющие на пространственное распределение параметров пассажиропотоков московского метрополитена, и изложена методика их изучения. **Во второй главе** анализируется пространственное распределение базовых параметров пассажиропотоков метрополитена и степень устойчивости их распределения во времени. **В третьей главе** изучены структурные параметры пассажиропотоков, их иерархия, а также выявлены ключевые закономерности пространственно-временного распределения пассажиропотоков в системе московского метрополитена.

На защиту выносятся следующие **положения**:

1. Пространственно-временная организация базовых параметров Московского метрополитена **имеет выраженный центр-периферийный характер**: максимальная концентрация входящих потоков характерна для центральных станций второго и третьего

топологического ярусов, а также крупных транспортных хабов, тяготеющих к окраинной части. Внутри и вблизи этих двух групп станций (узлов) складываются системы высоконапряженных направлений.

2. Интенсивность пассажиропотоков между станциями метрополитена подчиняется *устойчивой обратной экспоненциальной зависимости* от протяженности кратчайшего маршрута, обусловленной доминированием одной или нескольких станций во внутренней структуре пассажиропотоков. Характер такой зависимости определяется пространственным положением станции отправления в пределах ядра Московской городской агломерации. Наиболее тесная зависимость наблюдается в юго-западном и северо-западном секторах.

3. Иерархическая структура станций метрополитена представляет собой *древовидный граф* с несколькими *автономными компонентами*. Крупнейший компонент замыкается на центральные станции (узлы) и развит преимущественно в восточной части ядра агломерации. В юго-западном и северо-западном секторах выделяются меньшие, но устойчивые во времени компоненты; в остальных секторах устойчивость автономных компонентов значительно ниже.

4. Пространственная структура пассажиропотоков представляет собой иерархическую систему поясов. *Центральный пояс* представляет собой зону конвергенции пассажиропотоков в пределах всей агломерации, *срединный пояс* – зону высокой турбулентности пассажиропотоков, *пояс локальных субцентров* – зону конвергенции в локальном масштабе, *пояс периферии* – зону преимущественной дивергенции. Пояса асимметричны относительно центра сети линий и ядра агломерации и представлены *в двух инвариантах*: с четко выраженным поясом субцентров и дискретными границами либо с размытым поясом субцентров и континуальным переходом от периферии к центру.

5. Для пространственно-временной структуры пассажиропотоков характерны как *циклические*, так и *эволюционные* процессы. К первым, наиболее характерным для недельных колебаний и проявляющихся анизотропно, относятся *рост-падение центрo-периферийного контраста*, *формирование-деградация локальных субцентров*, *поляризация-сглаживание структуры пассажиропотока станций по территориальному признаку*. У вторых наиболее заметны *усиление гравитационного потенциала ряда узлов в окраинной части* и *локальное перераспределение пассажиропотока вследствие усложнения топологической структуры сети*.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ

1. Базовые параметры пассажиропотоков московского метрополитена имеют четко выраженную центрo-периферийную организацию: максимальные объемы

концентрируются 1) на станциях (узлах), занимающих центральное положение в сети, и 2) в крупных транспортных хабах. Между станциями (узлами) этих двух групп формируются магистральные направления пассажиропотоков с наиболее высокой интенсивностью. Это обуславливает рост мощности пассажиропотока при движении от окраин к центру сети. Внутри и около каждой из этих двух групп станций (узлов) сконцентрированы направления с наивысшей пассажиронапряженностью, распределенные анизотропно. В срединной зоне и окраинной части наблюдаемые параметры имеют локальные минимумы.

Входящий объем пассажиропотока на станциях метрополитена (рис. 1) тесно связан с их пространственным положением в сети его линий. Станции, расположенные в центральной части города, имеют более высокие значения входящего пассажиропотока по сравнению со станциями на периферии. Это объясняется сверхконцентрацией центральных мест, которой соответствует радиально-кольцевая структура метрополитена. Его значения высоки у станций, входящих в состав крупных транспортных хабов, которые являются конечными пунктами многих маршрутов наземного пассажирского транспорта. Ключевую роль в формировании входящего пассажиропотока играет не только пространственное размещение станций, но и их интеграция в мультимодальную транспортную систему города. Для станций, расположенных в западной части города, характерны относительно невысокие значения входящего пассажиропотока, что связано с более высокой плотностью сети линий метрополитена в этих районах и большей ориентацией жителей на использование личного автомобильного транспорта.

Пространственная структура входящего объема пассажиропотока имеет относительную устойчивость во времени. Несмотря на снижение объемов пассажиропотока в выходные дни (в среднем на 40%) и в летний период (в среднем на 12% в будние дни), рисунок территориального распределения станций с максимальными и минимальными значениями сохраняется. Ядро с крупнейшими объемами пассажиропотока остается по-прежнему в центральной части города, т.е. в пределах третьего топологического яруса сети линий. Происходят лишь некоторые изменения в относительных позициях отдельных станций, связанные с открытием новых линий и станций, перераспределением пассажиропотоков в пользу крупных транспортных хабов. Сезонные колебания пассажиропотоков в летний период не привели к радикальным сдвигам в их пространственной структуре. Однако выявлен спад входящего объема пассажиропотока, связанный с сокращением объема трудовых поездок, а также у станций, расположенных около крупных вузов и студенческих кампусов (свыше 20% по сравнению с осенне-зимним). В то же время наблюдается рост пассажиропотока у станций, обслуживающих наиболее

посещаемые рекреационные зоны и торгово-развлекательные комплексы. Таким образом, пространственная структура распределения объема пассажиропотоков имеет большую устойчивость в недельном цикле, чем в сезонном.

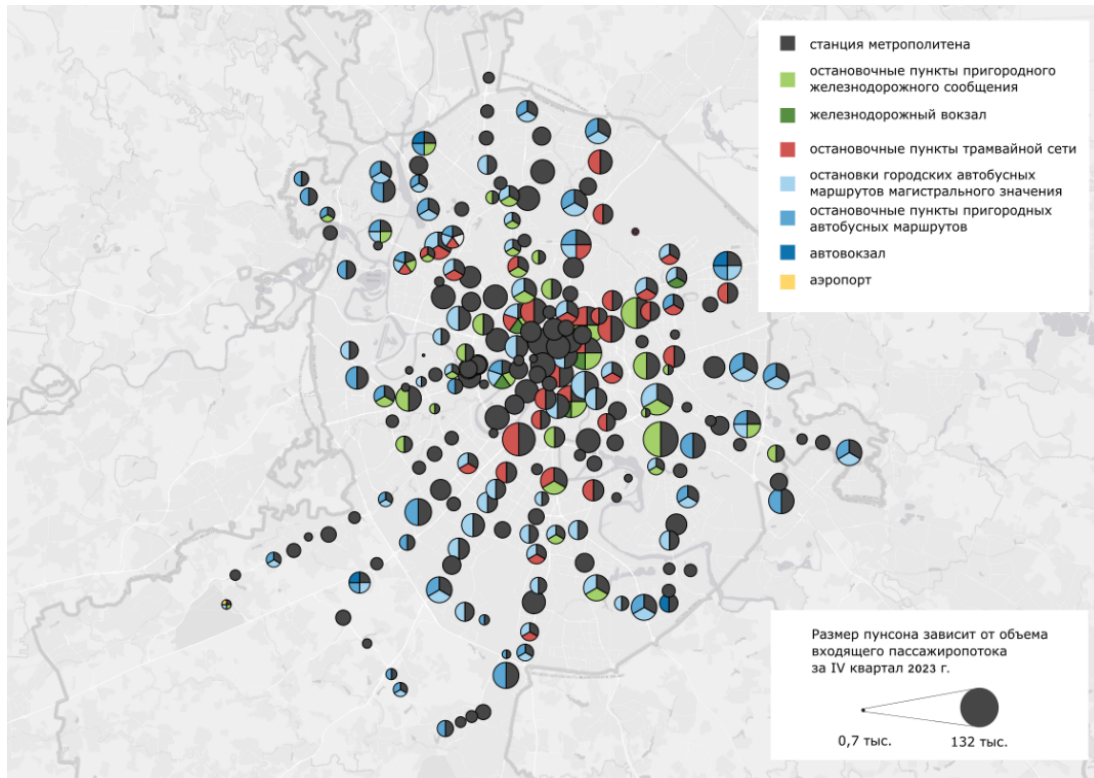


Рисунок 1. Средний входящий объем пассажиропотока станций метрополитена в IV квартале 2023 г. и транспортные хабы, имеющие в своем составе станцию метрополитена, на территории Московской агломерации на конец 2023 г. Составлено автором.

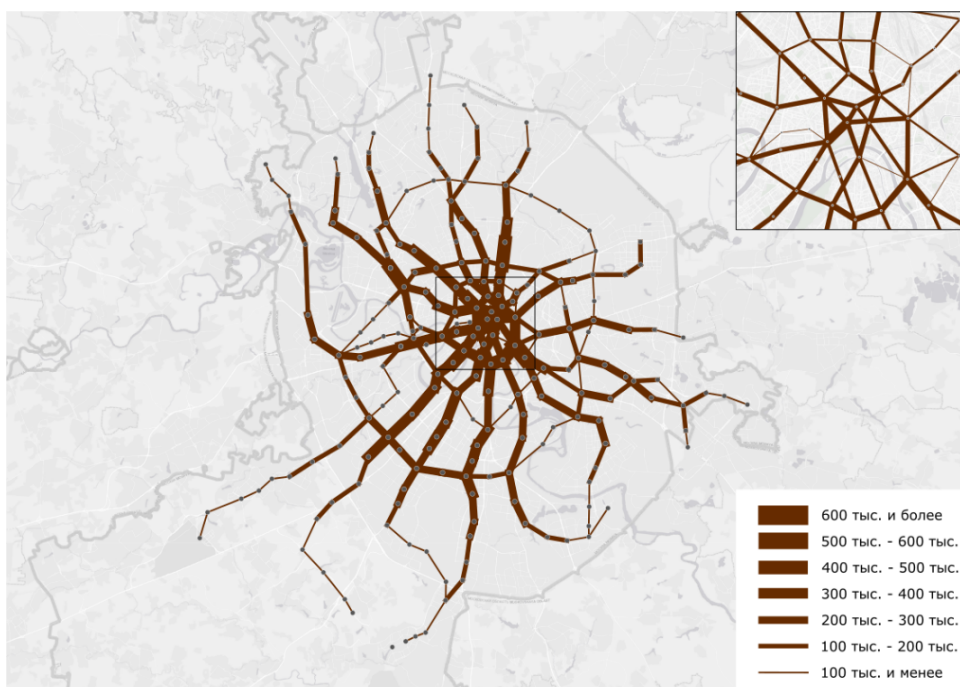


Рисунок 2. Среднесуточная мощность пассажиропотока в будние дни IV квартала 2023 г. Составлено автором.

Анализ пространственного распределения интенсивности пассажиропотоков показал, что наблюдается ярко выраженное доминирование центростремительных и центробежных потоков. По мере приближения к центру ядра агломерации мощность пассажиропотока возрастает (рис. 2). При этом есть некоторые участки линий, где мощность потока незначительно ослабевает, что связано с формированием пересадочного пассажиропотока на Московское Центральное кольцо (МЦК).

Наиболее интенсивные пассажиропотоки (рис. 3) идут от станций, расположенных на окраине ядра агломерации и являющихся периферийными локальными максимумами. Для таких станций характерны относительно высокие значения входящего пассажиропотока, который концентрированно направляется в центральную часть ядра агломерации и обратно. В то же время в срединной зоне города наблюдается сравнительно низкая их интенсивность. Распределение наиболее загруженных направлений имеет *анизотропный характер* с доминированием в северо-западном, восточном и юго-восточном секторах. Хордовые (тангенциальные) направления, соединяющие разные сектора между собой, имеют гораздо меньшую интенсивность пассажиропотока.

Пассажиронапряженность (отношение интенсивности пассажиропотока к расстоянию корреспонденции по кратчайшему маршруту – прямой аналог гравитационных моделей, оценивающих величину пространственного взаимодействия) имеет в сети метрополитена два локальных максимума: один – в ее центральной части (2-3 топологический ярус), второй – в окраинных частях (в южном, юго-западном, северо-западном и восточном секторах), что совпадает с пространственной структурой входящего объема пассажиропотока. Ее наименьшие значения характерны для хордовых и диаметральных направлений, проходящих насквозь через центр сети (рис. 4). Это свидетельствует о том, что для городского пространства Москвы гравитационное взаимодействие наиболее велико прежде всего в локальном масштабе.



Рисунок 3. Пространственное распределение 1% пассажиропотоков с наибольшей интенсивностью: а) в будние дни IV квартала 2019 г.; б) в выходные дни IV квартала 2019 г.; в) в будние дни IV квартала 2023 г.; г) в выходные дни IV квартала 2023 г.; д) в будние дни лета 2023 г.; е) в выходные дни лета 2023 г. Составлено автором.

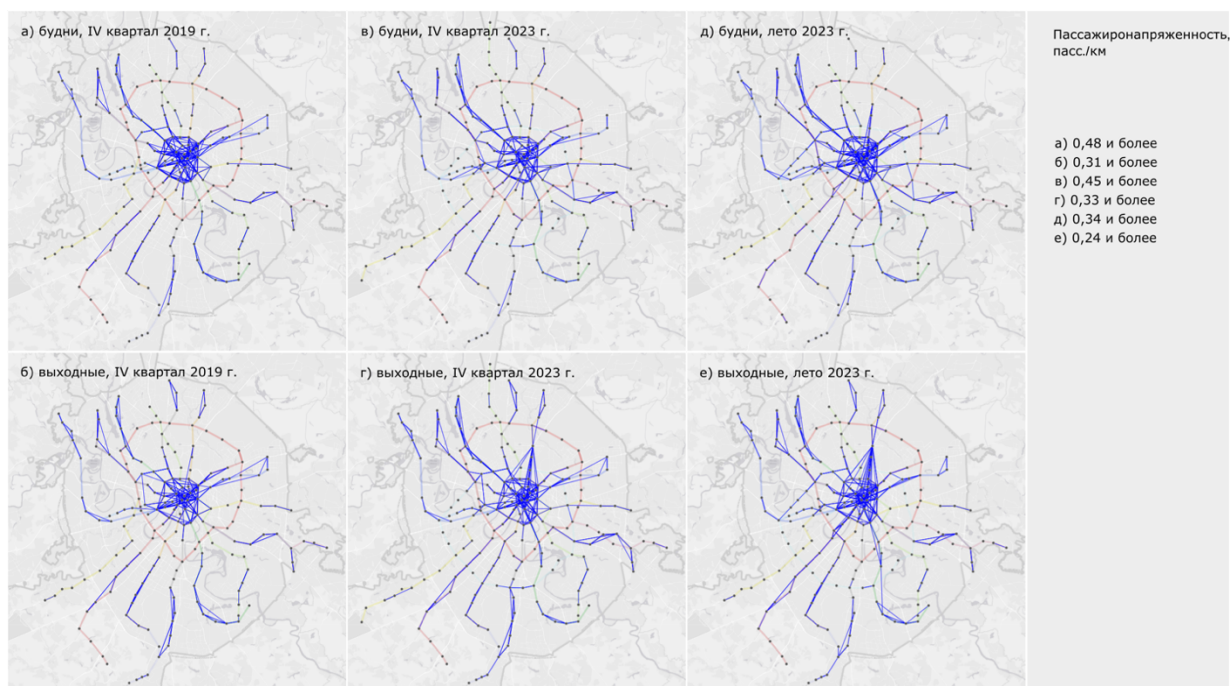


Рисунок 4. Пространственное распределение 1% пассажиропотоков с наибольшей среднесуточной пассажиронапряженностью: а) в будние дни IV квартала 2019 г.; б) в выходные дни IV квартала 2019 г.; в) в будние дни IV квартала 2023 г.; г) в выходные дни IV квартала 2023 г.; д) в будние дни лета 2023 г.; е) в выходные дни лета 2023 г. Составлено автором.

Устойчивость пространственной структуры распределения интенсивности пассажиропотока по маршрутам корреспонденций во времени остается достаточно сильной, несмотря на некоторые изменения. В недельном цикле наблюдается небольшое увеличение

интенсивности по хордовым направлениям и снижение по магистральным, однако последние по-прежнему доминируют. В выходные дни характерно увеличение интенсивности к / от станций, вблизи важных рекреационных объектов, что особенно заметно на примере станции ВДНХ.

В динамике за 2019-2023 гг. не выявлено существенных изменений в пространственной структуре пассажиропотоков, однако заметно усиление роли хордовых направлений, особенно вдоль Большой Кольцевой линии (БКЛ), а также направлений с пересадочными узлами на пригородные железные дороги. Это свидетельствует о начале полицентризации пассажиропотока. Направления с наибольшим ростом интенсивности, пассажиронапряженности и пассажирооборота сконцентрированы вокруг станций, обслуживающих новые жилые массивы и пересадочные узлы с Московскими Центральными Диаметрами.

Сезонные изменения не привели к существенным трансформациям пространственной структуры пассажиропотоков, но позволили выявить некоторые очаги притяжения пассажиров, характерные для летнего периода, расположенные рядом с рекреационными зонами. Таким образом, пространственная структура распределения пассажиропотоков в сети линий московского метрополитена имеет достаточно высокую устойчивость, несмотря на текущие изменения в ее топологической структуре и территориальной организации городской агломерации.

2. Структура пассажиропотоков Московского метрополитена определяется обратной экспоненциальной зависимостью интенсивности поездок от протяженности маршрута, пространственно дифференцированной в пределах агломерации: на периферийных и субцентральных станциях доминируют локальные корреспонденции, тогда как в центральной части города поездки имеют более слабо детерминированный и многовекторный характер. Во временной динамике (недельной, сезонной, многолетней) эта структура претерпевает изменения в сторону ослабления зависимости «длина–интенсивность» и усиления поляризации пассажиропотока, при сохранении локальных исключений, связанных с вводом новых узлов и специфическими функциями городской среды.

Характер распределения значений интенсивности пассажиропотоков и пассажиронапряженности позволил сформулировать гипотезу о *взаимосвязи между протяженностью маршрута корреспонденции и интенсивностью пассажиропотока* на станциях метрополитена.

Анализ частных коэффициентов корреляции, рассчитанных для каждой станции отдельно, выявил пространственные различия в степени взаимосвязи длины маршрута и

интенсивности (рис. 6). Более высокие значения коэффициента корреляции наблюдаются на станциях, расположенных на периферии ядра агломерации, а также на некоторых станциях-локальных субцентрах. Пассажиры этих станций совершают поездки преимущественно до ближайших станций с экспоненциально убывающей интенсивностью до более дальних, что показывает диаграмма рассеяния на примере станции Пятницкое шоссе (рис. 5). При этом станции, расположенные в центральной части ядра агломерации с высокой степенью центральности по близости, имеют более низкие значения этого коэффициента, что говорит о менее пространственно детерминированной структуре поездок, в которой преобладают как близлежащие станции, так и более отдаленные с относительно высокими величинами входящего объема пассажиропотока.



Рисунок 5. Соотношение протяженности маршрута корреспонденции и интенсивности пассажиропотока направлений, исходящих от станции Пятницкое шоссе. Составлено автором по усредненным данным за будние дни IV квартала 2019 г.

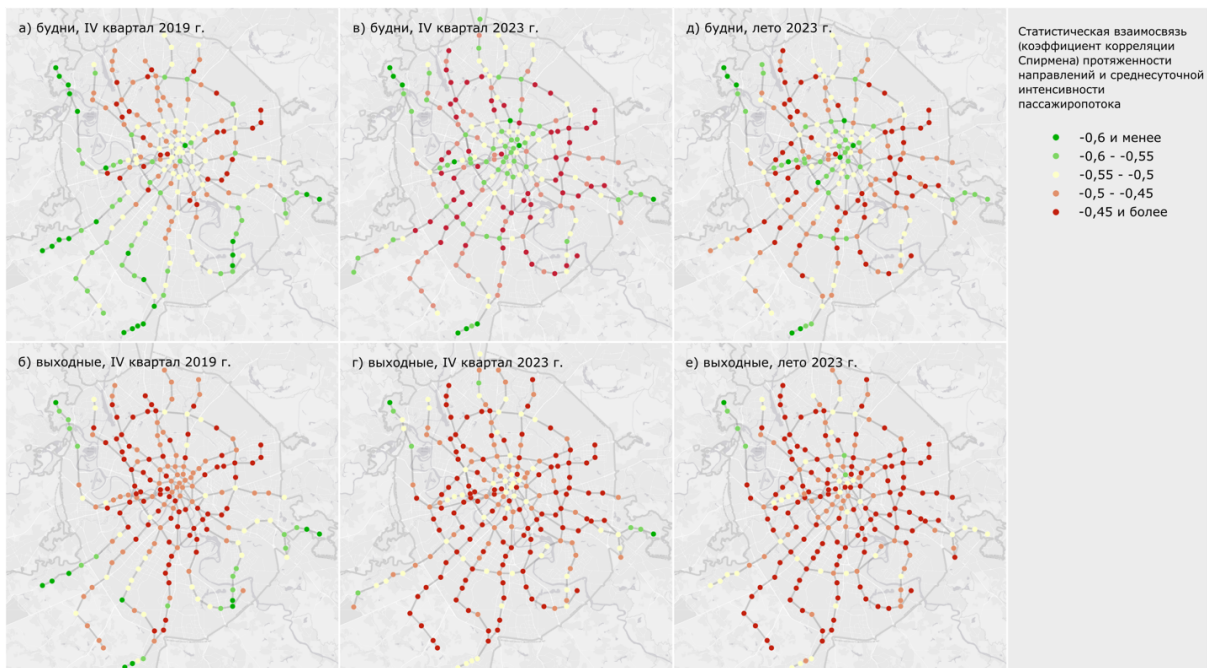


Рисунок 6. Распределение значения коэффициента корреляции длины направлений и среднесуточной интенсивности пассажиропотока в будние дни по станциям (узлам) московского метрополитена: а) в будние дни IV квартала 2019 г.; б) в выходные дни IV квартала 2019 г.; в) в будние дни IV квартала 2023 г.; г) в выходные дни IV квартала 2023 г.; д) в будние дни лета 2023 г.; е) в выходные дни лета 2023 г. Составлено автором.

Анализ неравномерности распределения пассажиропотока по станциям назначения, рассчитанного для каждой станции отдельно, проведен с использованием коэффициента вариации

$$CV = \frac{\sigma}{\mu}$$

где σ – среднеквадратическое отклонение, μ – среднее арифметическое. Чем выше значение коэффициента вариации, тем сильнее неравномерность структуры пассажиропотока.

Высокие значения коэффициента вариации наиболее характерны для станций юго-западных и северо-западных участков сети линий, свидетельствуя о том, что пассажиры этих станций совершают поездки преимущественно по локальным направлениям (рис. 6). В то же время станции, расположенные в восточной половине ядра агломерации, а также станции с относительно небольшими значениями входящего пассажиропотока имеют более низкие значения коэффициента вариации. В одной из ранних работ О.И. Вендиной, А.Н. Паниным, В.С. Тикуновым изучена дифференциация социального пространства Москвы. Было выявлено, что юго-западные и северо-западные районы города отличаются более высокими значениями индикаторов социальной активности и качества жизни по сравнению с восточными. Таким образом, *существует косвенная связь между показателями качества жизни в различных районах города и паттернами мобильности их жителей: жители районов с более высоким уровнем значений показателей качества жизни совершают поездки преимущественно в пределах той части города, где они проживают.*

Для пространственной структуры пассажиропотоков в 2019-2023 гг. были характерны значительные изменения. В выходные дни отмечалось ослабление статистической взаимосвязи между протяженностью направлений и интенсивностью пассажиропотока, что свидетельствует об изменении внутренней структуры отправок. Это проявляется в виде поляризации значений интенсивности, что выражается в увеличении доминирования главного направления (направления, лидирующего в структуре пассажиропотока той или иной станции (узла)) или нескольких направлений.

За изученный период произошло *ослабление взаимосвязи между протяженностью маршрутов и интенсивностью пассажиропотоков у станций вблизи БКЛ и одновременное увеличение этой взаимосвязи в центральной части ядра агломерации благодаря уменьшению интенсивности прежде всего на магистральных направлениях (от центра к окраинам и наоборот).* Увеличение значения коэффициента вариации происходит, с одной стороны, за счет поляризации структуры пассажиропотока из-за усиления роли локального субцентра вблизи станции, с другой, ее размывания за счет включения в структуру потоков новых, удаленных и малонагруженных станций (что особенно характерно для северо-восточного

сектора сети). Сезонные колебания также оказывают влияние на структуру пассажиропотоков: значительно возрастает пространственная дисперсия совершаемых поездок. В этом отношении станции с ярко выраженными сезонными колебаниями входящего объема пассажиропотока не так сильно выделяются на фоне других.

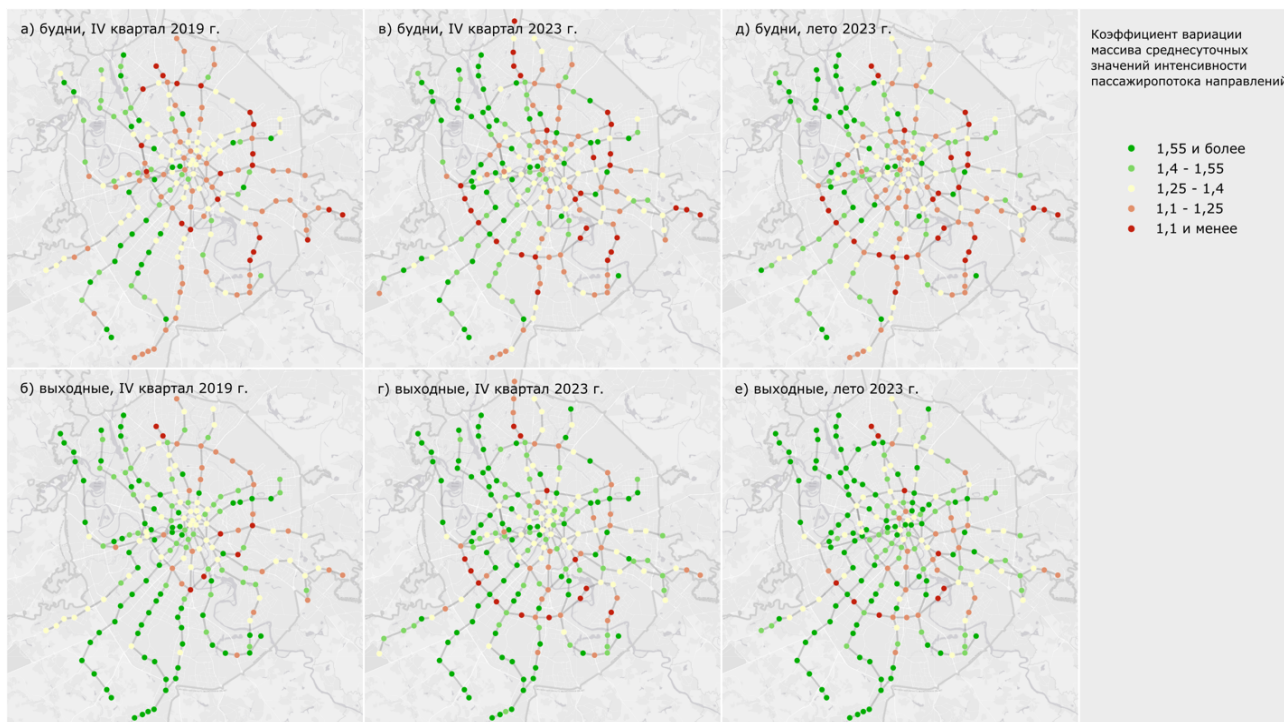


Рисунок 7. Распределение значения коэффициента вариации массива среднесуточных значений интенсивности пассажиропотока направлений, сгруппированных по станциям (узлам) московского метрополитена: а) в будние дни IV квартала 2019 г.; б) в выходные дни IV квартала 2019 г.; в) в будние дни IV квартала 2023 г.; г) в выходные дни IV квартала 2023 г.; д) в будние дни лета 2023 г.; е) в выходные дни лета 2023 г. Составлено автором.

3. Особенности структуры пассажиропотоков по временному признаку зависят от пространственного положения станции. С приближением к центральной части ядра агломерации доминирование утреннего пика сменяется доминированием вечернего, реагируя на специфику функционального назначения зон обслуживания станций (узлов) и обозначая концентрическую функционально-планировочную структуру города.

В диссертационной работе осуществлена параметризация структуры пассажиропотока станций по временному признаку с расширением как временного охвата данных, так и методического инструментария. В анализ включены, кроме будней, выходные дни и расширен период наблюдений (2019–2023 гг.), что позволило оценить устойчивость пространственно-временных паттернов суточной загрузки станций.

В качестве ключевых использованы параметры утреннего и вечернего пиков пассажирообмена. Для будних дней учтена относительная разница между входящим

пассажиропотоком в утренний и вечерний пики, что позволило выделить группы станций с преобладанием утреннего, вечернего либо эквивалентного пиков. Для выходных дней, в условиях отсутствия ярко выраженных пиков, проанализировано время наступления максимума суточного входящего пассажиропотока как индикатор функциональной роли территории в структуре города.

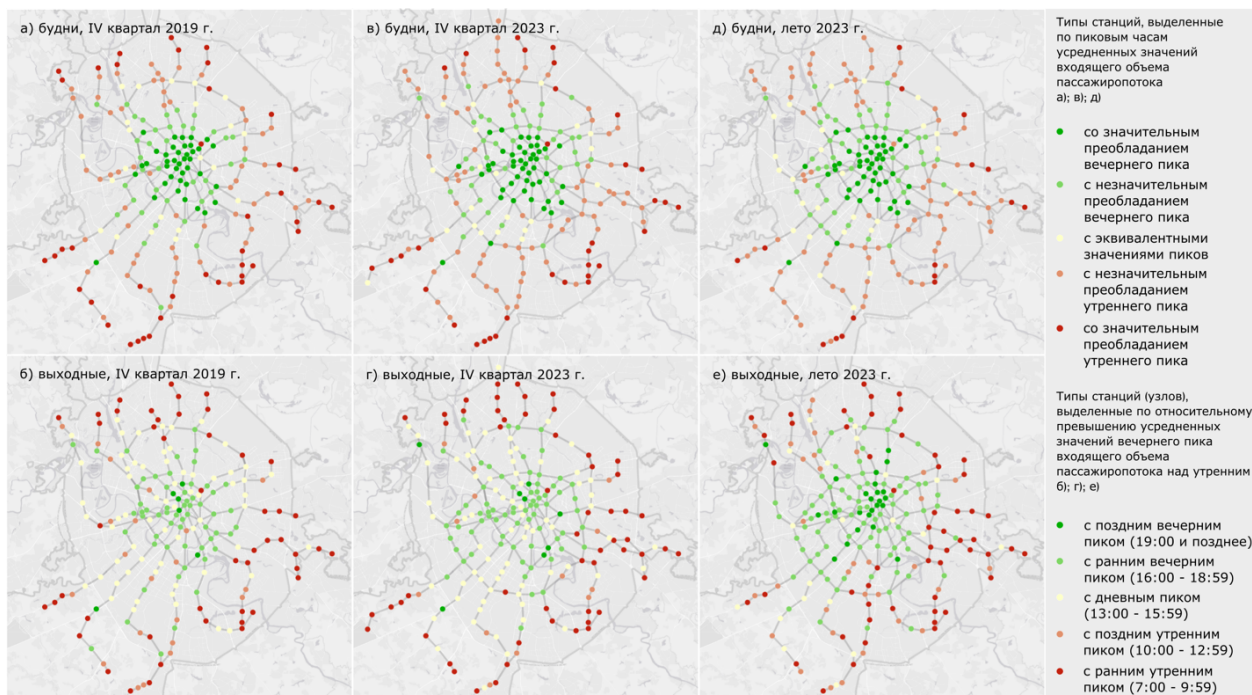


Рисунок 8. Типы станций (узлов), выделенные по относительному превышению усредненных значений вечернего пика входящего объема пассажиропотока над утренним а) в будние дни IV квартала 2019 г.; б) в выходные дни IV квартала 2019 г.; в) в будние дни IV квартала 2023 г.; г) в выходные дни IV квартала 2023 г.; д) в будние дни лета 2023 г.; е) в выходные дни лета 2023 г. Составлено автором.

Пространственное распределение типов суточной загрузки в будние дни четко укладывается в градиент «центр – периферия» с выраженными продолжениями в юго-западном и северо-западном секторах (рис. 8). Исключения из этой закономерности объясняются специфическим функциональным назначением зон обслуживания станций, в частности наличием крупных транспортных хабов в центре ядра агломерации (Комсомольская), либо значительных офисных кластеров за пределами Московской кольцевой автодороги (Румянцево).

В выходные дни время наступления пикового пассажиропотока значительно варьирует между станциями, однако в целом сохраняется пространственная логика, близкая к будничной. Наиболее поздние пики характерны для центральной части ядра агломерации, и они маркируют зоны концентрации досуговых и рекреационных функций, тогда как ранние пики типичны для периферийных селитебных районов. Исключения из этого градиента связаны преимущественно с размещением крупных торгово-развлекательных

центров и рекреационных зон. Высокое значение коэффициента ранговой корреляции Спирмена (0,79) между параметрами будничной и выходной суточной загрузки подтверждает устойчивую взаимосвязь режимов пассажирообмена в разные типы дней.

Выделена группа станций с пиком во второй половине дня, занимающих промежуточное положение между центром и периферией. Их зоны обслуживания, несмотря на селитебный характер, включают локальные точки притяжения, актуальные прежде всего в выходные дни. В то же время существуют станции с инверсией функциональной роли: в будние дни они соответствуют центральному типу, а в выходные – периферийному, что связано с преобладанием деловых и пересадочных функций.

В многолетней динамике существенных изменений суточного режима загрузки станций не выявлено, что указывает на его высокую устойчивость. Вместе с тем, для ряда станций, находящихся преимущественно в юго-западном, западном и северо-западном секторах, характерен переход к доминированию вечернего пика, обусловленный сдвигом функционального назначения в сторону административно-делового, изменениями пригородного сообщения и вводом новых элементов сети, включая БКЛ.

В выходные дни IV квартала 2023 г. отмечено расширение группы станций с поздним пиком нагрузки, особенно в центральной части ядра агломерации и на западных участках БКЛ. В летний период выявлено сглаживание различий между утренним и вечерним пиками, а также рост доли станций с вечерним доминированием, прежде всего в западных и юго-западных секторах, что связано с рекреационной активностью местного населения.

Таким образом, суточный режим загрузки станций метрополитена является устойчивым индикатором функционально-планировочной структуры города, отражающий ярко выраженный градиент «центр – периферия», сохраняющийся в будние, выходные и сезонные временные срезы, при локальных трансформациях, обусловленных изменением функций городского пространства и развитием транспортной сети.

4. В ходе эмпирического анализа пространственного распределения направлений с наибольшей интенсивностью пассажиропотока от каждой станции (узла) выявлена следующая иерархия узлов. В центральной части ядра агломерации узлы с более высокими уровнями иерархии встречаются чаще. Узлы высоких уровней иерархии в окраинной части ядра агломерации формируют автономные от центральной системы компоненты главных направлений. Количество таких автономных подсистем возрастает как при недельных и сезонных колебаниях, так и в течение всего периода изучения, что подтверждает ранее выявленный рост полицентризации пассажиропотоков.

Для определения иерархической структуры пассажиропотока использован метод

Лувена, в соответствии с которым для каждой станции (узла) определено *главное направление* – с наибольшим значением интенсивности среднесуточного пассажиропотока. Из таких главных направлений построен граф, соединяющий между собой все станции (узлы). Чем дальше от топологического центра графа расположен транспортный узел, тем более низкий иерархический уровень ему присваивается.

Этот граф состоит из нескольких автономных компонентов (изолированных друг от друга его частей). Наиболее обширный по территориальному охвату компонент объединяет центр сети линий метрополитена с северным, восточным, юго-восточным и южным секторами. В остальных секторах обнаружены автономные компоненты с различной устойчивостью по составу и времени. Два наиболее крупных из них расположены на юго-западе и вытянуты вдоль Сокольнической и Калужско-Рижской линий. По числу связей в большинстве случаев доминировал центральный узел станций Охотный Ряд – Площадь Революции – Театральная, расположенный ровно в топологическом центре сети (рис. 9).

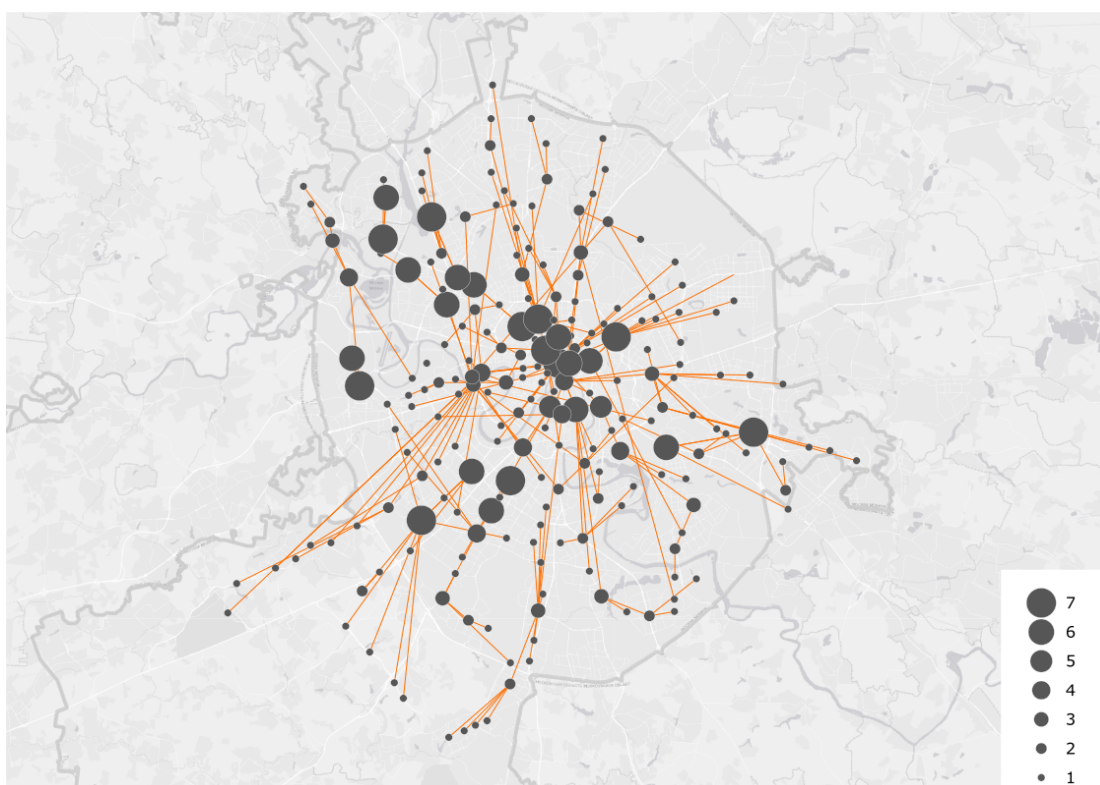


Рисунок 9. Распределение станций (узлов) по уровням иерархии в системе главных направлений по интенсивности среднесуточного пассажиропотока московского метрополитена в будние дни IV квартала 2023 г. Составлено автором.

В выходные дни наблюдается более высокая степень децентрализации системы главных направлений, когда число автономных компонентов (во многом за счет редукции крупнейшего из них) возрастает, а длина иерархических цепочек (ветвей графа) сокращается. Это связано с изменением пространственной структуры пассажиропотоков, когда ключевые пункты притяжения смещаются на периферию центральной части агломерации. В летний

период, наоборот, происходит усиление централизации, когда большая часть направлений замыкается на узлах высшего иерархического уровня в центре. Таким образом, иерархия станций и узлов метрополитена отличается значительной динамичностью и зависит как от недельных, так и сезонных колебаний пассажиропотоков. За изученный период (с 2019 по 2023 гг.) число иерархических уровней уменьшилось с 11 до 7-8, а число автономных компонентов (и, соответственно, числа узлов наивысшего уровня иерархии), напротив, возросло. Это наблюдение подтверждает вывод о постепенном увеличении доли локальных поездок до ряда станций (узлов) вне центра, которые становятся новыми городскими субцентрами.

5. Сочетания значений параметров пассажиропотока формируют сложную пространственную структуру, состоящую из четырех зон, связанных иерархически подчиненными друг другу пассажиропотоками. Эти зоны сформированы сгущениями узлов одного или нескольких схожих типов. Наличие множества переходных типов обуславливает подвижность границ зон, выраженную наиболее ярко в рамках цикла «будни-выходные». Выделенные типы узлов имеют преимущественное центрально-периферийное распределение со значительными отклонениями по секторам.

Статистический кластерный анализ позволил выявить группировки станций (узлов) по характерным сочетаниям базовых и структурных параметров пассажиропотока с уровнем иерархии по каждому из шести изученных временных срезов. Результаты статистической кластеризации стали основой пространственной модели пассажиропотоков, учитывающей выявленные выше закономерности пространственного распределения параметров пассажиропотоков, а также динамику этих закономерностей во времени. Она представляет собой совокупность поясов-зон, для каждой из которых характерен тот или иной тип станций (узлов), а также ключевые пространственные взаимодействия внутри зон и между ними, определяемых конфигурацией главных направлений потоков, их интенсивностью и пассажиронапряженностью. Тип узла определяется характером сочетаний значений параметров пассажиропотока, а также устойчивостью (изменчивостью) этих сочетаний во времени. На рис. 10 представлена морфологическая схема пространственной структуры пассажиропотока, на рис. 12 – схемы, учитывающие секторальные различия, характерные для того или иного временного среза.

Для базового IV квартала 2023 г. выделено **17 типов станций** (узлов; рис. 11), в т.ч. **7 базовых**, сохраняющих значения параметров на протяжении всех временных срезов. Вследствие высокой степени изменчивости параметров пассажиропотока у большого количества станций (узлов) дополнительно выделено **8 переходных типов**, чьи параметры имеют ярко выраженные сдвиги в выходные дни. Сезонные сдвиги выражены заметно реже,

однако также учтены в двух дополнительных переходных типах.

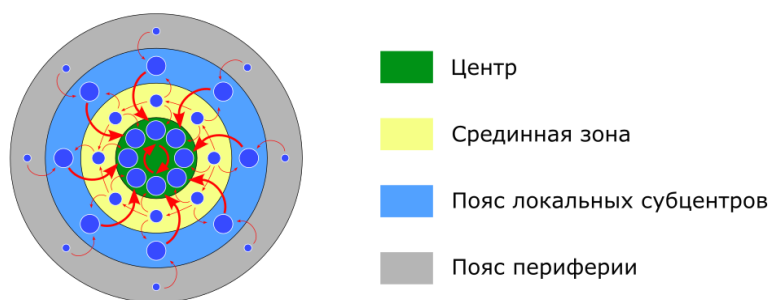


Рисунок 10. Элементы четырехчленной пространственной модели распределения пассажиропотока в системе московского метрополитена и доминирующие пассажиропотоки. Ширина стрелок пропорциональна интенсивности пассажиропотока, размер пунсона – входящему объему пассажиропотока. Составлено автором.

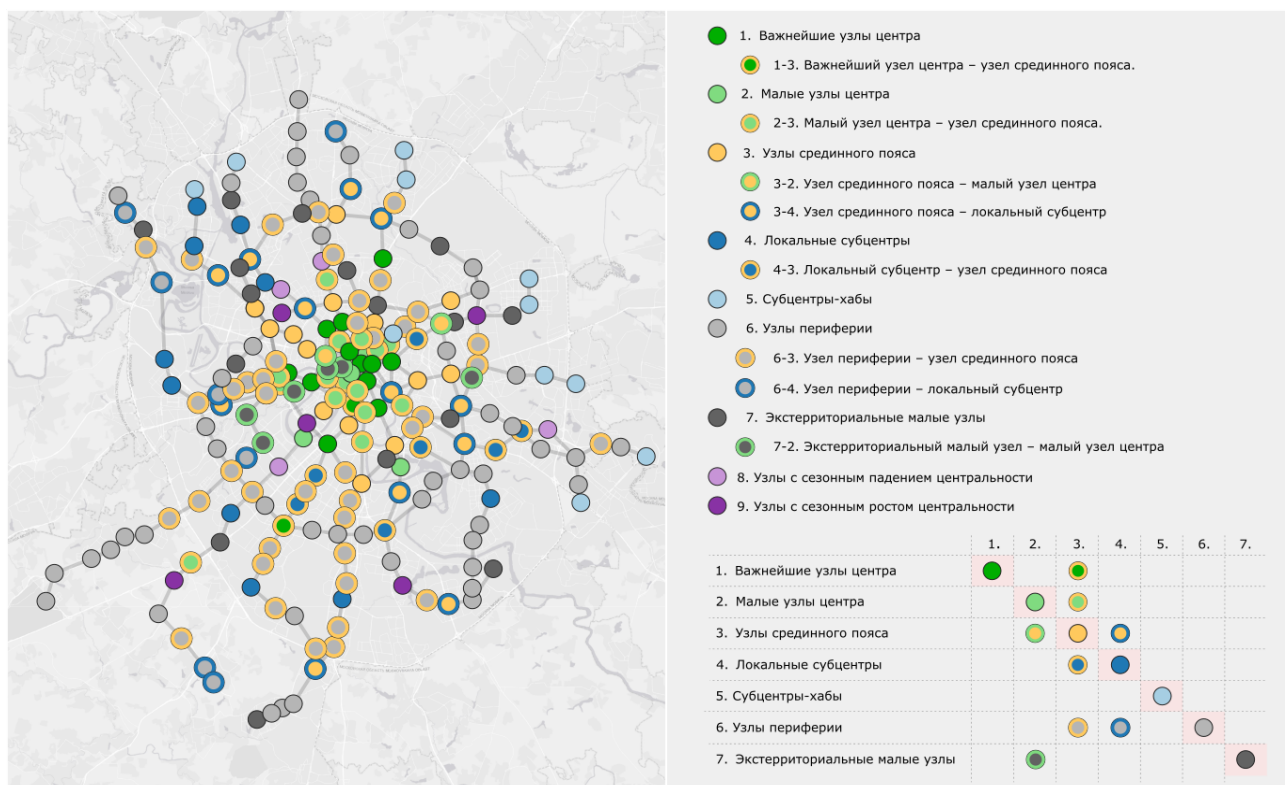


Рисунок 11. Типы станций (узлов) московского метрополитена в четырехчленной пространственной модели распределения пассажиропотока. Составлено автором.

Для каждого пояса базовых типов станций наиболее характерны следующие свойства:

Центральный – пояс конвергенции пассажирских потоков высшего, общеагломерационного значения. Станции (узлы) этой зоны характеризуются высокой территориальной концентрацией, а участки линий между ними – максимальной мощностью пассажиропотока среди всех зон. Для важнейших узлов центра характерны наибольший входящий объем пассажиропотока и доминирование вечернего часа пик в будни и выходные;

наиболее сильное тяготение, обеспечиваемое наибольшим функциональным разнообразием зон их обслуживания, которое генерирует высокоинтенсивные потоки. Корреспонденции между узлами этого типа самые пассажиронапряженные. Такие узлы занимают высшие уровни в их иерархии. Малые узлы центра, как правило, расположены на радиальных линиях без пересечений с другими линиями, что обуславливает меньший входящий пассажиропоток и более детерминированную структуру пассажиропотока с преобладанием главного направления.

Срединный пояс. Узлы срединного пояса имеют высокий транзитный трафик, сопоставимый по мощности пассажиропотока с центральной зоной. Узлы такой зоны, как правило, не относятся к высшим уровням иерархии, но имеют высокоинтенсивные связи в пределах одного радиального сектора. Чаще всего узлы срединного пояса тяготеют к селитебно-деловым районам города. Для ряда узлов центрального пояса и пояса периферии в выходные дни характерен переход к свойствам узлов срединного пояса.

Пояс локальных субцентров включает два типа узлов: субцентры местного значения и субцентры-хабы. Первые формируют пассажиропоток благодаря крупным объектам инфраструктуры, вторые – пересадочным хабам. Субцентры местного значения отличаются более высоким гравитационным потенциалом и менее поляризованной структурой пассажиропотоков; субцентры-хабы схожи по своим параметрам с узлами ближней периферии, однако имеют более высокий объем пассажиропотока из-за очень обширной зоны обслуживания, часто выходящей за пределы ядра агломерации в пригородную зону, и относятся к более низким иерархическим уровням. Центральные функции вокруг субцентров-хабов не столь ярко выражены как у локальных субцентров.

Пояс периферии. Узлы периферии наиболее многочисленны. Этот пояс характеризуется преимущественно дивергенцией пассажиропотоков. Узлы пояса обслуживают, в основном, селитебные районы, формируя выраженные трудовые поездки с утренними пиками и доминированием коротких, локально ориентированных корреспонденций. Для этих узлов типичны высокая поляризация структуры поездок и максимальная зависимость интенсивности от протяженности поездки, причем эта зависимость характеризуется высокой устойчивостью во времени, включая выходные и сезонные колебания. Внутри пояса ярко выражены секторальные различия. Для него характерны переходные типы узлов, особенно в юго-западном и северо-западном секторах, что отражает повышенную автономность и функциональную сложность этих частей метрополитена.

Выявлены также экстерриториальные малые узлы, не входящие ни в один из вышеперечисленных поясов, которые резко контрастируют с соседними узлами по

значениям параметров пассажиропотока. Их главное отличие от узлов периферии: пассажиропоток этих станций мало связан с регулярными трудовыми поездками. Более того, этот пассажиропоток проходит в стороне от ключевых высокоинтенсивных и высоконапряженных направлений.

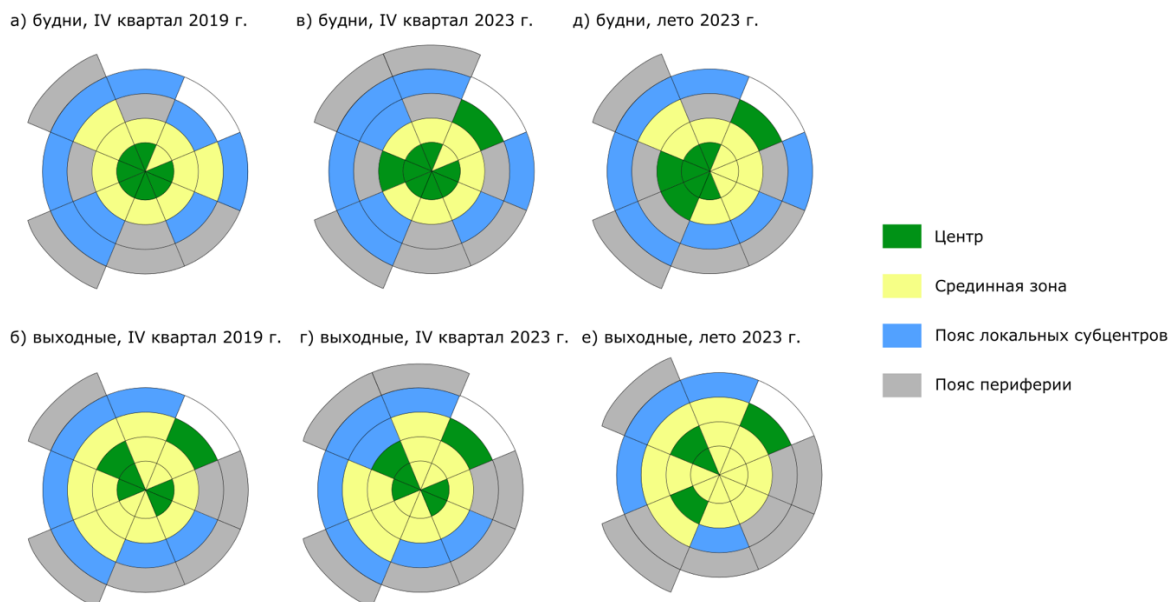


Рисунок 12. Четырехчленная пространственная модель распределения пассажиропотока в системе московского метрополитена с поправкой на секторальные различия: а) в будние дни IV квартала 2019 г.; б) в выходные дни IV квартала 2019 г.; в) в будние дни IV квартала 2023 г.; г) в выходные дни IV квартала 2023 г.; д) в будние дни лета 2023 г.; е) в выходные дни лета 2023 г. Составлено автором.

6. Пространственная конфигурация пассажиропотоков московского метрополитена сформировалась в ходе длительного экстенсивного роста сети. Она отражает современные функциональные и социальные различия городского пространства при доминирующем влиянии функционально-планировочной структуры города над транспортно-географическими факторами. Во временном измерении эта конфигурация сохраняет структурную устойчивость, претерпевая наибольшие территориальные сдвиги в рамках недельных циклов, тогда как сезонные изменения и инфраструктурные нововведения проявляются в основном на локальном уровне, способствуя формированию субцентров и перераспределению пассажиропотоков.

Предложенная пространственная модель пассажиропотоков метрополитена, включающая четыре пояса, согласуется с результатами ранее выполненных исследований по пространственной организации ядра Московской агломерации. Так, сопоставимые иерархические уровни и пояса центральных мест были выявлены в работах П. П. Эма и Н. К. Куричева, что подтверждает репрезентативность предложенной схемы.

Границы выделенных поясов подвижны и континуальны, изменяясь как в

пространстве, так и во времени. Переход между ними не всегда является дискретным и сохраняется даже при наличии ярко выраженных физических и административных барьеров. Это особенно наглядно проявляется в северо-западном секторе, где сформировался протяженный пояс локальных субцентров.

Более заметная трансформация пространственной структуры наблюдается в рамках недельного цикла «будни–выходные». В выходные дни происходит деконцентрация центральных узлов, расширение срединного пояса и увеличение числа локальных субцентров за счет станций как центральной зоны, так и периферии. Это сопровождается снижением различий в гравитационных потенциалах между центром и окраинами и перераспределением пассажиропотоков в пользу рекреационных и торгово-развлекательных объектов. В результате *пространственная анизотропия* пассажиропотоков, характерная для будних дней, в выходные *существенно сглаживается*.

В многолетней динамике (2019–2023 гг.) эволюция четырехчленной структуры выражается в территориальном расширении срединного пояса и пояса локальных субцентров при относительном сокращении территории периферии. Наиболее высокая концентрация пассажиронапряженных направлений и автономных компонентов главных направлений характерна для центральной части ядра агломерации, а также юго-западного и северо-западного секторов. Это свидетельствует о формировании в этих частях города не только локальных субцентров, но и субцентров городского масштаба, что указывает на продолжающееся перераспределение гравитационного потенциала внутри Московской городской агломерации.

Очень важны морфологические и исторические особенности юго-западного и северо-западного секторов, где сеть линий метрополитена расширялась быстрее, чем где-либо еще. Более высокая концентрация центральных функций в этих частях города, сформировавшаяся в советский период, обусловила рост локального притяжения и усиление пассажиронапряженности локальных направлений. Наоборот, в северном, восточном и юго-восточном секторах ядра агломерации низкая концентрация центральных функций способствует сохранению преимущественно радиальных потоков «периферия ↔ центр».

Несмотря на более высокую плотность сети станций в западных и юго-западных секторах, для здешних станций характерны меньшие размеры входящего пассажиропотока. Однако центральные функции концентрируются вокруг ограниченного числа станций (Университет, Академическая, Водный стадион, Сходненская), резко контрастирующих с соседними. В восточном и северо-восточном секторах, наоборот, более редкая сеть станций обеспечивает высокий пассажиропоток на отдельных станциях, который не всегда сопровождается формированием устойчивых центральных функций.

В ходе исследования выделены *два пространственных инварианта распределения пассажиропотоков* в ядре Московской агломерации. Первый характерен для юго-западного, западного и северо-западного секторов; он отличается *выраженной периферией и развитой системой локальных субцентров* с высокой долей локальных поездок. Вторым инвариантом характеризуется *более сильным гравитационным притяжением центральной зоны* и *слабее выраженными субцентрами*, что типично для восточной и юго-восточной частей ядра агломерации. Анизотропия пассажиропотоков между этими инвариантами наиболее заметна в будние дни и существенно ослабевает в выходные.

Изменения функциональной структуры города оказывают прямое влияние на вариации значений параметров пассажиропотока. Яркими примерами такого влияния являются узлы Москва-Сити и ВДНХ, усилившие свои центральные функции; станция Дмитровская, трансформировавшаяся в малый центральный узел в результате джентрификации. Вместе с тем *развитие транспортной сети*, включая ввод БКЛ, *оказало* в основном *локальное и селективное воздействие*, не изменив пространственную структуру пассажиропотоков метрополитена в целом.

Установлено, что на протяжении изученного периода с IV квартала 2019 г. по IV квартал 2023 г. *функционально-планировочная структура города играет определяющую роль в формировании пространственного распределения пассажиропотока*, тогда как *транспортно-географические факторы действуют преимущественно на локальном уровне*. Среди временных факторов недельные циклы воздействуют больше на перераспределение пассажиропотока, чем сезонные, влияющие на параметры пассажиропотока отдельных станций и узлов. Многолетние изменения связаны либо со сменой социальных и транспортных привычек (нарастающее доминирование более коротких поездок), либо с эволюцией центральных функций в городском пространстве, неизбежно влияющих на изменение параметров пассажиропотока.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Научные статьи в журналах Scopus, WoS, RSCI и в изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационных советах ВАК РФ по специальности 1.6.13 Экономическая, социальная, политическая и рекреационная география

Киселев И. В. Иерархическая структура пассажиропотока Московского метрополитена // Региональные исследования. — 2024. — № 4 (86). — С. 74–83.

Киселёв И. В. Территориальные сдвиги топологической структуры и пассажиропотока Московского метрополитена после ввода Большой кольцевой линии // Псковский регионологический журнал. — 2025. — Т. 21, № 1. — С. 180–199.

Киселев И. В. Пространственные закономерности многолетней динамики пассажиропотока станций Московского метрополитена // Известия РАН. Серия географическая. — 2025. — Т. 89, № 3. — С. 383–393.

Иные публикации

Киселев И.В. Влияние особенностей пространственной структуры города на неравномерность пассажиропотоков на Московском метрополитене // Социально-экономические проблемы развития и функционирования транспортных систем городов и зон их влияния: материалы XXVII Международной (тридцатой Екатеринбургской) научно-практической конференции (19–20 июня 2021 г.) / науч. ред. С. А. Ваксман. – Екатеринбург: АМБ, 2021. – С. 259-269.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение

Глава 1. Теоретические основы изучения пассажиропотоков в системах метрополитена

1.1 Понятие «пассажиропоток» и его параметры. Пассажиропоток как объект исследования географии транспорта

1.2 Исследования транспортных и пассажирских потоков Московской и других городских агломераций

1.3 Факторы распределения пассажиропотока в системе метрополитена

1.4 Исходные данные и методика изучения пространственно-временных закономерностей Московского метрополитена

Глава 2. Пространственный анализ базовых параметров пассажиропотока московского метрополитена

2.1 Входящий объем пассажиропотока станций Московского метрополитена

2.2 Интенсивность пассажиропотока и пассажиронапряженность направлений Московского метрополитена

2.3 Мощность пассажиропотока

Глава 3. Пространственный анализ структурных параметров пассажиропотока. Пространственная модель пассажиропотока Московского метрополитена

3.1 Пространственный анализ структуры пассажиропотока станций московского метрополитена по территориальному признаку

3.2 Пространственный анализ структуры пассажиропотока станций московского метрополитена по временному признаку

3.3 Иерархия узлов и направлений

3.4 Пространственная модель распределения пассажиропотока в московском метрополитене

Заключение

Литература

Приложение

Приложение 1. Соответствие названий станций метрополитена и названий пересадочных узлов, для которых были рассчитаны параметры пассажиропотока