

УДК 656.13

С. В. СКИРКОВСКИЙ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель; *Д. В. КАПСКИЙ*, доктор технических наук, Белорусский национальный технический университет, г. Минск; *Л. А. ЛОСИН*, кандидат технических наук, Санкт-Петербургский экономико-математический институт РАН, г. Санкт-Петербург

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ПЛАНИРОВОЧНОЙ СТРУКТУРЫ ГОРОДА

Рассмотрены варианты районирования города – создание его функционально-планировочной структуры, учитывающей транспортные потребности города, обеспечивающей его устойчивое развитие и трансформации в симбиотическую агломерацию.

Согласно определению [1, 2] под районированием понимается процесс таксонирования, при котором идентифицируемые таксоны должны отвечать по меньшей мере двум критериям: критерию специфики данного таксона и критерию единства, целостности районированных (идентифицируемых) элементов. Выбор методов районирования зависит главным образом от целей, объема и качества информации. В модели для задания численных характеристик территории строится система расчетного транспортного районирования (рисунок 1). При этом нужно отметить, что иногда в литературе, посвященной моделям, вместо терминов «транспортный район» и «транспортное районирование» могут использоваться соответственно термины «транспортная зона» и «транспортное зонирование».

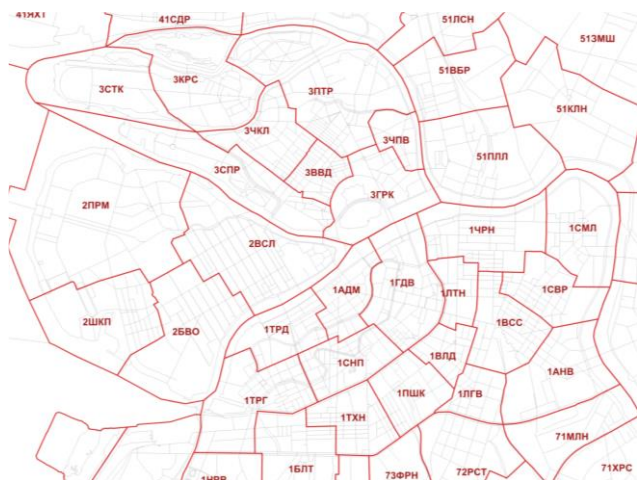


Рисунок 1 – Система транспортного районирования С.-Петербурга (фрагмент)

В целях районирования рассматриваемая территория разбивается на районы таким образом, чтобы размеры каждого из них позволяли пренебречь объемами внутрирайонных передвижений. Каждый из транспортных районов объединяет территорию, тяготеющую к крупному транспортному узлу, назначаемому экспертным путем. Желательно, чтобы система транспортного районирования в той или иной степени поддерживала сетку административно-территориального и муниципального деления: такой подход удобен для сбора статистической информации, а также для анализа результатов моделирования. Система транспортных районов также может быть согласована с системой планировочных образований, выделяемых в рамках проекта. Каждый транспорт-

ный район имеет уникальный код; последовательность нумерации районов обычно осуществляется по правилу меандра или спирали.

Еще в 1973 году, в эпоху расцвета транспортно-градостроительных исследований в СССР, были сформулированы следующие важнейшие принципы транспортного районирования, не потерявшие своей актуальности и сейчас: принцип автономности района, которая определяется относительной изоляцией его от прилегающих территорий (наличие соответствующих естественных и искусственных рубежей) и обеспеченностью доступности для значительной части внутрирайонных передвижений: следует стремиться к тому, чтобы все внутрирайонные передвижения были пешеходными; принцип функциональной однородности использования территории района (преобладание жилой, общественной либо промышленной застройки); принцип размещения «центра тяжести» района на основных транспортных магистралях – это предопределяет их прохождение через центральную часть района, а не по его периферии.

В целом же, как отмечают авторы [1, 3], принципами транспортного районирования являются: универсальность с точки зрения решения разнохарактерных задач; перспективность (учет территориального развития); информативность (возможность использования отчетно-статистических данных, использования в организации и обработке результатов транспортных обследований); оптимальность для получения достоверных исходных данных при минимизации трудозатрат; увязка с административной и планировочной структурой города.

Не всегда очевиден вопрос, какие элементы планировочной структуры должны являться границами транспортных районов: очень часто в качестве границ выступают условные линии, проходящие между магистральными улицами, узлы которых являются характеристическими центрами (фокусами, «центроидами») транспортных районов.

Для построения и анализа структуры межрайонных корреспонденций рекомендуется использовать систему агрегированных транспортных районов, формируемую путем объединения расчетных транспортных районов в группы по некоему территориальному признаку (рисунок 2). В этом случае характеристические центры агрегированных районов будут выступать как узлы, для которых строится матрица корреспонденций между агрегатами. Удобство такого подхода связано с возможностью наглядного представления межагрегатных корреспонденций в виде потоковой картограммы («брошки»),

в то время как слишком большое число элементов межрайонной матрицы (оно составляет n^2 , где n – число транспортных районов) лишает такое представление наглядности (это представление иногда называют «картограмма-паук»).

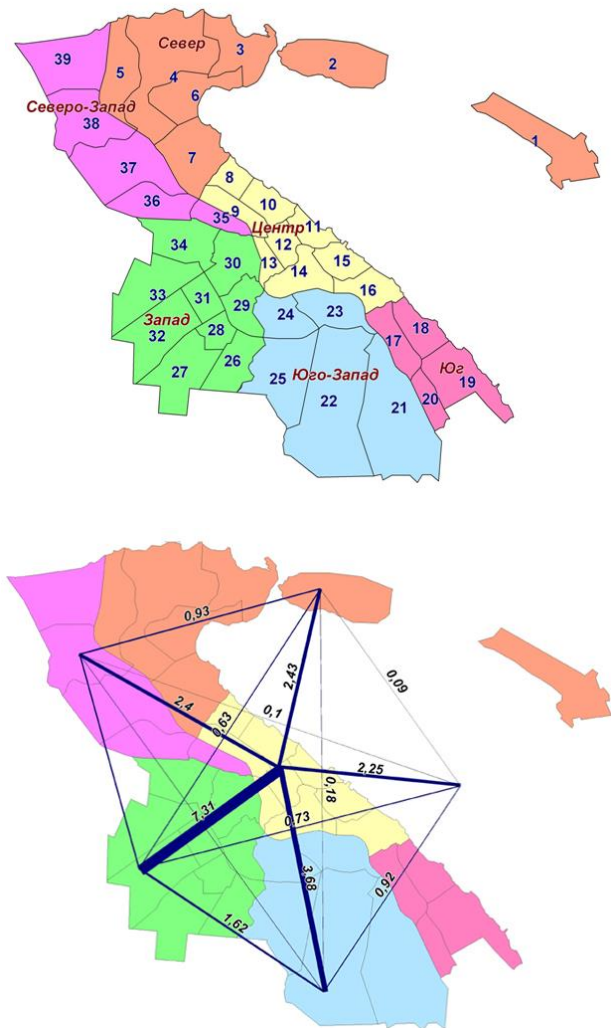


Рисунок 2 – Построение в системе агрегированного транспортного районирования (а), матрицы межрайонных корреспонденций (б) г. Петрозаводск

В соответствии с поставленной задачей в рамках проекта агрегирование транспортных районов может осуществляться по-разному, в некоторых случаях в рамках одного проекта может использоваться несколько систем агрегирования. Например, при разработке раздела развития транспортной инфраструктуры в составе Генерального плана С.-Петербурга для анализа транспортных связей между основными планировочными районами было сформировано две системы агрегированных транспортных районов: Центр Петербурга + 5 секторов по направлениям: для анализа внутригородских связей. Ядро Петербургской агломерации + 5 секторов по направлениям: для анализа внешних и агломерационных связей.

Подача нагрузки от транспортных районов, полученных на этапе генерации передвижений, на граф сети может осуществляться посредством условных дуг «привязки», которые соединяют условные центры районов, являющиеся источниками (фокусами потокообразова-

ния) и стоками (фокусами потокопоглощения), с узлами транспортной сети. Затраты времени на этих дугах можно интерпретировать как затраты на пеший подход к узлам сети. Дуги «привязки» могут назначаться как экспертным путем с учетом неравномерности внутрирайонного распределения мест проживания и мест приложения труда, так и автоматически – в этом случае нагрузка равномерно распределяется между всеми узлами сети в пределах транспортного района.

В применявшихся до недавнего времени методиках транспортно-градостроительных расчетов использовалось упрощающее предположение, состоящее в том, что нагрузка поступает в сеть в центрах транспортно-планировочных районов. Такой подход приводил, как правило, к неоправданному завышению потоковой нагрузки на участках сети, примыкающих к центрам районов. Напротив, задание слишком большого количества центров потокообразования нерационально в вычислительном отношении и затруднительно с точки зрения формирования исходной информации.

Поскольку на градостроительном уровне моделируется замкнутая система передвижений, в первую очередь трудовых, система транспортного районирования того или иного города обычно строится в пределах городской агломерации. Существует множество определений понятия агломерации, так же как и критериев ее выделения; в СГ, за редким исключением, граница агломерации не совпадает с административной (муниципальной) границей города.

Так, в соответствии с определением [4, 5] под агломерацией понимается группа близко расположенных городов, поселков и других населенных мест с тесными трудовыми, культурно-бытовыми и производственными связями, особое значение среди которых приобретают маятниковые поездки. Согласно определению, принятому при разработке Генерального плана С.-Петербурга, городская агломерация – это обладающая отчетливыми признаками территориальной и функциональной целостности, относительно компактная в пространственном отношении совокупность, группа городских и сельских населенных пунктов (поселений) с прилегающими к ним межселенными территориями, объединенными в сравнительно обширную и сложную территориальную систему с многообразными, достаточно устойчивыми и интенсивными взаимосвязями.

Поскольку городская агломерация имеет поясную структуру (рисунок 3), то в соответствии с заданными границами проектирования в качестве внешней границы территории моделирования (системы транспортных районов) выбирается тот пояс агломерации, который позволит наиболее полно учесть все внутренние связи, которые влияют на ежедневные передвижения населения, с требуемой точностью. Для учета внеагломерационных связей система районирования дополняется несколькими условными «внешними» районами («кордонами»), имитирующими связи с территорией, расположенной за пределами внешней границы системы транспортных районов. Таким образом, система становится полностью замкнутой, и обеспечивается баланс между численностью трудящихся и количеством мест приложения труда.

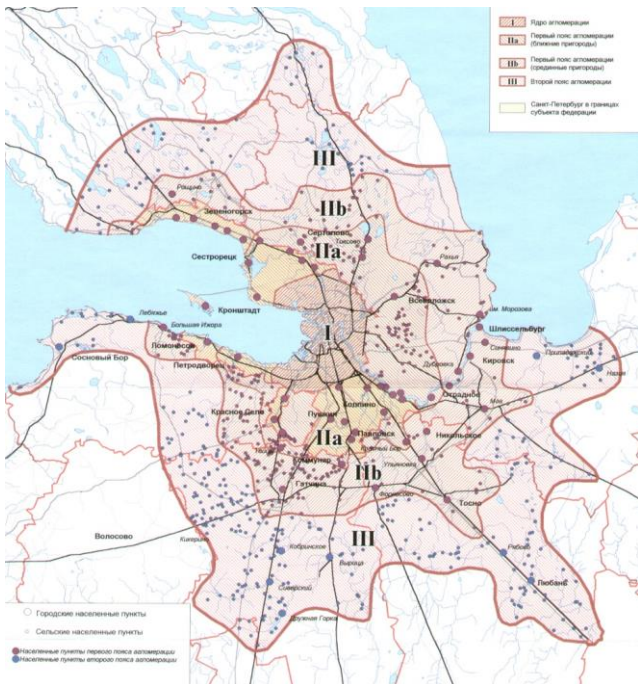


Рисунок 3 – Структура С.-Петербургской агломерации (по [6])

Особенность «внешних» районов состоит в том, что: районы отправления и/или прибытия этих корреспонденций расположены в неопределенных местах за пределами области моделирования; для этих корреспонденций не определена обобщенная цена пути, поскольку неконтролируемая часть путей находится за пределами области моделирования; объемы прибытия и отправления для «внешних» районов не рассчитываются, а оцениваются на основе обследований интенсивности в близких сечениях.

Основными данными, которые ставятся в соответствие транспортным районам, являются данные по численности населения и количеству мест приложения труда. К местам приложения труда кроме собственно рабочих мест относятся и учебные места в высших и средних учебных заведениях. Это связано с тем, что, в отличие от учащихся школ, для студентов этих учебных заведений, как правило, место учебы не связано с местом проживания, а это значит, что они участвуют в ежедневных передвижениях наряду с работающим населением.

Основным источником информации о современном распределении населения и мест приложения труда по территории являются данные статистики; возможно использование в работе иных источников, например, данных по избирательным округам и участкам. Для получения более детальной информации о размещении мест приложения труда, в частности, могут использоваться справочные издания, содержащие информацию о размещении объектов различного функционального назначения на городской территории, в которых проведена подробная функциональная рубрикация объектов и указаны адреса их расположения, что позволяет «привязывать» объекты к территории и к отраслям. Используя рубрикаторы, можно сформировать для объектов разных отраслей нормативные показатели количества рабочих мест в зависимости от функционального использования территории.

Формирование исходных информационных массивов на перспективу производится на основании принятых документов территориального планирования, отраслевых программ и другой проектной документации. Для каждого транспортного района прогнозируется численность населения на последующие годы, для которых будут рассчитываться параметры потокораспределения в модели (рисунок 4). Используя нормативные показатели плотности использования территории для этих функций, можно прогнозировать численность населения. Источником информации о размещении мест приложения труда на перспективу также может служить схема функционального зонирования территории в составе генерального плана города; территориальное распределение жилых, общественно-деловых, производственных и иных зон предполагает свою специфику землепользования, на основании чего может прогнозироваться размещение рабочих мест по отраслям.

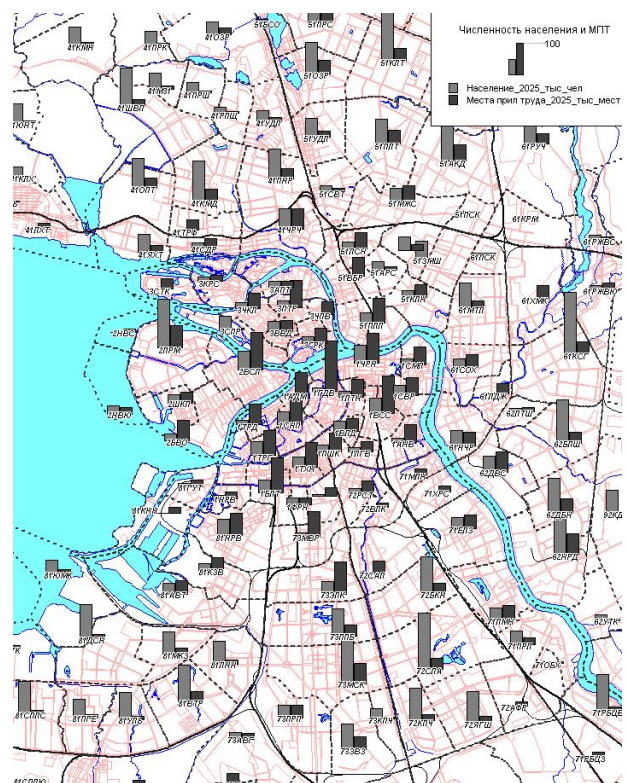


Рисунок 4 – Прогнозное распределение населения и мест приложения труда по транспортным районам в соответствии с Генеральным планом С.-Петербурга

Помимо указанной выше информации во входном информационном массиве модели могут использоваться данные социологических обследований населения, по результатам которых можно получить информацию о структуре целевых передвижений, предпочтениях населения при выборе способа передвижений, уровне подвижности населения на индивидуальном и общественном транспорте и т. д.

Исходные информационные массивы транспортных моделей также содержат блок общих параметров, описывающих основные закономерности формирования транспортных потоков. К таким параметрам относятся, например, зависимость скорости движения от величины потока, параметры функции тяготения и т. д.

В целях получения достоверных результатов моделирования для решения транспортно-градостроительных задач необходимо провести калибровку модели современного состояния транспортной системы по результатам натурных и социологических обследований, а также иной информации («модель базового года»). Калибровка модели проводится как на уровне интегральных показателей функционирования транспортной системы (статистика по средним затратам времени на передвижение, средним скоростям, данные по суммарным пассажирооборотам по видам ГОТ, интегральные результаты социологических опросов и т. д.), так и на уровне объектных параметров (данные по интенсивности автомобильных и пассажирских потоков, пассажирообороты узлов и т. д.). По результатам калибровки уточняются параметры входного информационного массива модели, используемые для всего цикла модельных расчетов в рамках конкретного проекта. Опыт моделирования показывает, что оптимальной стратегией является двухэтапная схема калибровки: на первом этапе калибруются интегральные показатели, на втором – объектные.

Калибровка на уровне интегральных показателей – это контроль ряда параметров, характеризующих работу транспортной системы в целом или ее укрупненных составных частей. Процедура калибровки состоит в итеративном изменении параметров модели для выявления оптимальных значений параметров по критерию соответствия достоверным интегральным параметрам функционирования транспортной системы. Калибровка модели на этом уровне состоит из следующих этапов: анализ достоверных интегральных параметров функционирования транспортной системы; выбор калибруемых параметров и принятие их величины на основании предыдущего опыта моделирования; проведение серии расчетов потоков с назначением калибруемых параметров с некоторым шагом вокруг принятого значения; сравнение результатов моделирования с достоверными данными; определение значений калибруемых параметров.

Следует отметить, что количество калибруемых параметров определяется числом применяемых для калибровки критериев, набор которых ограничен числом взаимосвязанных моделей, используемых в рамках проекта.

На уровне объектных показателей калибровка осуществляется путем подбора и корректировки параметров улично-дорожной сети, сети общественного пассажирского транспорта, а также транспортных районов для достижения достоверных значений транспортных и пассажирских потоков на сети, а также на перегонах и пересадочных узлах внеуличного транспорта. Помимо подбора значений численных характеристик на данном этапе возможна также корректировка топологии сети и «привязок» транспортных районов. Нужно отметить, что если задача калибровки на уровне интегральных показателей может решаться как в ручном, так и в автоматическом режиме, то калибровка локальных показателей требует работы эксперта, который сможет правильно оценить реакцию модели на изменения парамет-

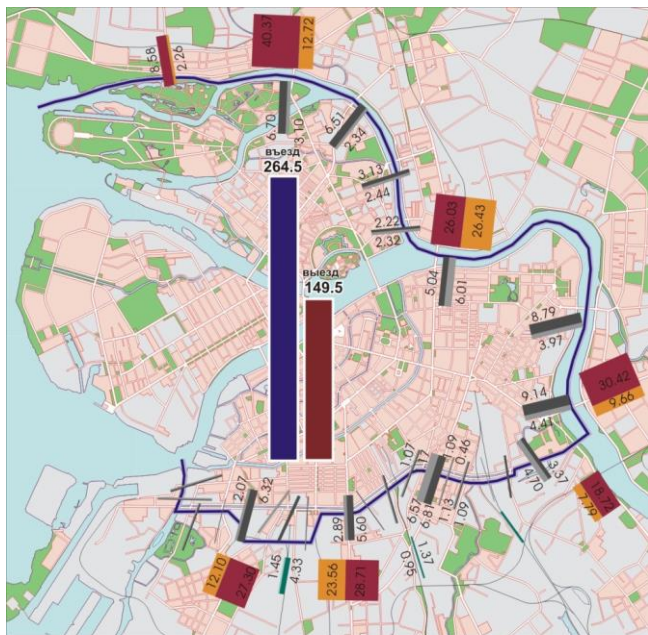
ров конкретных элементов сети. Выбор же методики обследования для получения необходимой информации для калибровки основывается на достижении требуемого уровня точности с учетом допущений, принятых при формировании модели. При всех методах обследования для уменьшения трудоемкости сбора необходимо максимально ограничивать объем получаемой первичной информации, обеспечивая в то же время достаточную степень достоверности и надежности получаемых результатов.

Наиболее ценную комплексную информацию для калибровки можно получить при организации тотальных исследований транспортного поведения населения города. Например, в 1970 году единственный раз при проведении переписи населения в опросные листы была включена форма, фиксировавшая трудовые передвижения между местами жительства и работы, что позволило в то время получить детальную информацию о составе и количественных характеристиках межрайонных корреспонденций. В последние годы активно внедряются технологии автоматического контроля автотранспортных и пассажирских потоков, например, сбор информации об автомобильных потоках путем установки специальных датчиков на улично-дорожной сети, отслеживание всех входящих пассажиров с использованием валидаторов и т. д. В ряде стран в качестве источника информации для калибровки модели используются данные сотовых операторов, что позволяет не только получить информацию о распределении населения (эта информация используется для формирования исходного массива модели), но и сразу построить достоверную матрицу ежедневных передвижений; в России применение такого подхода находится в начальной стадии.

Как показывает практика, для исследования интенсивности автомобильных и пассажирских потоков в целях калибровки модели города (агломерации) эффективно использование результатов обследования, проводимого одновременно на всех видах транспорта вдоль протяженных границ крупных планировочных зон города. При этом посты обследования организуются на всех входах, пересекающих указанные границы, включая железные дороги и метрополитен. Преимущество такого метода заключается в том, что при сравнительно небольших затратах можно получить суммарный объем автомобильных и пассажирских корреспонденций между укрупненными зонами (центр города, ядро агломерации, пригородная зона) [7–9].

Результатом обследования автомобильных потоков при таком подходе являются объемы автомобильных перевозок по типам транспортных средств. Результатом обследования пассажиропотоков являются объемы пассажироперевозок, осуществляемых пригородным железнодорожным транспортом, метрополитеном, наземным пассажирским транспортом, а также индивидуальным автомобильным транспортом (рисунок 5).

В дополнение к натурному обследованию в ряде случаев целесообразно предпринимать социологические исследования потребности жителей в использовании индивидуального и городского пассажирского транспорта [1, 10].



Пассажирские потоки, тыс. пасс. в среднemaxимальный утренний час

■	въезд в центр на метрополитене	■	въезд в центр по ж.д.
■	выезд из центра на метрополитене	■	выезд из центра по ж.д.
■	выезд в центр на наземном транспорте		
■	выезд из центра на наземном транспорте		
—	граница центра Санкт-Петербурга		

Рисунок 5 – Картограмма результатов комплексного обследования пассажиропотоков на границе центра С.-Петербурга

Например, такое исследование, проведенное в рамках разработки Генерального плана С.-Петербурга, было основано на домашнем интервьюировании респондентов, распределенных по территории города и пригородов согласно принципам квотной выборки в соответствии с пространственным распределением населения и его половозрастной структуры.

Получено 11.10.2021

S. U. Skirkouski, D. V. Kapski, L. A. Losin. Modeling of the functional and planning structure of the city.

The article considers options for zoning the city – creating this functional and planning structure that would take into account its transport needs and ensure its sustainable development and its transformation into a symbiotic agglomeration.

Список литературы

1 **Капский, Д. В.** Транспорт в планировке городов : пособие : в 10 ч. / Д. В. Капский, Л. А. Лосин. – Минск : БНТУ, 2019. – Ч. 1: Транспортное планирование: математическое моделирование. – 94 с.

2 **Алаев, Э. Б.** Социально-экономическая география. Понятийно-терминологический словарь / Э. Б. Алаев. – М. : Мысль, 1983. – 350 с.

3 **Ваксман, С. А.** Социально-экономические проблемы прогнозирования развития систем массового пассажирского транспорта в городах / С. А. Ваксман. – Екатеринбург : Изд-во УрГЭУ, 1996. – 289 с.

4 **Питтель, Б. Г.** Случайное размещение с ограничениями и принцип максимума взвешенной энтропии / Б. Г. Питтель // Доклады Академии наук СССР. – 1972. – Т. 207, № 6. – С. 1281–1283.

5 **Капский, Д. В.** Методология повышения качества дорожного движения : [монография] / Д. В. Капский. – Минск : БНТУ, 2018. – 372 с.

6 **Булычева, Н. В.** Методы восстановления матриц межрайонных корреспонденций / Н. В. Булычева, Л. А. Лосин // Региональная экономика и развитие территорий : сб. науч. ст. / ФГБУН «Институт проблем региональной экономики», НИУ ВШЭ. – СПб. – 2018. – № 1 (12). – С. 192–200.

7 **Швецов, В. И.** Математическое моделирование загрузки транспортных сетей / В. И. Швецов, А. С. Алиев. – М. : URSS, 2003. – 64 с.

8 **Лосин, Л. А.** Опыт математического моделирования при разработке транспортных разделов генеральных планов городов / Л. А. Лосин // Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния : материалы XIV Междунар. науч.-практ. конф. – Екатеринбург : АМБ, 2008. – С. 94–97.

9 **Лосин, Л. А.** Петербургский опыт построения информационно-программного комплекса для решения транспортно-градостроительных задач / Л. А. Лосин // Социально-экономические проблемы развития и функционирования транспортных систем городов и зон их влияния : материалы XXIII Междунар. науч.-практ. конф. – Минск : БНТУ, 2017. – С. 88–95.

10 **Транспортное моделирование и оценка условий дорожного движения с использованием навигационной информации : [монография] / Д. В. Капский [и др.]. – Минск : Капитал Принт, 2018. – 144 с.**