

Определение границ городских агломераций на основе анализа суточной неравномерности интенсивности транспортных потоков



М. Р. Якимов,
д-р техн. наук, директор
Института транспортно-
го планирования Российской
академии транспорта,
член Общественного совета
при Ространснадзоре

Предлагаемая оригинальная методика пространственной идентификации границ городских агломераций в отличие от традиционных подходов, базирующихся на административно-территориальном или демографическом зонировании, опирается на параметры маятниковой миграции населения с трудовыми целями.

Развитие городских агломераций становится все более значимым направлением как в области транспортного планирования, так и в градостроительстве. Однако одной из основных проблем при исследовании агломерационных процессов остается отсутствие формализованного и общепринятого определения городской агломерации. Это затрудняет разработку единой методологической базы, необходимой для анализа и управления пространственным развитием территорий.

Дополнительную сложность представляет собой междисциплинарный характер рассматриваемой проблематики: вопросы формирования и функционирования агломераций находятся на стыке урбанистики и транспортной науки. В связи с этим особую актуальность приобретают подходы, ориентированные на анализ фактического транспортного поведения населения. Преобладающая точка зрения в современной научной среде заключается в том, что границы агломерации должны определяться не административно, а на основе анализа устойчивых ежедневных транспортных связей между центром и периферией.

Такой подход позволяет зафиксировать реальную структуру расселения и трудовой миграции, выявляя населенные пункты, тесно интегрированные в функциональное пространство города, являющегося центром городской агломерации.

С учетом введенного определения можно сформулировать следующие принципы и подходы к определению городских агломераций:

1. Территория городских агломераций определяется не через проведение ее границ на местности или карте, а лишь посредством перечисления тех населенных пунктов, которые входят в состав агломерации.

2. Каждый населенный пункт, входящий в городскую агломерацию со своими границами, определяет часть общей ее границы.

Основа принципа определения городских агломераций состоит, прежде всего, в исследовании маятниковой трудовой миграции населения к центру агломерации, наблюдаемой и в пиковые часы, и в межпиковое время. Так, в утренний час пик жители территории, прилегающей к центру агломерации, перемещаются в направлении центра, в вечерний час пик — в обратном направлении [1–3].

Ежедневная маятниковая миграция с трудовыми целями представляет собой регулярное перемещение населения между местами проживания и приложения труда. Этот процесс выражается в цикличной динамике изменения интенсивности транспортных потоков, характер которых можно наблюдать в два ключевых периода: в утренний и вечерний часы пик.

Между тем возможна ситуация, когда на графике суточной неравномерности транспортных потоков не-

возможно определить характерные пиковые периоды (рис. 1). Такая ситуация возможна на участках улично-дорожной сети, через которые в дневное время реализуется большая доля деловых, культурно-бытовых и других типов транспортных корреспонденций, связанных с циклом жизнедеятельности жителей. Такой график суточной неравномерности характерен для центра городской агломерации, а также для территории за пределами ее границ [3–5].

Для территории непосредственно в границах городской агломерации график суточной неравномерности имеет четко выраженные пиковые периоды. Для направления движения к центру на графике четко выражен утренний пик, который обычно приходится на период 7:00–9:00. На рис. 2 представлен характерный график суточной неравномерности интенсивности транспортных потоков в направлении движения к центру городской агломерации, на котором пик интенсивности транспортных потоков смещен на утренние часы.

Аналогично для территории непосредственно в границах городской агломерации вечерний час пик характеризуется обратным направлением потоков — жители пригородов возвращаются домой из центра. Вечерний час пик обычно приходится на временной интервал 17:00–19:00. На рис. 3 представлен характерный график суточной неравномерности интенсивности транспортных потоков в направлении движения из центра, на котором пик интенсивности транспортных потоков смещен на вечерние часы.

Представленные типы графиков дневной неравномерности интенсивности транспортных потоков характерны для определенных видов территорий и направлений движения. Анализ таких графиков позволяет сделать вывод о характеристиках транспортного спроса, реализуемого на данных участках улично-дорожной сети и оценить долю маятниковых трудовых транспортных корреспонденций в структуре транспортного спроса.

Представлен подход к определению границ городских агломераций без проведения анализа взаимодействия характеристик территорий, таких как распределение по этой террито-



Рис. 1. Схематическое изображение характерного графика суточной неравномерности интенсивности транспортных потоков без пиковых периодов

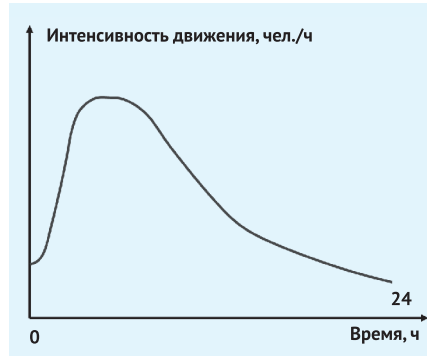


Рис. 2. Схематическое изображение характерного графика суточной неравномерности интенсивности транспортных потоков в направлении движения к центру городской агломерации

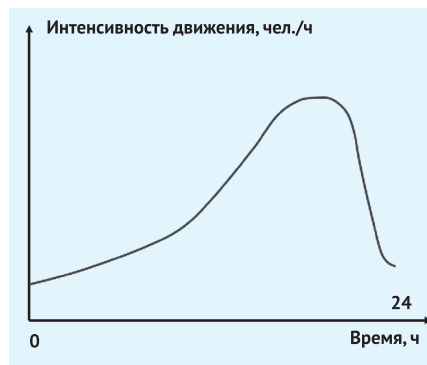


Рис. 3. Схематическое изображение характерного графика суточной неравномерности интенсивности транспортных потоков в направлении движения из центра городской агломерации

рии населения, рабочих мест или зарегистрированного автомобильного транспорта. В основе настоящей методики лежит оценка доли ежедневной маятниковой миграции населения с трудовыми целями в процессе реализации своих транспортных корреспонденций, исходя из свойств наблюдаемой дневной неравномерности интенсивности транспортных и пассажирских потоков [6, 7].

Технология определения границ городской агломерации

Технология определения границ городской агломерации основана на следующих принципах:

- состав городской агломерации определяется через анализ суточной неравномерности транспортных или пассажирских потоков на подъездах к центру агломерации;
- ярко выраженная суточная неравномерность интенсивности транспортных или пассажирских потоков на любых транспортных связях между населенным пунктом и центром агломерации определяет принадлежность данного населенного пункта к городской агломерации;
- отсутствие ярко выраженной суточной неравномерности интенсивности транспортных или пассажирских потоков на любых транспортных связях между населенным пунктом и центром городской агломерации свидетельствует о том, что данный населенный пункт находится за ее границами.

Для демонстрации принципов предлагаемой технологии на рис. 4 представлена схема определения границ на примере Пермской и Казанской городских агломераций. На схеме изображена транспортная связь между Пермью и Казанью, по которой осуществляется реализация транспортных корреспонденций с различ-

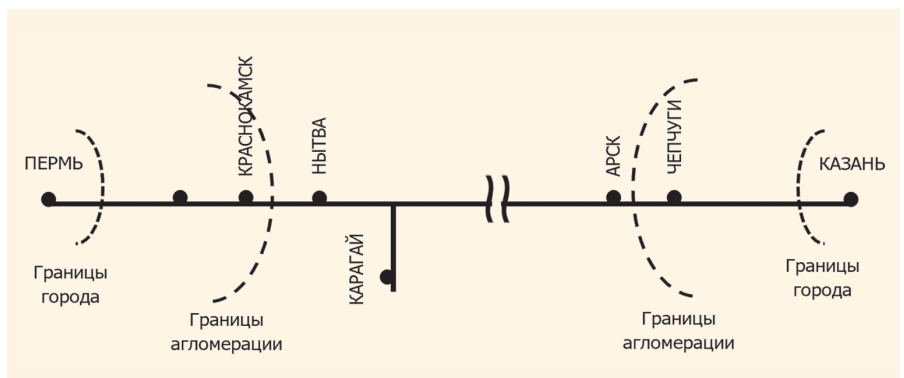


Рис. 4. Схема определения границ городских агломераций на примере Пермской и Казанской агломераций

ными целями. При этом часть населенных пунктов, расположенных вдоль данной транспортной связи, попадает в Пермскую или Казанскую городскую агломерацию. Необходимо установить, какие именно населенные пункты попадают в состав городской агломерации, а какие не попадают.

Рассмотрим схему городской агломерации с двумя транспортными связями (автомобильными дорогами), выходящими из центра агломерации (рис. 5).

На рис. 5 обозначен центр городской агломерации, а также населенные пункты, расположенные на автомобильных дорогах, следующих из центра. Для каждого участка транспортной связи (автомобильной дороги) между двумя соседними населенными пунктами введем два параметра: интенсивность движения транспортных потоков в направлении центра городской агломерации, интенсивность движения транспортных потоков в направлении из центра.

Для интенсивности транспортных потоков в направлении центра введем обозначение, где i – номер направления (автомобильной дороги); j – порядковый номер населенного пункта, считая от центра агломерации. Для интенсивности транспортных потоков в направлении из центра городской агломерации введем обозначение.

На рис. 5 значения индекса i изменяются в диапазоне от 1 до 2, так как на представленной схеме представлено два направления (автомобильной дороги), следующих из центра агломерации. Индекс j принимает значения от 1 до 3, что соответствует количеству населенных пунктов на данном направлении (автомобильной дороги).

Графики дневной неравномерности интенсивности движения транспортных потоков для автомобильных дорог между населенными пунктами будут отличаться в зависимости от расположения населенного пункта относительно границ городской агломерации. Возможны три варианта расположения: в границах центра агломерации, в границах агломерации, вне границ агломерации.

Для оценки принадлежности населенного пункта к городской агломерации необходимо оценить нерав-

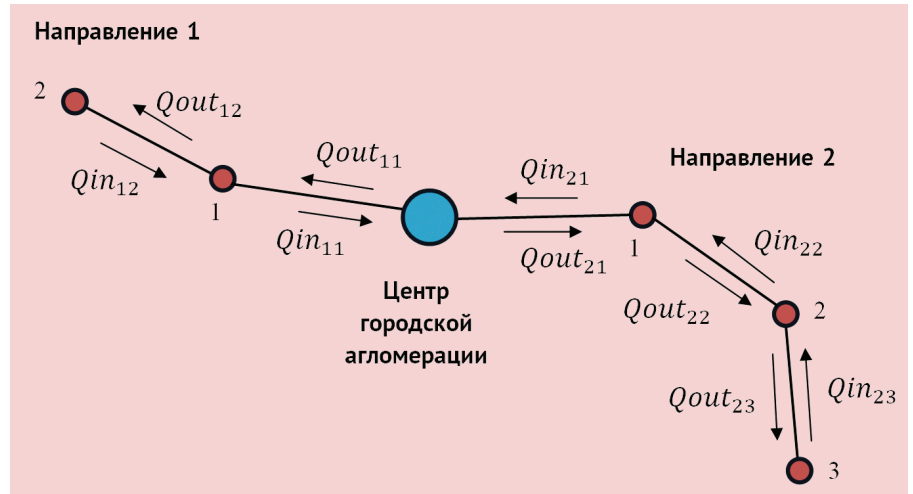


Рис. 5. Схема городской агломерации с двумя автомобильными дорогами, следующими из центра агломерации

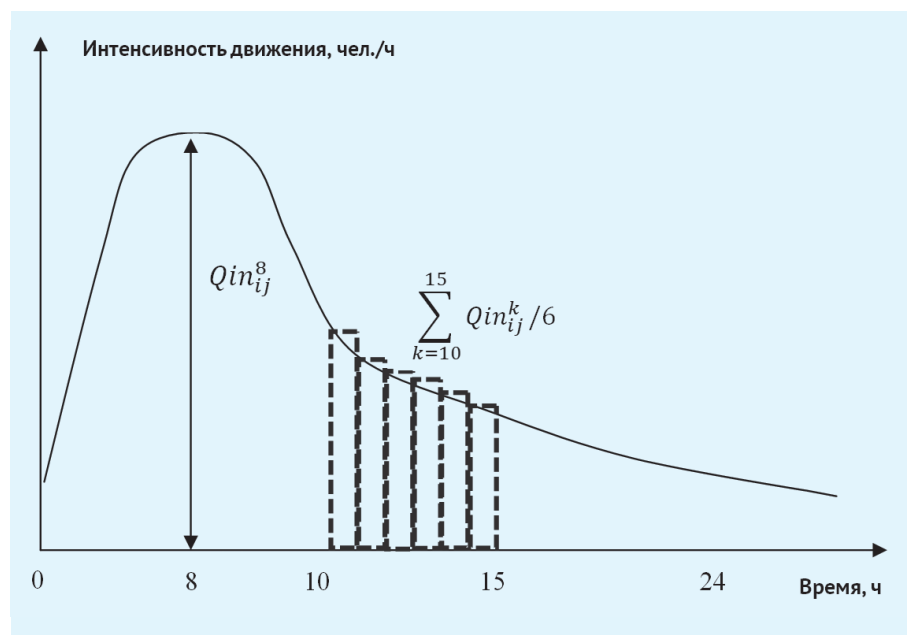


Рис. 6. Принципиальная схема оценки интенсивности движения транспортных потоков на участке автомобильной дороги для определения принадлежности населенного пункта к городской агломерации

номерность интенсивности движения транспортных потоков в пиковое и межпиковое время. Для этого в обозначения интенсивности движения транспортных потоков добавим дополнительный индекс k , соответствующий часу, за который измерено значение интенсивности.

Таким образом, для интенсивности транспортных потоков в направлении центра за определенный час суток итоговое обозначение будет иметь вид. Индекс k принимает значения от 1 до 24, в соответствии с часом суток, в который проводился замер интенсивности движения транспортных потоков. Для интенсивности транспортных потоков в направлении из центра за определенный час суток итоговое обозначение будет иметь вид.

Для оценки неравномерности интенсивности движения транспортных потоков в пиковое и межпиковое время необходимо рассчитать отношение межпиковой интенсивности транспортных потоков к пиковой интенсивности. Именно значение данного отношения будет определять принадлежность населенного пункта к границам городской агломерации.

Максимальная интенсивность транспортных потоков, следующих в центр, наблюдается в утренний час пик, максимальная интенсивность транспортных потоков, следующих из центра, наблюдается в вечерний час пик. В связи с этим при определении коэффициента отношения межпиковой интенсивности к пиковой интенсивности для направления в центр следует

использовать значения для утреннего часа пик, для направления из центра — вечернего часа пик.

Для оценки межпиковой интенсивности движения транспортных потоков предлагается использовать среднее часовое значение натурной интенсивности, наблюдаемое в период с 10 до 15 ч. Таким образом, критерий принадлежности населенного пункта к городской агломерации, выраженный через интенсивность транспортных потоков на близлежащем участке автомобильной дороги, будет иметь следующий вид:

$$\begin{cases} \frac{\sum_{k=10}^{15} Q_{in_{ij}}^k / 6}{Q_{in_{ij}}^8} \leq 0,8 \\ \frac{\sum_{k=10}^{15} Q_{out_{ij}}^k / 6}{Q_{out_{ij}}^8} \leq 0,8 \end{cases} \quad (1)$$

В случае выполнения системы неравенств (1) рассматриваемый населенный пункт входит в границы городской агломерации.

В результате проведенных расчетов установлено, что критерий принадлежности населенного пункта к городской агломерации выполняется для транспортных потоков, движущихся в утренний час пик в направлении центра, то этот же критерий автоматически выполняется и для обратного направления (из центра) в вечерний час пик.

В связи с этим требование о выполнении обоих неравенств, входящих в систему неравенств (1), является избыточным, так как не повышает точность результатов, но требует сбора в два раза большего объема натуральных данных.

Таким образом, для оценки принадлежности населенного пункта к городской агломерации предлагается анализировать дневную неравномерность интенсивности транспортных потоков только в одном направлении — в центр агломерации. В качестве пикового периода при расчете критерия принадлежности населенного пункта к городской агломерации следует рассматривать утренний час пик. Итоговый критерий принадлежности населенного пункта к городской агломерации имеет следующий вид:

$$\frac{\sum_{k=10}^{15} Q_{in_{ij}}^k / 6}{Q_{in_{ij}}^8} \leq 0,8 \quad (2)$$

Принципиальная схема оценки интенсивности движения транспортных потоков на участке автомобильной дороги для определения принадлежности населенного пункта к городской агломерации для критерия (2) представлена на рис. 6.

Так, на схеме пиковое значение интенсивности транспортных потоков в направлении центра в утренний час пик обозначено как. Межпиковое среднее часовое значение натурной интенсивности, наблюдаемое в период с 10 до 15 ч в направлении центра, обозначено как.

Таким образом, критерий принадлежности населенного пункта к городской агломерации (2) будет выполняться при выполнении неравенства:

$$\frac{Q_{in_{межпик}}}{Q_{in_{ij}}^8} \leq 0,8. \quad (3)$$

С учетом выраженной дневной неравномерности транспортных потоков для данного графика отношение интенсивности движения транспортных потоков в межпик и пик в границах городской агломерации имеет диапазон значений от 0 до 0,8. Данный диапазон определен эмпирическим путем на основе массива данных, накопленных для разных городских агломераций на территории Российской Федерации.

Важно отметить, что в границах центра городской агломерации интенсивность транспортных потоков равномерна в пиковое и межпиковое время. Это обусловлено тем, что в пиковое время преобладают трудовые транспортные корреспонденции, а в межпиковое — возрастает доля деловых и досуговых, культурно-бытовых поездок. С учетом отсутствия ярко выраженной дневной неравномерности транспортных потоков для данного графика интенсивность в пик и межпик равна, т. е. отношения, представленные в формуле (1), будут иметь значения, равные 1.

Заключение

Предложенный подход к определению границ городской агломерации на основе анализа суточной неравномерности транспортных потоков представляет собой эффективный инструмент пространственного анализа. Методология определения границ городской агломерации, основанная на расчете отношения межпиковой и пиковой интенсивности движения, позволяет выявить реальные функциональные связи между центром агломерации и окружающими территориями. Такой подход обеспечивает более объективную и формализованную основу для принятия решений в сфере территориального планирования, транспортного моделирования и инфраструктурного развития.

Кроме того, использование данной методологии способствует унификации подходов к агломерационному зонированию в различных регионах и может быть интегрировано в существующие системы геоинформационного анализа. Перспективным направлением развития является расширение применения данной методики к различным типам транспортных связей, включая железнодорожные, водные и мультимодальные маршруты, что позволит создать комплексную картину территориальной мобильности в масштабах городской агломерации.

Теоретические основы определения границ городской агломерации, представленные в статье, способствуют формированию научно обоснованного инструментария, необходимого для принятия сбалансированных управленческих решений на стыке градостроительной и транспортной политики. ■

Источники

1. Buslaev A. P., Yashina M. V., Volkov M. Algorithmic and Software Aspects of Information System Implementation for Road Maintenance Management // Theory and Engineering of Complex Systems and Dependability. 2015. P. 65–74.
2. Murray A. T. A coverage model for improving public transit system accessibility and expanding access // Annals of Operations Research. 2003. P. 143–156.
3. Якимов М. П., Нестерова А. С., Попов Ю. А. Транспортное планирование: транспорт общего пользования: монография. М.: Агентство РАДАР, 2024. 458 с.
4. Guan J. F., Yang H., Wirasinghe S. C. Simultaneous optimization of transit line configuration and passenger line assignment // Transportation Research. 2003. Part B. № 40 (10). P. 885–902.
5. Zhao F., Ubaka I. Transit network optimization — minimizing transfers and optimizing route directness // Journal of Public Transportation 2004. № 7(1). P. 67–82.
6. Baaj M. H., Mahmassani H. S. Hybrid route generation heuristic algorithm for the design of transit networks // Transportation Research. 1995. P. 31–50.
7. Трофименко Ю. В., Якимов М. П. Транспортное планирование: формирование эффективных транспортных систем крупных городов: монография. 2-е изд., перераб. и доп. Пермь: Агентство РАДАР, 2022. 536 с.