

**Гончаров Р. В., Сапанов П. М., Яшунский А. Д.
Сопоставление фактической и когнитивной
доступности городского пространства
на примере г. Витебск**

Идея предлагаемого ниже исследования возникла в контексте продолжающихся уже несколько лет на кафедре СЭГЗС географического факультета МГУ работ по исследованию и районированию городского пространства с активным использованием полевых данных. В рамках общей схемы, получившей название «дифференциация городского пространства» (ДГП) [4], исследуются и картографируются различные аспекты городского пространства, что позволяет впоследствии зонировать город, а затем и выделять интегральные районы.

Одним из факторов, которому традиционно уделялось достаточно большое внимание при ДГП, является транспортная доступность различных частей города. В изначальном варианте методики ДГП этот фактор предполагалось оценивать экспертно. Однако, такой подход редко приводит к точным и достоверным оценкам. В качестве альтернативы для экспертной оценки рассматривались опросы населения, направленные на оценку обеспеченности транспортом различных точек города. «Экспертному» и «опросному» способам получения данных об обеспеченности транспортом мы можем противопоставить способы, которые можно условно отнести к «расчетным». К ним относятся различные индексы, применяемые в городском и транспортном планировании, для оценки обеспеченности территории общественным транспортом (см., например, [10]). В отличие от «экспертных» и «опросных» оценок, упомянутые индексы непосредственно используют статистические данные об устройстве сети, скорости и частоте движения общественного транспорта.

Оценивая доступность городского пространства, мы, помимо общественного транспорта, учитывали также и возможность пешего перемещения по городу, однако намеренно отказались от учета перемещений на личном автотранспорте. Подобный выбор, конечно, должен делаться для каждого города индивидуально. В нашем случае для г. Витебск по итогам наблюдений в городе он выглядел оправданным: общественный транспорт явно являлся предпочтительным способом перемещения на большие расстояния для большинства жителей (хотя по официальной статистике автомобилизация Витебской области составляет примерно 1 автомобиль на 4 человека [6]).

Целью исследования являлось сопоставление двух методов оценки доступности городского пространства: метода, использующего опросы населения, с методом, опирающимся на расчетные показатели. Далее в тексте мы будем говорить о *когнитивной транспортной доступности*, подразумевая под ней результаты опросов, и о *фактической транспортной доступности*, понимая ее как данные о доступности различных частей города, полученные в результате математического моделирования, учитывающего устройство городской транспортной сети.

Для того, чтобы результаты двух методов были сопоставимыми, они должны быть представлены в одинаковой форме. В качестве сопоставимого показателя, который может быть получен как путем опросов, так и с помощью моделирования мы выбрали *время в пути* между различными точками города. Способом сопоставления этого показателя было выбрано построение карт изохрон. Для заданной точки А в пространстве *изохрона* есть линия, состоящая из точек, от которых время в пути до точки А одинаково. Изохроны строились относительно некоторого количества точек города (*реперов* или *реперных точек*) с одной стороны по данным опросов, а с другой стороны – по расчетными данным.

Для того, чтобы иметь возможность строить карты изохрон, необходимо было решить задачи сбора данных, а именно – провести опросы населения и построить модель сети городского транспорта. Сравнивая не только результаты, но и трудоемкость двух методов, по-видимому, надо признать, что построение модели сети городского транспорта «с нуля» или почти «с нуля» (т.е. основное преимущественно на полевых данных) оказывается более трудозатратным, нежели проведение опросов. Естественно, что при наличии уже готовых данных об устройстве сети городского транспорта, этой части работы можно избежать, или существенно ее сократить. Однако, если смотреть на проделанное исследование

с методической точки зрения, проведенная полевая работа доказывает осуществимость подобного полевого исследования и служит источником рекомендации по способам его выполнения. Кроме того, получаемая в результате сбора данных модель содержит заведомо больше информации, чем данные, собранные в результате опросов и позволяет не только строить изохроны, необходимые для сопоставления с результатами опросов, но и, например, вычислять интегральные показатели обеспеченности общественным транспортом (см. [9, 10]).

В качестве полигона для проведения исследования был взят город Витебск в республике Беларусь. Выбор этого города был обусловлен преимущественно факторами технического характера. Разрабатывая подходы, которые впоследствии хотелось бы применять к произвольному городу, мы были заинтересованы в том, чтобы, с одной стороны, исследуемый город был достаточно разнообразным, чтобы можно было отработать различные аспекты будущих исследований, а с другой стороны – не обладал слишком ярко выраженными индивидуальными особенностями, которые могли бы помешать позже использовать методические наработки исследования.

Общественный транспорт Витебска представлен автобусами, троллейбусами, трамваями и маршрутными такси: столь большое разнообразие является редкостью для городов схожего размера (население Витебска 370 тыс. чел. на 1 января 2013 г.), что стало одной из основных причин выбора этого города. Было учтено, что сеть витебского общественного транспорта все еще не отображена в интернет-сервисах Яндекс и Google (для большинства городов России сервисы «Яндекс-Общественный транспорт» и реже «Гугл-Общественный транспорт» позволяют рассчитывать время в пути между точками города) – это оправдывало необходимость проведения полевых исследований сети общественного транспорта города.

Методики сбора данных

С помощью опросов изучалась когнитивная доступность некоторого множества реперных точек города. Они были выбраны нами заранее исходя из двух критериев: общеизвестность для горожан и относительная равномерность их распределения в городском пространстве. Реперные точки – это исключительно вспомогательный каркас исследования, его внутренняя опорная структура, позволяющая сделать когнитивную и фактическую части сравнимыми. В качестве реперных были выбраны следующие точки Витебска: Парк Советской Армии, железнодорожный вокзал,

амфитеатр, завод «Витязь», Марковщина (район города), детская колония, завод «ВИЗАС» (см. рис. 1).

Всего в рамках исследования было опрошено 637 респондентов. Опросный лист состоял из пяти блоков:

Технический – для возможности точного позиционирования места проведения каждого опроса (с учетом фиксирования каждого маршрута с помощью GPS-приемника) в данном блоке записывалось точное время проведения опроса.

Социально-демографический – вопросы о возрасте, поле, семейном положении, социальном статусе («белый», «синий» воротничок или пенсионер).

Способы передвижения по городу – как именно и как часто люди передвигаются по городу. Мы спрашивали о частоте передвижений пешком, а также использования велосипеда, такси, личного автомобиля и общественного транспорта.

Вопросы о восприятии расстояния – нас интересовало приблизительное время (в минутах), которое потребовалось бы респонденту (по его оценке), чтобы добраться до семи «реперных» точек с места проведения опроса.

Вопросы о частоте посещения респондентом реперных точек. Мы приняли за данность, что чем чаще респондент бывает



Рис. 1. Реперные точки в г. Витебск

Составлено авторами по данным полевых исследований.

в указанных «реперных» точках, тем выше должна быть его компетенция в оценке «времени доезда».

Важным моментом в методике проведения опросов была их географическая привязка. Для ее осуществления при проведении опроса фиксировалось время проведения опроса. Это позволило затем автоматически «привязать» каждый опрос к точке в пространстве, поскольку перемещения опрашиваемых фиксировались с помощью приемников системы глобального позиционирования (СПП, Global Positioning System – GPS).

Для моделирования системы общественного транспорта использовалась модель ориентированного графа [5]. В роли вершин графа выступали остановки маршрутов общественного транспорта, а ребра соответствовали возможным перемещениям транспорта от одной остановки до другой. При создании и работе с моделью использовалась следующая система понятий (большинство из них впоследствии воплотились в геоинформационной системе в виде объектов или их атрибутов). С каждым маршрутом общественного транспорта (ОТ) связывался *тип* общественного транспорта (автобус, троллейбус, трамвай, маршрутное такси) и *номер маршрута*. В рамках каждого маршрута выделялись *направления*, при этом считалось, что у кольцевых маршрутов есть только одно направление. *Остановкой* маршрута ОТ считалась точка, в которой некоторым маршрутом при движении в некотором направлении осуществляется посадка и высадка пассажиров. При этом если несколько маршрутов осуществляли посадку/высадку пассажиров в одной и той же точке пространства, это рассматривалось как несколько *различных* остановок. То есть, каждой остановке (в том смысле, как мы ее понимаем) были однозначно приписаны тип, номер маршрута и направление того транспорта, который на ней останавливается. Все остановки внутри одного направления маршрута ОТ были расставлены в порядке прохождения их этим маршрутом и каждой присвоен порядковый номер. Помимо этих параметров с каждой остановкой связывалось *время в пути* до следующей остановки на маршруте в рамках данного направления. Выделялись *конечные остановки* направления с наибольшим порядковым номером внутри направления. Для описания связи между различными маршрутами ОТ с каждой остановкой также связывался пространственный идентификатор – номер, присваиваемый таким образом, что расположенные рядом (на расстоянии менее 100 м друг от друга) остановки получали один и тот же идентификатор. Впоследствии этот идентификатор использовался для описания возможности пересадки с одного вида транспорта на другой.

Для создания модели ОТ использовалась как информация, предоставленная предприятиями общественного транспорта (на страницах сети интернет или непосредственно), так и информация, собранная «в поле».

При исследовании Витебска использовались расписания общественного транспорта, имеющиеся на сайтах автобусного парка [8] и трамвайно-троллейбусного управления [2], а также информация о маршрутных такси города, полученная непосредственно от городских властей.

Полевые исследования сети ОТ включали в себя следующие этапы:

1. Картографирование остановок ОТ. (Правильно сформированное множество остановок является крайне важным для дальнейшего моделирования. Проведенные нами ранее эксперименты показали, что использование для этого источников данных, отличных от полевых наблюдений, порождает проблемы согласования данных, трудоемкость решения которых превышает трудоемкость сбора и обработки полевых данных).

2. Маршрутные наблюдения «на борту» общественного транспорта с фиксированием времени прохождения остановок.

3. Стационарные наблюдения на остановках с фиксированием для проходящих через остановку единиц ОТ времени прохождения и бортового номера.

Помимо моделирования сети ОТ, также осуществлялось моделирование пеших перемещений по городу. Для этого использовалась информация о дорожной сети проекта OpenStreetMap [11].

Методики обработки данных

Собранные в результате опросов данные, привязанные к географическим координатам, образовали для каждой из реперных точек поле значений на территории города. С каждой точкой опроса было связано время в пути до реперных точек. Для каждой реперной точки соответствующее поле значений было интерполировано с помощью геоинформационных инструментов (использовалась интерполяция по методу IDW – Inverted Distance Weighted – обратное взвешенное расстояние).

Правомочность подобной интерполяции, вообще говоря, не очевидна, поскольку, в отличие от расчетных значений, когнитивное поле времени в пути может быть дискретным. Гипотеза о непрерывности хотя бы в первом приближении представляется нам допустимой в силу выбора в качестве реперных широко известных точек города. Представляется разумным предположить, что в двух

опросных точках расположенных неподалеку, различия в ответах о времени в пути до некоторого репера должны быть минимальными. Подобное предположение вряд ли было бы правомочным, если бы опрос проводился в реперной точке, а респондентам предлагалось оценить время в пути до каких-то случайных точек на карте города.

Итогом интерполяции опросных данных стали картосхемы изохрон относительно реперных точек, отображающие когнитивную доступность реперов. Примеры таких картосхем для железнодорожного вокзала и района Марковщина приведены на рисунках 2 и 3. На картосхемах заштрихованы области, расположенные слишком далеко от точек проведения опросов, чтобы результаты интерполяции в них могли считаться достоверными.

Собранная информация о системе ОТ города была превращена в наборы данных для геоинформационной системы (ГИС). Каждая остановка превратилась в элемент точечного слоя ГИС, атрибуты которого содержали информацию о типе транспорта, номере маршрута, номере направления, порядковом номере остановки внутри направления.

Собранные из различных источников данные о времени в пути между различными остановками были проанализированы, осреднены и также приписаны точкам остановок в виде атрибутов. Решение об использовании расписаний в качестве одного из источников данных было принято после того, как данные полевых наблюдений были сопоставлены с расписаниями, и было установлено, что отклонения от расписания носят характер близкий к случайному, имеют распределение с близким к нулю средним, а подавляющее большинство отклонений не превышает четыре минуты. Отметим, что соблюдение ОТ расписаний в нашем исследовании вряд ли можно считать доказательством того, что ОТ всегда следует расписанию – это противоречило бы формальной логике. В случае применения подобной методики для других городов и их систем ОТ, решение об использовании расписаний ОТ в качестве исходных данных должно каждый раз приниматься с учетом специфики исследуемой системы.

Из расписаний ОТ, маршрутных и стационарных наблюдений был получен массив данных о времени в пути между парами остановок (не обязательно соседних на маршруте) для различных видов, маршрутов и направлений ОТ. Для каждой тройки вид – направление – маршрут данные о времени в пути между остановками были осреднены с использованием метода наименьших квадратов [3, с. 57–70]. Полученное таким образом значение было приписано точкам остановок в качестве атрибута – время в пути до следую-

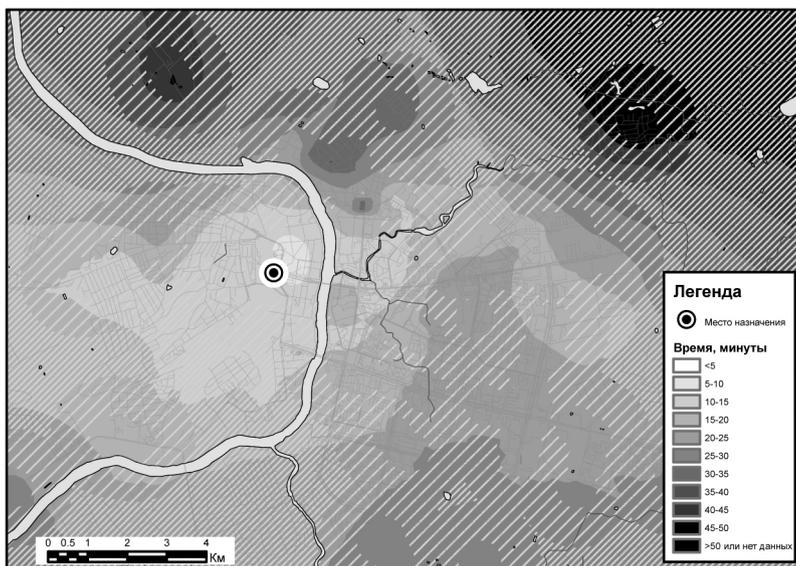


Рис. 2. Изохроны относительно железнодорожного вокзала, построенные по данным опросов
Составлено авторами по данным полевых исследований.

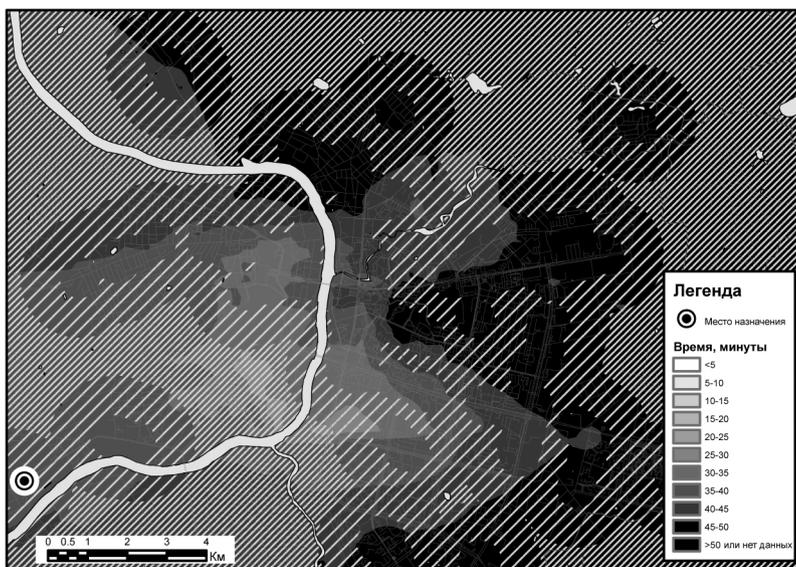


Рис. 3. Изохроны относительно района Марковщина, построенные по данным опросов
Составлено авторами по данным полевых исследований.

щей остановки. На основании расписаний и стационарных наблюдений было также рассчитано среднее время ожидания транспорта для каждой из остановок.

Наконец, остановкам были приписаны пространственные идентификаторы, учитывающие их взаимное расположение.

Точечный слой остановок был использован для порождения линейного слоя ребер графа: каждая остановка внутри заданного направления маршрута ОТ была соединена линией со следующей остановкой в направлении, и этой линии было приписано соответствующее время в пути. Полученный таким образом граф был дополнен ребрами, полученными из дорожной сети: для ребер дорожной сети время перемещения по ним рассчитывалось исходя из их длины и скорости пешего перемещения 1,5 м/с. Наконец, граф дорожной сети и граф ОТ были соединены между собой специальными ребрами, которым было приписано время ожидания ОТ.

Этот граф использовался далее для расчетов времени в пути между произвольными точками города. Построение карт изохрон осуществлялось путем расчета по построенному графу времени в пути между реперными точками, и равномерной сеткой точек, покрывающей город, с последующей интерполяцией значений.

Примеры расчетных изохрон, полученных в результате тематического моделирования приведены на рисунках 4 и 5.

Сопоставление результатов

Для удобства сопоставления результатов были построены карты разностей изохрон (см. рис. 6 и 7). На них показаны области, в которых когнитивные оценки времени в пути оказались завышенными или заниженными. Подобные картосхемы были построены для всех реперных точек: мы приводим здесь лишь наиболее показательные из них.

На примере ж/д вокзала (рис. 6) можно видеть, что, вероятно в силу специфики объекта, расхождение между когнитивной и фактической доступностью объекта почти на всей территории города не превышает десяти минут. Вокзал является практически идеальным калибровочным объектом: общеизвестно не только его положение, но и время в пути до него, причем с достаточно высокой точностью. Таким образом продемонстрировано, что существуют объекты, для которых два метода получения изохрон дают согласованные результаты, а значит есть предпосылки для того, чтобы искать причины расхождений изохрон для других реперных точек в самой природе точек, а не в погрешностях методов.

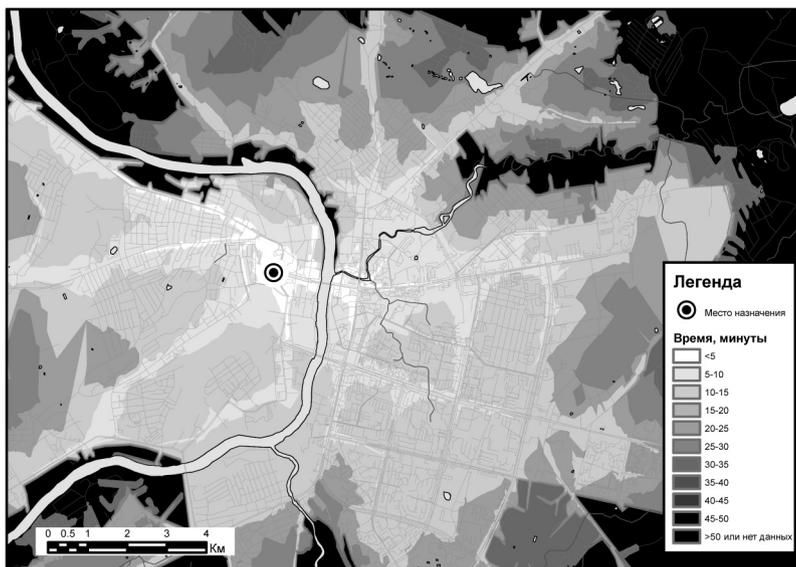


Рис. 4. Изохроны относительно железнодорожного вокзала, построенные по данным расчетов
Составлено авторами по данным полевых исследований.

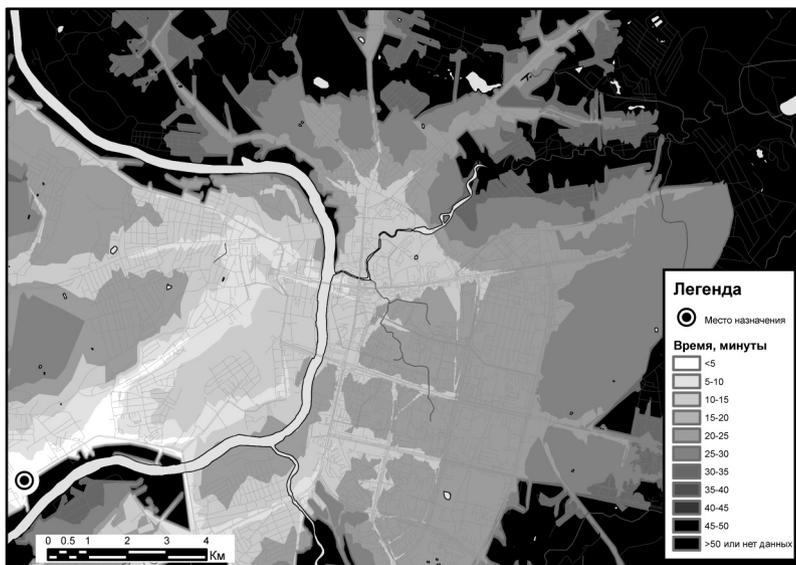


Рис. 5. Изохроны относительно района Марковщина, построенные по данным расчетов
Составлено авторами по данным полевых исследований.

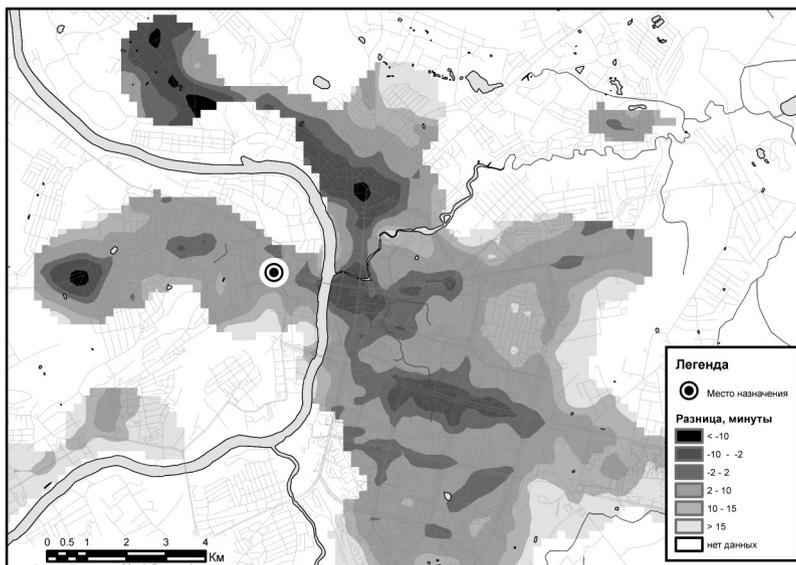


Рис. 6. Разность изохрон для железнодорожного вокзала
Составлено авторами по данным полевых исследований.

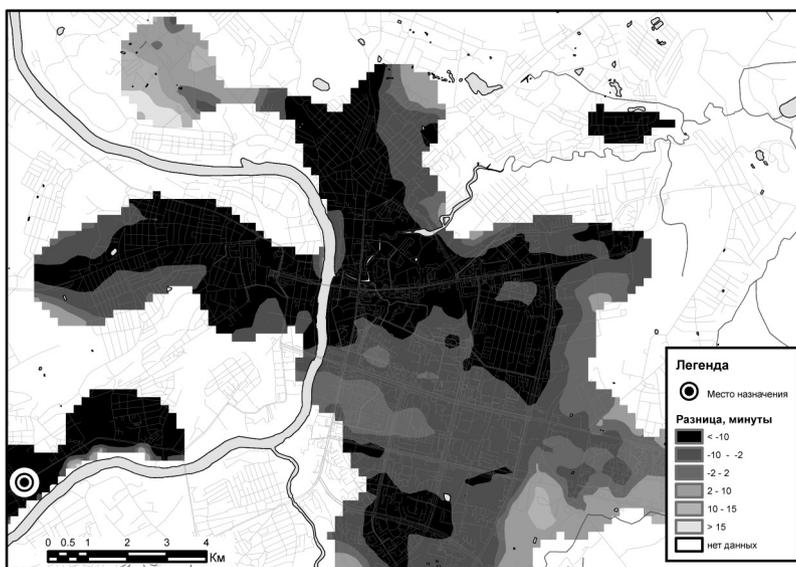


Рис. 7. Разность изохрон для района Марковщина
Составлено авторами по данным полевых исследований.

Наиболее впечатляющим примером различия когнитивной и фактической доступности реперной точки является район Марковщина. Как можно видеть из рисунке 7, расстояние до этой реперной точки оказывается переоцененным на большинстве территории города.

Фактически, район оказывается «медвежьим углом», который в сознании местных жителей находится за пределами далеко, в то время как в действительности район в достаточной мере обеспечен общественным транспортом и достижим из других районов города за приемлемое время.

Заключение

Полученные результаты позволяют утверждать следующее: использование опросов для выявления транспортной обеспеченности районов города возможно постольку, поскольку в городе есть удобные реперные точки. Результаты такого исследования оказываются неизбежно привязанными к этим реперам и, как следствие, дают заведомо неполную картину.

Математическое моделирование ценой бóльшей трудоемкости позволяет получить существенно более полную, и, по-видимому, более точную картину. Трудоемкость такого моделирования, естественно, снижается в случае, если для составления графа маршрутов ОТ нет необходимости проводить все или часть полевых мероприятий – например, если доступные детальные данные о сети ОТ уже имеются.

Наиболее интересные результаты, имеющие, в том числе, и практическое применение, получаются из сопоставления результатов двух способов получения информации (опросы и математическое моделирование). При этом выявляются не только районы, недостаточно обеспеченные транспортом, но и, как показывает пример Марковщины, районы, у которых для полноценного вхождения в городское пространство недостает имиджевой составляющей, а вовсе не транспортных коммуникаций.

Литература

1. Витебская область / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. URL: http://belstat.gov.by/homep/ru/indicators/regions_annual_data/vitebsk.pdf (дата обращения 15.03.2013).
2. Витебское трамвайно-троллейбусное управление. URL: <http://vttu.by> (дата обращения 15.03.2013).
3. *Колмогоров А.Н.* К обоснованию метода наименьших квадратов // Успехи математических наук. 1946. Т. 1. Вып. 1. С. 57–70.

4. Методика изучения дифференциации городского пространства российского города (на примере гг. Ставрополь и Пятигорск Ставропольского края) / Н.О. Аржакова, А.А. Беляев, Д.И. Бирюкова, Е.С. Гусева, Д.С. Елманова, Ю.Ф. Кельман, Ф.А. Попов, М.Е. Савлов, А.Д. Сахаров, Е.Д. Сахарова // Материалы докладов XV Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов». География. Подсекция «Экспедиционные исследования» URL: http://conf.msu.ru/archive/Lomonosov_2008/05_8.pdf
5. *Михеева В.С.* Математические методы в экономической географии. Ч. II. Приложения теории графов. Курс лекций. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1983. –177 с.
6. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. URL: <http://belstat.gov.by/index.htm> (дата обращения 15.03.2013).
7. Транспорт и связь: изучаем Беларусь / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. URL: http://belstat.gov.by/homep/ru/indicators/statistics_for_schoolers/12.pdf (дата обращения 15.03.2013).
8. Филиал «Автобусный парк № 1 г. Витебска» ОАО «Витебскоблавтотранс». URL: <http://www.ap1vitebsk.by> (дата обращения 15.03.2013).
9. *Gent C., Symonds G.* Advances in public transport accessibility assessments for development control // A proposed methodology. PTRC Annual Transport Practitioners' Meeting, 2005. URL: http://www.capita-symonds.co.uk/uploaded_files/documents/56_1083_D1JPTRCpaper.pdf (дата обращения 15.03.2013).
10. Mamun Md. Sh., Lownes N.E. A Composite Index of Public Transit Accessibility // Journal of Public Transportation. 2011. Vol. 14. № 2. URL: <http://www.nctr.usf.edu/wp-content/uploads/2011/07/JPT14.2Mamun.pdf> (дата обращения 15.03.2013).
11. OpenStreetMap. Свободная вики-карта мира. URL: <http://www.openstreetmap.org> (дата обращения 15.03.2013).