JEL: O18, R41, R42
УДК 332.1

DOI: [10.14530/se.2019.2.037-074](https://doi.org/10.14530/se.2019.2.037-074)

О способах измерения степени развития транспортной инфраструктуры

Д.М. Радченко, Ю.Ю. Пономарев

Радченко Дарья Максимовна

младший научный сотрудник

Институт отраслевых рынков и инфраструктуры РАНХиГС, пр. Вернадского, 82, Москва, Россия, 119571

E-mail: radchenko-dm@ranepa.ru

ORCID: 0000-0002-7457-5179

Пonomarev Юрий Юрьевич

кандидат экономических наук

заведующий лабораторией инфраструктурных и пространственных исследований

Институт отраслевых рынков и инфраструктуры РАНХиГС, пр. Вернадского, 82, Москва, Россия, 119571

старший научный сотрудник

Институт экономической политики им. Е.Т. Гайдара, Газетный пер., 3–5, стр. 1, Москва, Россия, 125009

E-mail: ponomarev@ranepa.ru

ORCID: 0000-0002-1188-9293

Аннотация. В статье представлены оценки индекса транспортной обеспеченности инфраструктурой (ИТО), который описывает пространственную доступность российской авто- и железнодорожной инфраструктуры на региональном (85 субъектов РФ) и муниципальном (более 22 тыс. муниципалитетов, около 98% их общего числа) уровнях. Полученные результаты подчеркивают пространственную гетерогенность развития российской транспортной инфраструктуры как на уровне федеральных округов и регионов, так и на более низком муниципальном уровне административного деления. Наиболее высокие значения ИТО получены для европейской части страны, в то время как восточная ее часть, несмотря на достаточно существенную протяженность путей сообщения (например, железнодорожной инфраструктуры), характеризуется низкими показателями обеспеченности транспортной инфраструктурой. Ранжирование регионов по уровню транспортной обеспеченности на основе полученных оценок ИТО показывает, что некоторые регионы находятся относительно «дальше» («ближе») друг от друга, чем можно видеть на основе прочих, стандартных показателей, поскольку ИТО позволяет дополнительно учитывать расположение инфраструктуры в пространстве, а не только анализировать на некотором усредненном для каждого региона уровне. В то же время анализ на муниципальном уровне показывает, что практически во всех регионах среднее значение ИТО по входящим в них муниципалитетам выше, чем оценка ИТО на уровне соответствующего региона в целом. Расхождение в оценке степени доступности

инфраструктуры на двух рассматриваемых уровнях детализации оказывается тем больше, чем более неравномерно в регионе административное деление и пространственное расположение транспортной сети. Таким образом, оценка регионального ИТО за счет формального учета при его расчете территорий вне пределов муниципальных образований, в которых находится основная часть населения и экономической активности, оказывается в определенной степени занижена (например, составляет 0,03 для Красноярского края в целом против 0,44 в среднем для муниципалитетов, входящих в его состав).

Ключевые слова: транспортная инфраструктура, уровень развития, индекс транспортной обеспеченности, зоны тяготения, регионы, Россия

Для цитирования: Радченко Д.М., Пономарев Ю.Ю. О способах измерения степени развития транспортной инфраструктуры // Пространственная экономика. 2019. Т. 15. № 2. С. 37–74. DOI: [10.14530/se.2019.2.037-074](https://doi.org/10.14530/se.2019.2.037-074).

About the Measurement of Transport Infrastructure Development

D.M. Radchenko, Y.Y. Ponomarev

Darya Maksimovna Radchenko

Junior Research Fellow

Institute of Industry Markets and Infrastructure, The Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, 82, Vernadskogo Avenue, Moscow, Russia, 119571

E-mail: radchenko-dm@ranepa.ru

ORCID: 0000-0002-7457-5179

Yury Yuryevich Ponomarev

Candidate of Economics

Department Head

Institute of Industry Markets and Infrastructure, The Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, 82, Vernadskogo avenue, Moscow, Russia, 119571

Senior Research Fellow

Gaidar Institute for Economic Policy, 3–5 Gezetny Lane, Building 1, Moscow, Russia, 125009

E-mail: ponomarev@iep.ru

ORCID: 0000-0002-1188-9293

Abstract. The article presents estimates of the Transport Spatial Coverage Index (TSCI), which describes the spatial accessibility of the Russian road and rail infrastructure at the regional (85 subjects of the Russian Federation) and municipal (more than 22 thousand municipalities, about 98% of their total number) levels. The obtained results emphasize the spatial heterogeneity of the development of the Russian transport infrastructure both at the level of federal districts and regions, and at the lower municipal level of administrative division. The highest TSCI values were obtained for the European part of the country, while the eastern part of the country is characterized by low indicators of transport infrastructure provision, despite the significant length of the communication lines (for example, railway infrastructure). The ranking of regions by the level of transport provision on the basis of the obtained assessments of the TSCI shows that some regions

are relatively 'farther' ('closer') from each other than can be seen on the basis of other standard indicators, as the TSCI allows to take into account the location of infrastructure in the space, rather than just analyze at some level averaged for each region. At the same time, analysis at the municipal level shows that practically in all regions the average value of the TSCI for the municipalities included in them is higher than the average value of the TSCI at the level of the respective region as a whole. The difference in the assessment of availability of infrastructure at the two levels of detail under consideration is greater the more uneven the administrative division and spatial location of the transport network in the region. Thus, the assessment of the regional TSCI at the expense of formal accounting in its calculation of territories outside municipal entities in which the majority of the population and economic activity is located is to a certain extent underestimated (for example, it is 0.03 for the Krasnoyarskiy Krai as a whole against 0.44 on average for the municipalities that are part of it).

Keywords: Transport Spatial Coverage Index (TSCI), transport infrastructure, level of development, attraction zones, regions, Russia

For citation: Radchenko D.M., Ponomarev Y.Y. About the Measurement of Transport Infrastructure Development. *Prostranstvennaya Ekonomika = Spatial Economics*, 2019, vol. 15. no. 2, pp. 37–74. DOI: [10.14530/se.2019.2.037-074](https://doi.org/10.14530/se.2019.2.037-074). (In Russian).

ВВЕДЕНИЕ

Как показывают многочисленные исследования (например, Van de Vooren, 2004; Литвинова, Пономарев, 2016 и др.), одним из основных способов ускорения темпов экономического развития является повышение совокупной факторной производительности, в том числе за счет развития транспортной инфраструктуры как опорного каркаса российской экономики.

Спрос на услуги транспортной инфраструктуры возрастает по мере того, как растут мобильность населения, ожидания производителей в части снижения транспортных издержек, расширения границ рынков и т. д. Существующие линейные показатели развития транспортной инфраструктуры (протяженность, плотность путей сообщения), которые используются в экономических исследованиях и при простом сравнительном межрегиональном анализе¹, имеют ряд недостатков с точки зрения оценки степени пространственной сформированности транспортной инфраструктуры, особенно выраженных для стран, обладающих обширными территориями, характеризующимися гетерогенностью системы расселения и, соответственно, пространственного распределения объектов транспортной инфраструктуры. Это может приводить к смещениям в оценках степени влияния развития транспортной инфраструктуры на ключевые макроэкономические показатели.

Поэтому точная и корректная оценка степени сформированности транспортной инфраструктуры, чему посвящена настоящая статья, положитель-

¹ См., например, отчеты (OECD..., 2003; Performance..., 2004).

ных эффектов, которые возникают в зоне ее тяготения, является крайне актуальной для решения задач пространственного развития экономики, в том числе за счет планирования транспортной инфраструктуры, ранжирования и приоритезации реализуемых инфраструктурных проектов.

ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРОЙ: В ПОИСКАХ ИДЕАЛА

На основе линейных индикаторов состояния и уровня развития транспортной инфраструктуры проведено существенное количество экономических исследований, устанавливающих взаимосвязь между уровнем сформированности транспортной инфраструктуры и различными экономическими показателями, будь то уровень ВВП, уровень занятости, транспортные расходы населения и т. д. (Melo et al., 2013; Li et al., 2016; Arbués et al., 2015).

Одним из самых простых и распространенных является показатель линейной протяженности транспортной сети (например, автомобильных или железных дорог общего пользования), который чаще всего используется для оценки объема инвестиций в инфраструктуру и расчета транспортных издержек. Кроме того, данный показатель позволяет проанализировать временную эволюцию транспортной инфраструктуры:

$$L_{(Net|X)} = \sum_{i \in X} l_i, \quad (1)$$

где l_i – протяженность i -го участка транспортной сети, X – множество участков транспортной сети, L – общая протяженность транспортной сети.

Еще один традиционный индикатор – плотность транспортной сети – в большей степени применим для оценки доступности инфраструктуры в регионе и зачастую используется крупными организациями, например, Всемирным банком (Performance..., 2004) или статистическими организациями отдельных стран, например, Институтом прикладных экономических исследований Бразилии (IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2003). Основной его недостаток – сильная предпосылка о хотя бы минимально равномерном распределении инфраструктуры по исследуемой территории:

$$D_{(Net|X)} = \frac{\sum_{i \in X} l_i}{A_X} = \frac{L_{(Net|X)}}{A_X}, \quad (2)$$

где l_i – протяженность i -го участка транспортной сети, X – множество

участков транспортной сети, L – общая протяженность транспортной сети, A_X – площадь территории, охватываемой сетью.

Еще одним традиционным индикатором степени развития транспортной сети является протяженность транспортной сети на 100 тыс. чел. населения.

$$D_{(Pop, Net|X)} = \frac{\sum_{r \in X} l_i}{P_X} = \frac{L_{(Net|X)}}{P_X} . \quad (3)$$

Необходимо отметить, что при расчете данного показателя предполагается, что население распределено по изучаемой территории равномерно. Данная предпосылка достаточно сильно ограничивает возможность использования данного показателя для экономического анализа территорий стран с неравномерным пространственным распределением населения (в этом случае могут в определенной степени «усредняться» области с низкой и высокой концентрацией населения).

Общей проблемой для показателей плотности транспортной сети является не только неравномерное распределение инфраструктуры, которое имеет место в реальности, но и наличие точек ее концентрации (крупных агломераций и просто городов). Однако данную проблему можно решить, перейдя на более детализированный уровень и рассматривая отдельно густо- и слабонаселенные территории, либо используя поправочный коэффициент на городские поселения.

В отечественной литературе, помимо традиционных способов оценки степени развитости транспортной инфраструктуры, используется также блок альтернативных показателей, которые вместе с тем строятся на основе базовых линейных и призваны оценивать уровень развития транспортной инфраструктуры с учетом экономической активности – коэффициенты Энгеля, Гольца, Успенского и Василевского (Дабиев, Дабиева, 2015).

Коэффициент Энгеля представляет собой отношение общей протяженности транспортных путей к численности населения и освоенной площади рассматриваемой территории:

$$K_{\text{Э}} = \frac{L}{\sqrt{SH}} , \quad (4)$$

где L – общая протяженность транспортных путей, H – численность населения, S – площадь освоенной территории.

Коэффициент Гольца строится практически аналогично, однако переходит от рассмотрения численности населения к учету количества населенных пунктов на рассматриваемой территории:

$$K_{\Gamma} = \frac{L}{\sqrt{S\Pi}}, \quad (5)$$

где Π – число населенных пунктов (городов).

Коэффициент Василевского, как и коэффициент Успенского, показывает степень обеспеченности транспортом отраслей производства:

$$K_{\text{В}} = \frac{L}{\sqrt[3]{SHQ_{\Pi}}}, \quad (6)$$

где Q_{Π} – общий объем продукции, выпускаемой на территории и подлежащей вывозу.

Коэффициент Успенского рассчитывается по формуле:

$$K_{\text{У}} = \frac{L}{\sqrt[3]{SHQ_{\text{В}}}}, \quad (7)$$

где $Q_{\text{В}}$ – общий объем продукции, произведенной на рассматриваемой территории.

К основным недостаткам данных показателей можно отнести то, что они не учитывают:

- географические особенности местности пролегания транспортной сети;
- реальную трассировку и конфигурацию транспортной сети;
- особенности доступности инфраструктуры отдельных видов транспорта – например, имеет место ограниченность эффектов, генерируемых железнодорожной инфраструктурой на линейной части пути, поскольку доступ к железнодорожной сети возможен только на станциях, а не на всей протяженности инфраструктуры. Аналогичная ситуация наблюдается и для воздушного, морского и речного транспорта, для которых доступ возможен только в аэропортах и портах соответственно.

Описанные недостатки базирующихся на линейных параметрах показателей развития транспортной инфраструктуры привели к возникновению запроса на поиск новых подходов, которые были бы лишены этих слабых сторон и не давали оснований для дискуссии о возможных смещениях в оценках влияния развития транспортной инфраструктуры на ключевые макроэкономические показатели.

В последние несколько десятилетий появились исследования, предлагающие альтернативные традиционным показатели. Например, в работе (Baradaran, Ramjerdi, 2001) рассматриваются индикаторы, основанные на

сравнении издержек на преодоление экономическими агентами определенных расстояний. То есть отдаленность объектов (регионов) можно измерять не только в единицах расстояния, но и в других единицах, связанных с издержками и / или другими видами сопротивления к преодолению пространства. Показатели данной категории можно использовать для того, чтобы оценить степень удаленности (легкость доступа) транспортных станций (или остановок общественного транспорта), используя те или иные метрические индикаторы затрат. В качестве примеров можно привести показатели совокупных расходов на поездку или перевозку товаров, надежности того или иного вида транспорта с точки зрения отклонения от «доставки точно в срок», регулярности (для общественного транспорта). Для измерения степени развития транспортной инфраструктуры также часто используются индексы доступности по времени, или временные индексы доступности (Spiekermann et al., 2015; Road..., 2016; Интегрированная..., 2018). В рамках данного подхода анализируются доступные для достижения за определенный (заданный) временной интервал пространственные области, при этом делается акцент на учет ограничений времени, среди которых можно выделить три основных вида:

- ограничение набора альтернатив (аттракторов), куда индивид может добраться в рамках собственных временных ограничений;
- необходимость для индивида находиться в определенном месте в определенное время;
- установленные лимиты времени работы аттракторов (альтернатив) и / или транспортной инфраструктуры.

Данные показатели достаточно широко используются в исследованиях благодаря простоте интерпретации. Однако, как отмечено в работе (Geurs, Van Wee, 2004), временные индексы доступности не удовлетворяют ряду характеристик, определяющих качественные индикаторы пространственной доступности, а именно:

- индикативность: индикатор должен отражать изменения возможностей (как их предложения для каждой точки назначения – социальные учреждения, производственные локации и прочие, так и спроса на них для всех точек начала транспортных маршрутов) в транспортной системе и землепользовании;
- применимость: простота применения индикатора на практике и в теории;
- интерпретируемость: способность широких кругов понимать и интерпретировать результаты, полученные на основе данного показателя;
- обоснованность: индикатор может использоваться в качестве экономического показателя, если он может быть обоснован теоретически.

Так, например, временные индексы не учитывают взаимосвязь и конкуренцию между видами транспорта, а зачастую предполагается, что все виды транспорта в равной степени привлекательны для потенциальных пользователей независимо от стоимости и продолжительности поездки.

ИНДЕКС ТРАНСПОРТНОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ: ПЛЮСЫ И МИНУСЫ

Одним из ключевых недостатков семейства линейных индикаторов уровня развития и обеспеченности транспортной инфраструктурой является то, что они не способны учесть двойственность принципов ее формирования, то есть тот факт, что любая транспортная система состоит из двух элементов с разным характером доступности – узлового (например, железнодорожные станции¹, морские порты, аэропорты) и линейного (например, автомобильные дороги). Соответственно, принцип, по которому происходит притяжение и доступ экономической активности на объекты инфраструктуры, также различается. В случае линейного характера транспортной инфраструктуры распределение экономической активности происходит равномерно вдоль всего ее участка. В случае узлового характера воздействия на экономическую активность ее концентрация приходится на отдельные точки инфраструктуры и постепенно ослабевает по мере отдаления от них.

Одной из альтернатив линейным показателям, характеризующим уровень развитости транспортной инфраструктуры и используемым в международной и российской практике, стал подход, появившийся благодаря активному развитию в последние десятилетия геоинформационных систем (ГИС) и повышению доступности для исследователей детализированных картографических данных, содержащих информацию по пространственному распределению объектов инфраструктуры и показателей экономической активности (Da Silva et al., 2014; Magalhães, 2016). Подход лишен существенной части описанных выше недостатков базовых линейных индикаторов и направлен на построение индексов доступности или обеспеченности транспортной инфраструктурой, которые учитывают не только ее линейную протяженность, но и характеристики ее зоны «притяжения» – долю ее площади в общей площади рассматриваемой территории (административного субъекта), либо аналогично долю экономической активности (численности населения, объемов валовой добавленной стоимости и других показателей), расположенной в зоне тяготения транспортной инфраструктуры. Это поми-

¹ Отнесение к узловому типу обусловлено тем, что в отличие от автомобильной, на железной дороге точки «входа» находятся не на всем протяжении железнодорожного полотна, а только на станциях.

мо прочего позволяет учитывать специфику формирования участков транспортной инфраструктуры, их пространственного расположения, особенности рельефа (например, исключать из рассмотрения для зоны тяготения озера, горы и другие непригодные для экономической активности зоны).

Формально подобный показатель – индекс транспортной обеспеченности инфраструктурой (ИТО) – для простого случая расчета на основе площади зоны притяжения может быть записан в следующем виде:

$$\text{ИТО}_X = \frac{\sum_1^n \gamma(i) A_i}{A_X}, \quad (8)$$

где $\gamma(i)$ – весовая функция для i -й зоны, например, $\gamma(i) = 1 - 0,1(i - 1)$ для $\{i \in N | i \leq 11\}$, при использовании 11 зон; A_i – площадь i -й зоны; A_X – площадь региона X .

Соответственно, чем больше значение данного индекса, тем лучше в регионе развита транспортная инфраструктура, поскольку охватывает большую долю территории рассматриваемого субъекта. В качестве зоны выступает область «притяжения» экономической активности на некотором заданном расстоянии от объекта инфраструктуры. Чем больше расстояние, тем слабее влияние, которое оказывает инфраструктура на данную территорию, поскольку по мере удаления и увеличения расстояния снижается ее доступность для потенциальных пользователей.

В литературе зачастую используется следующий подход к определению зоны тяготения: прилегающая к транспортной инфраструктуре территория делится на 10 зон шириной по 5 км каждая, также рассматривается 11-я зона, к которой относится вся территория, расположенная в 50 км и далее от объекта инфраструктуры. Каждой зоне присваивается весовое значение, обозначающее степень влияния на уровень экономической активности в ней: например, для зоны 0–5 км значение равно единице, для зоны >50 км – нулю. Например, для упрощения расчетов в исследовании (Magalhães, 2016) был использован линейный (равномерный) вид весовой функции:

$$\gamma(i) = 1 - 0,1(i - 1) \text{ для } \{i \in N | i \leq 11\}, \quad (9)$$

где i – порядковый номер зоны.

Одним из альтернативных вариантов является использование весовой функции экспоненциального вида, которая придает большие веса территориям и экономическим показателям в буферных зонах, находящихся ближе к объекту инфраструктуры:

$$\gamma(i) = e^{-\lambda(i-1)}, \quad \lambda = 1, \{i \in N | i \leq 11\}. \quad (10)$$

Этапом, предваряющим расчет ИТО, служит разметка зон с использованием данных ГИС. Поскольку от выбора формы весовой функции в существенной степени зависят итоговые результаты, крайне важным является корректный подбор параметров функции в зависимости от специфики изучаемого региона. Веса могут быть скорректированы в соответствии с распределением населения по территории или в зависимости от географических особенностей региона – например, участки, на которых возведение новой инфраструктуры в принципе невозможно (водоемы и высокогорные районы), могут быть исключены из расчетов.

Одним из преимуществ представленного индекса является то, что он позволяет учитывать развитие инфраструктуры не только на непосредственно рассматриваемой территории, но и на прилегающих к ней, поскольку сформированные зоны притяжения экономической активности могут выходить за границы отдельных регионов и, таким образом, позволяют оценить степень оснащенности инфраструктурой даже для регионов, не обеспеченных инфраструктурой напрямую. Подобный схематичный пример представлен на рисунке 1, где зона притяжения автомобильной дороги между населенными пунктами А и D, расположенной в западном регионе, охватывает также часть территории восточного региона, в котором транспортная инфраструктура отсутствует.

Такая логика базируется на естественном предположении о том, что вне зависимости от того, есть ли автомобильная дорога (или любая другая инфраструктура) на отдельно взятой территории или нет, находящиеся на ней экономические агенты так или иначе могут пользоваться транспортной сетью, расположенной в соседних регионах, пусть даже им потребуется больше временных или стоимостных затрат, чтобы добраться до точек входа на нее.

Помимо пространственной «чувствительности» ИТО в отличие от рассмотренных ранее базовых индикаторов развития инфраструктуры нормирован по абсолютной величине, то есть имеет ограничения на максимальное и минимальное значение (1 и 0 соответственно), что, например, можно видеть из (8). Это облегчает сравнение с помощью ИТО инфраструктурных проектов на предмет их влияния на повышение охвата рассматриваемой территории транспортной инфраструктурой.

Рассмотрим гипотетический пример, в котором в регионе уже существует одна автомобильная дорога и планируется строительство второй, при этом вторая дорога может быть расположена как непосредственно около первой, так и в отдалении от нее. Расположение двух дорог поблизости обеспечит гораздо меньший прирост к уровню развитости инфраструктуры в логике ИТО. При этом в логике традиционных линейных индексов

вариация в конкретном маршруте прохождения новой дороги никак не повлияет на уровень доступности инфраструктуры в регионе, поскольку не будет показывать влияние на изменение ни показателя протяженности, ни показателя плотности транспортной сети, поскольку они не учитывают расположение инфраструктуры в пространстве, но только факт ее наличия в границах субъекта РФ или муниципального образования.

Рис. 1. Пример учета расположения транспортной инфраструктуры между регионами
Fig. 1. Example of accounting for the location of transport infrastructure between regions

Примечание: светло-серая пунктирная линия – схематичное изображение автомобильной дороги; сплошные черные линии – административные границы субъектов; черные пунктирные линии – границы буферных зон для расчета ИТО (зоны выделены разными оттенками серого); точки в пунктирном круге с наименованием заглавными латинскими буквами – населенные пункты.

Источник: составлено авторами.

Таким образом, можно отметить несколько сильных сторон ИТО:

- универсальность и возможность применения для анализа инфраструктуры различных видов транспорта;
- отсутствие необходимости использования большого объема статистических данных;
- оценка индекса не усложняется по мере повышения детализации рассматриваемой транспортной сети (при пересечении буферные зоны – зоны притяжения – наслаиваются друг на друга и в итоге выбирается буфер с наибольшим весовым коэффициентом);

- отсутствие требований по точной оценке линейной протяженности транспортной сети (что может быть затруднительно, например, в случае автомобильных дорог).

Тем не менее, при построении ИТО следует учитывать, что:

- требуется анализ взаимного влияния пространственной доступности различных видов транспорта, которое возникает при пересечении их зон тяготения;

- при определении вида весовой функции, используемой для оценки ИТО, может использоваться большое число критериев, от социально-экономических до географических, что в значительной степени окажет влияние на результат расчетов и, таким образом, потребует дополнительного анализа и обоснования.

ОПИСАНИЕ ПОДХОДА К ОЦЕНКЕ ИТО И ИСПОЛЬЗУЕМОЙ БАЗЫ ДАННЫХ

Для расчета ИТО в России в настоящей статье использовался описанный в предшествующем разделе подход, в частности, оценка индекса проводилась для базовой его спецификации (8) с использованием двух видов весовых функций для зон притяжения – линейной (9) и экспоненциальной (10), для двух видов транспортной инфраструктуры – автомобильной и железнодорожной. Каждая из спецификаций индекса в зависимости от используемого вида весовой функции для каждого вида транспортной инфраструктуры оценивалась на двух уровнях административно-территориального деления:

а) региональный (субъекты РФ) – всего 85 регионов;

б) муниципальный (муниципальные образования) – всего 23 384 муниципалитета различных уровней (от муниципальных районов до деревень) для автомобильной сети и 22 320 муниципалитетов для железнодорожных станций.

Используемые для проведения расчетов данные о конфигурации автомобильной и железнодорожной сети, а также данные о расположении территориальных границ субъектов РФ (по состоянию на 1 июля 2017 г.) были составлены на основе открытых данных¹ ресурса NextGis², предоставляющего ГИС-данные по территории России на основе открытых карт OpenStreetMap³.

¹ По состоянию на 01.10.2018 доступ к данным ресурсам возможен на платной основе, однако аналогичные данные могут быть свободно получены из альтернативных открытых источников – агрегаторов информации OpenStreetMap или непосредственно из самого первоначального источника.

² Сам ресурс доступен по адресу <https://data.nextgis.com/ru>.

³ Преимущество карт OpenStreetMap перед аналогами (например, «Карты Google», «Карты Bing» и прочие) показано в работах (Cipeluch et al., 2010; Haklay, 2010; Gorman, 2010).

Для сети автомобильных дорог расчет ИТО был проведен для следующих их категорий согласно классификации OpenStreetMap (Классификация..., 2019):

- 1) «highway = trunk» – автомобильные дороги федерального значения, межрегиональные трассы, формирующие опорную сеть автодорог страны;
- 2) «highway = motorway» – автомагистрали;
- 3) «highway = primary» – автомобильные дороги регионального значения, соединяющие крупные города и / или областные центры, дороги межрегионального значения;
- 4) «highway = secondary» – автомобильные дороги областного значения, соединяющие между собой областные центры с крупными населенными пунктами (районными центрами), а также крупные населенные пункты;
- 5) «highway = tertiary» – наиболее важные автомобильные дороги местного значения, соединяющие районные центры с селами, а также несколько сел между собой.

Учет при расчете ИТО менее значимых автодорог местного значения представляется нецелесообразным по ряду причин: а) в подавляющем большинстве случаев при расчете индекса дороги местного значения будут поглощены буферными зонами федеральных, региональных и основных муниципальных дорог; б) их зоны тяготения значительно меньше и не внесут значимых изменений в результат расчета индекса; в) основная доля грузо- и пассажирооборота проходит по федеральной и региональной сети дорог, в том числе включающей в себя международные коридоры, автомагистрали и т. д.

Как отмечалось ранее, в случае концентрического характера распределения экономической активности ее концентрация приходится на отдельные элементы инфраструктуры (точки входа). Поэтому железнодорожная сеть сформирована на основе железнодорожных станций, в качестве которых были использованы:

- 1) «railway = station» – обыкновенные железнодорожные станции;
- 2) «railway = halt» – небольшие железнодорожные станции, которые в том числе могут быть без платформы и с остановкой поездов только по требованию.

Различия в категории железнодорожных станций при расчете ИТО не учитывались.

На основе сформированных данных о транспортных сетях для каждого вида транспорта в отдельности были построены 10 зон притяжения «шириной» по 5 км. Кроме того, для оценки транспортной обеспеченности территории России только опорной сетью автомобильных дорог был проведен расчет отдельной модификации индекса только для дорог категорий «trunk», «motorway» и «primary», при этом различия в категориях автомобильной до-

роги в данном случае учтены через ширину зон притяжения: для дорог категорий «trunk» и «motorway» ширина зоны составляет 5 км, а для дорог категории «primary» – 2,5 км¹.

ОЦЕНКА ИТО ДЛЯ РОССИИ: РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты оценки ИТО на уровне субъектов РФ

Согласно полученным результатам оценки ИТО, обеспеченность автомобильной инфраструктурой (для всей сети дорог) в регионах России находится на достаточно высоком уровне: в 46 регионах (54,1% всех регионов) значение ИТО больше 0,9, при этом лидерами по обеспеченности автодорогами являются Москва, а также Липецкая, Белгородская, Орловская и Московская области. Кроме того, в 69 регионах (т. е. в 81,2% всех регионов) этот показатель превышает 0,5. Регионами с наименее развитой сетью автодорог являются Республика Саха (Якутия), Магаданская область, Хабаровский край, Чукотский автономный округ, Камчатский край, Ямало-Ненецкий автономный округ, Ненецкий автономный округ и Красноярский край. В европейской части России наименьшие значения ИТО наблюдаются в регионах Северо-Западного федерального округа: Ненецкий автономный округ, Архангельская область, Мурманская область, Республика Коми. Для них ИТО не превышает 0,47. Остальные регионы европейской части расположены в пределах значения показателя от 0,7–0,78 (Астраханская область, Республика Карелия, Пермский край) и выше.

Если рассмотреть полученные значения ИТО для всей сети автомобильных дорог на уровне федеральных округов² (рис. 2), то можно заметить, что средние ИТО находятся в диапазоне от 0,38 до 0,98, что в целом позволяет говорить о достаточно неравномерном покрытии федеральных округов сетью автомобильных дорог.

При этом визуально на диаграмме можно выделить три «кластера»:

- с высоким значением ИТО, куда входят территории европейской части России – Приволжский (0,94), Северо-Кавказский (0,93), Центральный (0,98) и Южный (0,87) федеральные округа;
- со средним значением индекса – Сибирский (0,6), Северо-Западный (0,7) и Южный (0,87) федеральные округа;
- с низким значением индекса – Дальневосточный (0,39) федеральный округ. Его положение обусловлено, в первую очередь, тем, что в его состав

¹ Далее по тексту первый набор автомобильных дорог будет обозначаться как «вся сеть», а второй – «опорная сеть».

² В данном случае в качестве ИТО для федерального округа используется среднее значение ИТО для регионов, входящих в состав рассматриваемого федерального округа.

входят регионы с наиболее сложным климатическим и географическим положением (например, островная Сахалинская область и Чукотский автономный округ, в которых отсутствует единая сеть автомобильных дорог, связывающая их с соседними регионами).

Рис. 2. Среднее значение ИТО для автомобильных дорог на уровне федеральных округов
Fig. 2. Average TSCI for car roads at the level of federal districts

Источник: составлено авторами.

Если вместо линейной весовой функции (9) использовать экспоненциальную (10), то дисперсия индекса увеличится (с 0,07 до 0,09), а среднее значение, наоборот, уменьшится (с 0,78 до 0,59). Это связано, в первую очередь, с тем, что при использовании экспоненциально распределенных весов доля регионов со значением ИТО от 0,9 до 1 снижается более чем в три с половиной раза (с 56,1 до 15,9%). Изменение вида весовой функции приводит к тому, что буферные зоны (участки зоны притяжения), расположенные ближе к инфраструктуре, получают больший вес, что позволяет косвенным образом сузить зону притяжения в целом, в результате чего можно более точно оценивать регионы с неравномерно распределенной разреженной сетью дорог. Гистограммы распределения регионов по уровням ИТО в зависимости от выбора вида весовой функции представлены на рисунке 3.

При расчете ИТО для опорной сети дорог, куда входят только автодороги категорий «trunk», «motorway» и «primary», среднее значение показателя оказывается в среднем на 46% ниже по сравнению с его оценками для всей сети автодорог. При этом для регионов с развитой дорожной сетью, находя-

щихся на пересечении ключевых российских и международных транспортных коридоров (Москва, Санкт-Петербург), и, наоборот, регионов с бедной сетью как федеральных, так и региональных дорог (Чукотский автономный округ, Камчатский край) расхождение ИТО, рассчитанного на для всей сети дорог и ее части (опорная сеть), минимально. Более подробно результаты сравнения представлены на рисунке 4.

Рис. 3. Распределение значений ИТО для автомобильных дорог в зависимости от вида весовой функции

Fig. 3. Distribution of TSCI for car roads depending on the type of weight function

Источник: составлено авторами.

Усредненное на уровне федеральных округов значение индекса транспортной обеспеченности железнодорожной инфраструктурой приведено на рисунке 5. В данном случае можно видеть, что в значительной степени выделяется по сравнению с другими округами Центральный ФО, обладая усредненным значением индекса, равным 0,73. Для остальных округов он принимает значения в диапазоне от 0,12 до 0,53.

Как и в случае с автомобильными дорогами, наименьшие значения индекса имеют место для Дальневосточного (0,12) и Сибирского (0,18) федеральных округов. Отчасти это связано с тем, что в данных федеральных округах расположены все регионы, практически не имеющие железнодорожной инфраструктуры (то есть Республики Алтай и Тыва, Чукотский автономный округ, Магаданская область и Камчатский край) – по данным Росстата, эксплуатационная длина железнодорожных путей общего поль-

Рис. 4. Сравнение ИТО для всей сети автодорог и для опорной сети (линейная весовая функция)
Fig. 4. Comparison of TSCI for car and backbone networks (linear weight function)

Источник: составлено авторами.

зования в данных регионах равна нулю. При этом примечательно, что лишь половина из них (Магаданская область, Чукотский автономный округ и Камчатский край) имеет нулевое значение индекса – половина обладает значениями чуть большими (от 0,001 до 0,014) из-за эффекта «перетока» зон притяжения станций из соседних регионов, который был описан ранее.

Рис. 5. Среднее значение ИТО для железных дорог на уровне федеральных округов
Fig. 5. Average TSCI for railways at the level of federal districts

Источник: составлено авторами.

В европейской части России наименьшие (ниже 0,4) показатели наблюдаются в основном в северных регионах Северо-Западного федерального округа (Ненецкий автономный округ, в котором отсутствует железнодорожное сообщение, Архангельская область, Республика Коми, Мурманская область и т. д.), также к данной категории относится ряд регионов Приволжского федерального округа (Республика Марий Эл, Пермский край, Республика Башкортостан и Кировская область), Республика Калмыкия в Южном федеральном округе.

Из 85 регионов только два обладают крайне высокой степенью обеспеченности железнодорожной инфраструктурой (т. е. для них ИТО превышает 0,9) – это Москва и Санкт-Петербург. Для 41 региона (48,2%) значение индекса превышает 0,5.

В целом вся восточная часть страны, несмотря на большую протяженность железнодорожных путей, характеризуется их крайне малой плотностью: железнодорожные станции расположены в отдалении друг от друга и их зоны

влияния (во всяком случае ближайшие) зачастую не пересекаются. Из-за этого, например, для обладающей значительной площадью Республики Саха (Якутия) значение индекса транспортной обеспеченности железнодорожными станциями составляет 0,01, что меньше, чем у не имеющей железнодорожного сообщения¹, но небольшой по площади Республики Тыва (0,014) (табл. 1).

Таблица 1

**Эксплуатационная длина железнодорожных путей общего пользования, км
(в порядке убывания, первые 40 регионов)**

Table 1

Operational length of general purpose railways, km (decreasing, first 40 regions)

Регион	Длина путей, км	Регион	Длина путей, км
Свердловская область	3523,8	Алтайский край	1564,8
Амурская область	2919,9	Приморский край	1558,7
Ленинградская область	2549,8	Новосибирская область	1511,7
Иркутская область	2494,4	Оренбургская область	1454,3
Тюменская область	2442,3	Республика Башкортостан	1450,7
Забайкальский край	2397,5	Самарская область	1374,2
Саратовская область	2291,1	Республика Бурятия	1227,0
Республика Карелия	2225,6	Нижегородская область	1208,1
Московская область	2199,9	Воронежская область	1194,3
Хабаровский край	2143,6	Смоленская область	1156,4
Краснодарский край	2139,9	Новгородская область	1143,7
Красноярский край	2078,7	Кировская область	1095,1
Ростовская область	1912,7	Псковская область	1089,1
Тверская область	1806,8	Ханты-Мансийский автономный округ – Югра	1084,1
Челябинская область	1795,3	Курская область	1055,8
Архангельская область	1766,7	Брянская область	1008,4
Республика Коми	1690,3	Рязанская область	963,3
Кемеровская область	1681,4	Тульская область	947,5
Волгоградская область	1617,2	Ставропольский край	921,8
Пермский край	1574,4	Владимирская область	920,5

Источник: Эксплуатационная..., 2017.

В случае использования экспоненциальной весовой функции значительно снижается как среднее значение показателя (с 0,46 до 0,16), так и его дисперсия (с 0,07 до 0,02), что в итоге приводит к попаданию в интервал с ИТО не более 0,3 большей части регионов (89%) (рис. 6).

¹ На территории Республики Тыва по состоянию на 13 апреля 2018 г. присутствует одна железнодорожная станция Кызыл-Грузовой, построенная в рамках временно замороженного проекта строительства железной дороги Курагино – Кызыл (Железную дорогу в Тыву могут построить к концу 2023 года // ТАСС. 2018. 14 апреля. URL: <https://tass.ru/ekonomika/5123344> (дата обращения: май 2019).

Рис. 6. Распределение значений ИТО для железнодорожных станций в зависимости от вида весовой функции

Fig. 6. Distribution of TSCI for railway stations depending on the type of weight function

Источник: составлено авторами.

Таким образом, представляется более целесообразным использование нелинейных весовых функций для инфраструктуры, обширно представленной на исследуемой территории (автодорожная сеть), а линейных – для точечных объектов (железнодорожных станций и, аналогично, аэропортов и портов). Данный тезис согласуется с выводами в работе (Manzato et al., 2015), в которой в качестве нелинейной весовой функции выбран полином пятой степени.

Результаты оценки ИТО на муниципальном уровне

Оценка ИТО на муниципальном уровне, расчет которого был произведен для 23 384 муниципалитетов различных уровней (от муниципальных районов до деревень) для автодорожной сети и для 22 320 муниципалитетов для железнодорожной инфраструктуры, показывает, что практически во всех регионах среднее значение ИТО по входящим в них муниципалитетам выше, чем оценка ИТО на уровне соответствующего региона в целом. Расхождение в оценке ИТО на двух рассматриваемых уровнях детализации оказывается тем больше, чем более неравномерно в регионе административное деление и пространственное расположение транспортной сети. Примером, хорошо иллюстрирующим данный факт, может служить Красноярский край (рис. 7), в котором основная масса автомобильных дорог федерального и регионального значения сконцентрирована на юге, где также наблюдается значительно более мелкое административное деление. Таким образом, оценка

Рис. 7. Административное деление и сеть дорог Красноярского края
Fig. 7. Administrative division and roads of Krasnoyarskiy Krai

Примечание: вариант a – вся сеть дорог Красноярского края; вариант b – опорная сеть дорог Красноярского края.
Источник: составлено авторами.

регионального ИТО за счет формального учета при его расчете территорий вне пределов муниципальных образований, где находится основная часть населения и экономической активности, оказывается в определенной степени занижена (составляет 0,03 для всего Красноярского края против 0,44 в среднем для муниципалитетов, входящих в его состав).

На уровне муниципалитетов наибольшие значения ИТО как для авто-, так и для железнодорожной инфраструктуры наблюдаются в городских округах и соседствующих с ними муниципальных районах. С другой стороны, имеют место и обратные предельные случаи, когда отдельные территории обладают крайне низкой обеспеченностью транспортной инфраструктурой. Так, например, девять муниципальных районов и один городской округ, расположенные в таких регионах, как Белгородская область, Республика Дагестан, Иркутская область, Омская область, Республика Коми, Республика Саха (Якутия), Свердловская область, Томская область, Челябинская область, Ямало-Ненецкий автономный округ, обладают значением ИТО для автомобильных дорог меньшим, чем одна десятитысячная. В основном это связано с их сложным географическим положением: они отрезаны от опорной сети дорог либо крупными реками, либо горными массивами и обслуживаются чаще всего дорогами не выше IV категории. Среди муниципалитетов низших уровней (сельских поселений, сельсоветов, сумонов¹, наслегов²) таких уже 63.

Если рассмотреть значения ИТО, полученные для муниципалитетов шестого уровня в классификации OpenStreetMaps (к которому относятся муниципальные районы, городские округа и ЗАТО), то при использовании линейной весовой функции (рис. 8) можно видеть, что более половины таких муниципалитетов (67%) в стране в достаточно неплохой степени обеспечены автомобильными дорогами (т. е. значение ИТО для них превышает 0,5). В случае использования экспоненциальной весовой функции их доля снижается до 19%.

Наиболее обеспечены автомобильными дорогами муниципалитеты в регионах европейской части России, а также в небольших по площади регионах, за счет чего даже при небольшой протяженности опорной сети дорог в них достигается широкое покрытие территорий (табл. 2). Обратная ситуация наблюдается в регионах Сибири и Крайнего Севера, в которых опорная сеть дорог зачастую протекает линейно по небольшому числу муниципалитетов.

¹ Сумон – административно-территориальная единица в Республике Тыва.

² Наслег – низшая административная единица в Республике Саха (Якутия), соответствующая сельсовету или сельскому поселению.

Рис. 8. Распределение значений ИТО для опорной сети автомобильных дорог в зависимости от вида весовой функции

Fig. 8. Distribution of TSCI for backbone car road network depending on the type of weight function

Источник: составлено авторами.

Таблица 2

Лидирующие и отстающие регионы по ИТО, усредненному для муниципалитетов шестого уровня значимости, для опорной сети автомобильных дорог

Table 2

Top and bottom regions by TSCI for backbone car road network, averaged for municipalities of the sixth level of significance

№ п/п	Субъект РФ	ИТО (линейная весовая функция)
1	Республика Крым	0,9208
2	Московская область	0,9144
3	Калининградская область	0,8854
4	Республика Ингушетия	0,8300
5	Владимирская область	0,8054
6	Республика Северная Осетия – Алания	0,7955
7	Калужская область	0,7919
8	Республика Адыгея	0,7758
9	Воронежская область	0,7616
10	Республика Чувашия	0,7493
...	...	...
76	Архангельская область	0,3835
77	Мурманская область	0,3662
78	Томская область	0,3349
79	Хабаровский край	0,3118
80	Магаданская область	0,3079
81	Сахалинская область	0,2875
82	Камчатский край	0,2832
83	Республика Коми	0,2598
84	Республика Саха (Якутия)	0,1460
85	Чукотский автономный округ	0,0700

Источник: составлено авторами.

Анализ распределения полученных оценок ИТО по квантилям (рис. 9) показывает, что для железнодорожной инфраструктуры при использовании линейной весовой функции более половины муниципалитетов (69%) в стране характеризуются достаточно высокими значениями индекса (более 0,5). Однако аналогично автодорожной инфраструктуре при переходе к использованию экспоненциальной весовой функции их доля снижается до 17%.

Рис. 9. Распределение значений ИТО для железнодорожных станций в зависимости от вида весовой функции

Fig. 9. Distribution of TSCI for railway stations depending on the type of weight function

Источник: составлено авторами.

Ожидаемо более обеспечены железнодорожной инфраструктурой муниципалитеты в регионах европейской части России, а также в регионах – ключевых узлах железнодорожных грузоперевозок, в частности, расположенных на границе России (табл. 3). Обратная ситуация наблюдается в регионах Сибири и национальных республиках, в которых сеть железных дорог развита слабо. При составлении таблицы не учитывались регионы, в которых отсутствуют железнодорожные станции.

Важным для анализа качества полученных оценок уровня развития и доступности транспортной инфраструктуры с помощью ИТО представляется сравнение полученных его значений с традиционными показателями (плотность транспортной сети, протяженность и производные индексы / коэффициенты), которое может быть проведено только в относительных величинах, поскольку традиционные показатели не имеют ограничения сверху по абсолютной величине, в отличие от индекса транспортной обеспеченности, измеряемого в пределах от 0 до 1. В связи с этим для ряда традиционных показателей развития авто- и железнодорожной инфраструктуры, к которым относятся:

Таблица 3

Лидирующие и отстающие регионы по ИТО, усредненному для муниципалитетов шестого уровня значимости, для железнодорожной инфраструктуры

Table 3

Top and bottom regions by TSCI for railway infrastructure, averaged for municipalities of the sixth level of significance

№ п/п	Субъект РФ	ИТО (линейная весовая функция)	№ п/п	Субъект РФ	ИТО (линейная весовая функция)
1	Калининградская область	0,9035	74	Ямало-Ненецкий автономный округ	0,3415
2	Республика Крым	0,9024	75	Республика Коми	0,2598
3	Московская область	0,8953	76	Томская область	0,2447
4	Владимирская область	0,8486	77	Республика Дагестан	0,2355
5	Тульская область	0,8253	78	Республика Калмыкия	0,2147
6	Курская область	0,8228	79	Республика Бурятия	0,1171
7	Республика Адыгея	0,8128	80	Республика Тыва	0,1105
8	Тамбовская область	0,8018	81	Республика Саха (Якутия)	0,1032
9	Липецкая область	0,7903	82	Республика Алтай	0,0230
10	Калужская область	0,7889	83	Ненецкий автономный округ	0,0008

Источник: составлено авторами.

- протяженность автомобильных дорог общего пользования с твердым покрытием, км; эксплуатационная длина железнодорожных путей общего пользования, км;

- плотность автомобильных дорог общего пользования с твердым покрытием, км/1000 км²;

- коэффициенты Энгеля и Гольца.

Были рассчитаны их относительные значения по сравнению со средним значением по России. Следует отметить, что количественное сопоставление с оценками ИТО возможно только на региональном уровне, поскольку практически все базовые показатели не обеспечены статистикой на уровне муниципалитетов. Результат сравнения показателей с ИТО для автодорог представлен в таблице 4.

Результаты сравнения позволяют более четко отразить отличия построенного ИТО от традиционных показателей: оценки ИТО свидетельствуют о том, что по уровню доступности инфраструктуры некоторые регионы находятся относительно «дальше» («ближе») друг от друга, чем можно видеть на основе прочих, стандартных показателей, поскольку ИТО позволяет учитывать дополнительный фактор – расположение инфраструктуры в пространстве, а не только анализировать на некотором усредненном для каждого региона уровне.

Таблица 4
Сравнение регионов с наименьшими значениями показателей уровня развития автомобильной инфраструктуры
(по сравнению со среднероссийским значением)

Table 4
Comparison of the regions with the lowest indicators of car infrastructure development (compared to the country average)

№ п/п	Индекс транспортной обеспеченности автомобильными дорогами		Протяженность автомобильных дорог общего пользования с твердым покрытием, км		Плотность автомобильных дорог общего пользования с твердым покрытием, км/1000 км ²		Коэффициент Энгеля		Коэффициент Гольца		
	Регион	Х	Регион	Х	Регион	Х	Регион	Х	Регион	Х	
Хуже в Х раз	1	Красноярский край	6,2	Ненецкий автономный округ	36,0	Чукотский автономный округ	248,2	Ямало-Ненецкий автономный округ	11,0	Чукотский автономный округ	29,6
	2	Ненецкий автономный округ	5,1	Чукотский автономный округ	14,8	Ненецкий автономный округ	147,4	Чукотский автономный округ	8,9	Ненецкий автономный округ	28,7
	3	Ямало-Ненецкий автономный округ	4,9	Севастополь	12,9	Ямало-Ненецкий автономный округ	96,7	Ненецкий автономный округ	8,5	Республика Саха (Якутия)	15,8
	4	Камчатский край	4,4	Камчатский край	6,2	Республика Саха (Якутия)	75,8	Камчатский край	7,5	Ямало-Ненецкий автономный округ	15,6
	5	Чукотский автономный округ	4,0	Сахалинская область	5,8	Камчатский край	66,6	Ханты-Мансийский автономный округ	6,5	Архангельская область	15,5
	6	Хабаровский край	4,0	Ямало-Ненецкий автономный округ	5,4	Магаданская область	52,7	Республика Саха (Якутия)	5,8	Камчатский край	13,6
	7	Магаданская область	3,6	Еврейская автономная область	5,2	Ханты-Мансийский автономный округ	27,3	Хабаровский край	4,4	Республика Коми	11,7
	8	Республика Саха (Якутия)	3,4	Магаданская область	4,9	Красноярский край	25,1	Тюменская область	4,2	Красноярский край	10,0
	9	Архангельская область	2,3	Республика Ингушетия	4,2	Хабаровский край	24,6	Магаданская область	4,0	Магаданская область	10,0
	10	Мурманская область	2,1	Мурманская область	3,7	Тюменская область	19,5	Мурманская область	3,9	Тюменская область	9,4

№ п/п	Индекс транспорт- ной обеспеченности автомобильными дорогами		Протяженность автомо- бильных дорог общего пользования с твердым покрытием, км		Плотность автомо- бильных дорог общего пользования с твердым покрытием, км/1000 км ²		Коэффициент Энгеля		Коэффициент Гольца	
	Регион	Х	Регион	Х	Регион	Х	Регион	Х	Регион	Х
Хуже в Х раз	Иркутская об- ласть	1,9	Санкт-Петербург	3,7	Республика Коми	18,8	Красноярский край	3,8	Сахалинская об- ласть	8,6
	Томская область	1,9	Республика Тыва	3,6	Архангельская область	14,2	Сахалинская об- ласть	3,8	Хабаровский край	8,6
	Сахалинская область	1,8	Республика Кал- мыкия	3,4	Республика Тыва	13,9	Республика Коми	3,7	Ханты-Мансий- ский автономный округ	7,9
	Республика Тыва	1,8	Астраханская об- ласть	2,9	Мурманская об- ласть	12,5	Томская область	3,0	Томская область	7,7
	Ханты-Мансий- ский автоном- ный округ	1,8	Республика Ады- гея	2,8	Томская область	12,1	Архангельская область	2,7	Вологодская об- ласть	7,6
	Республика Коми	1,6	Республика Алтай	2,8	Сахалинская об- ласть	11,7	Республика Тыва	2,6	Республика Бу- рятия	7,0
	Республика Бурятия	1,6	Республика Марий Эл	2,6	Республика Бурятия	11,1	Республика Бу- рятия	2,5	Кировская область	6,4
	Амурская об- ласть	1,5	Карачаево-Черкес- ская Республика	2,5	Иркутская об- ласть	9,5	Иркутская об- ласть	2,3	Костромская об- ласть	6,3
	Забайкальский край	1,4	Республика Северная Осетия – Алания	2,3	Амурская об- ласть	8,5	Астраханская об- ласть	2,1	Иркутская область	6,2
	Республика Алтай	1,2	Республика Ха- касия	2,3	Забайкальский край	8,5	Забайкальский край	1,8	Республика Тыва	6,2

Источник: составлено авторами.

В таблице 4 приведены 20 регионов с наибольшим расхождением по тому или иному показателю по сравнению со средним значением по России. Можно видеть, что примерно половина списка регионов с наименьшими относительными значениями остается неизменной при переходе от одного показателя к другому, однако их относительные позиции по сравнению со среднероссийским уровнем достаточно существенно различаются. Так, например, Чукотский АО при использовании базовых показателей оказывается на несколько порядков хуже обеспечен автодорожной инфраструктурой по сравнению со среднероссийским уровнем, в то время как оценка ИТО показывает различие лишь в 4,0 раза. В таблице 5 аналогичным образом производится сравнение показателей, характеризующих развитие железнодорожной инфраструктуры в регионах страны. К регионам с низкими показателями развития железнодорожной инфраструктуры относятся Республики Саха (Якутия) и Калмыкия, Ямало-Ненецкий автономный округ и Томская область.

Несмотря на то, что, как уже было упомянуто выше, сравнительный анализ оценок ИТО с альтернативными базовыми показателями развития транспортной инфраструктуры на муниципальном уровне затруднен отсутствием статистических данных, проведение такого анализа достаточно важно для понимания особенностей построенного индекса. Поэтому представляется интересным сравнение полученных оценок ИТО, например, с результатами исследования (Лидеры..., 2018), в котором на основе опросных данных, включавших в себя оценку жителями крупнейших российских городов (с численностью населения, превышающей 250 тыс. чел.) качества дорожно-транспортной инфраструктуры (в трех категориях: «состояние автомобильных дорог», «работа общественного транспорта» и «работа ГИБДД»), был рассчитан индекс состояния дорожного хозяйства и составлен рейтинг городов-лидеров. Согласно полученным в работе (Лидеры..., 2018) результатам, в пятерку лучших городов по показателю качества дорожно-транспортной инфраструктуры входят Грозный, Казань, Череповец, Тюмень и Нижневартовск. Москва занимает 14-е место, Санкт-Петербург – 67-е. Для целей сопоставления особый интерес представляет сравнение ИТО с полученным в (Лидеры..., 2018) индексом состояния автомобильных дорог, для которого в таблице 6 представлены 33 города¹, обладающие наиболее высокими значениями данного показателя.

¹ Такое количество объектов выбрано для удобства дальнейшего сравнения.

Таблица 5
Сравнение регионов с наименьшими значениями показателя по уровню развития железнодорожной инфраструктуры
(по сравнению со среднероссийским значением)

Table 5
Comparison of the regions with the lowest indicators of railway infrastructure development (compared to the country average)

№ п/п	Индекс транспортной обеспеченности железно-дорожными станциями	Эксплуатационная длина железнодорожных путей общего пользования, км		Коэффициент Энгеля		Коэффициент Гольца	
		Регион	У	Регион	У	Регион	У
Хуже в У раз	1	Республика Алтай	160,2	Республика Ингушетия	26,6	Республика Саха (Якутия)	9,5
	2	Республика Саха (Якутия)	42,2	Карачаево-Черкесская Республика	20,4	Томская область	4,9
	3	Республика Тыва	32,4	Кабардино-Балкарская Республика	7,7	Карачаево-Черкесская Республика	4,7
	4	Красноярский край	29,5	Республика Северная Осетия – Алания	7,2	Ямало-Ненецкий автономный округ	3,9
	5	Хабаровский край	10,8	Республика Марий Эл	6,8	Красноярский край	3,6
	6	Иркутская область	10,4	Республика Адыгея	6,4	Республика Ингушетия	3,1
	7	Томская область	9,2	Республика Калмыкия	6,3	Томенская область	2,7
	8	Ямало-Ненецкий автономный округ	7,3	Чеченская Республика	3,4	Республика Калмыкия	2,5
	9	Архангельская область	6,5	Томская область	3,0	Ханты-Мансийский автономный округ	2,5
	10	Забайкальский край	6,2	Ивановская область	3,0	Республика Марий Эл	2,4
	11	Амурская область	5,9	Чувашская Республика	2,4	Кабардино-Балкарская Республика	2,2

№ п/п	Индекс транспортной обеспеченности железно- дорожными станциями		Эксплуатационная длина железнодорожных путей общего пользования, км		Коэффициент Энгеля		Коэффициент Гольца		
	Регион	У	Регион	У	Регион	У	Регион	У	
Хуже в У раз	12	Республика Коми	5,7	Санкт-Петербург	2,4	Республика Дагестан	2,2	Тюменская область	6,7
	13	Ханты-Мансийский автономный округ	5,5	Ямало-Ненецкий автоном- ный округ	2,1	Омская область	2,1	Костромская область	6,4
	14	Республика Калмыкия	3,5	Москва	2,1	Республика Татарстан	1,7	Кировская область	6,3
	15	Республика Бурятия	3,0	Республика Дагестан	2,0	Иркутская область	1,6	Республика Дагестан	6,1
	16	Мурманская область	2,9	Еврейская автономная область	2,0	Вологодская область	1,6	Республика Башкорт- стан	6,1
	17	Свердловская область	2,9	Республика Саха (Якутия)	2,0	Республика Башкор- тостан	1,5	Псковская область	6,1
	18	Сахалинская область	2,8	Республика Мордовия	1,9	Республика Северная Осетия – Алания	1,5	Ямало-Ненецкий авто- номный округ	6,0
	19	Республика Карелия	2,0	Орловская область	1,7	Чеченская Республика	1,4	Республика Татарстан	5,7
	20	Омская область	1,9	Республика Крым	1,6	Республика Бурятия	1,4	Пермский край	5,2

Источник: составлено авторами.

Города-лидеры по величине индекса состояния дорожного хозяйства

Таблица 6

Table 6

Top cities by the index of road condition

№ п/п	Город	Значение индекса	№ п/п	Город	Значение индекса
1	Грозный	1,000	18	Севастополь	0,814
2	Череповец	0,932	19	Ярославль	0,797
3	Тамбов	0,898	20	Москва	0,797
4	Сургут	0,898	21	Тольятти	0,780
5	Тула	0,898	22	Стерлитамак	0,763
6	Чебоксары	0,898	23	Тверь	0,763
7	Ставрополь	0,898	24	Чита	0,763
8	Казань	0,881	25	Ульяновск	0,763
9	Улан-Удэ	0,881	26	Саратов	0,746
10	Челябинск	0,864	27	Сочи	0,712
11	Тюмень	0,847	28	Набережные Челны	0,678
12	Томск	0,831	29	Симферополь	0,644
13	Уфа	0,831	30	Нижневартовск	0,627
14	Хабаровск	0,831	31	Химки	0,610
15	Смоленск	0,814	32	Белгород	0,559
16	Саранск	0,814	33	Магнитогорск	0,559
17	Якутск	0,814			

Источник: Лидеры..., 2018.

Следует отметить, что среди предложенных критериев оценки дорожного хозяйства (Лидеры..., 2018) основной акцент сделан на субъективную оценку качества инфраструктуры, в то время как ИТО подразумевает в большей степени количественный анализ. Таким образом, сопоставление результатов расчета указанных показателей позволяет сформировать комплексную картину состояния автодорожной сети в крупнейших (по численности населения) городах России. В таблице 7 по аналогии с таблицей 6 приведены 33 города с максимальным значением ИТО для автомобильных дорог, равным единице.

Максимальное значение ИТО у представленных городов означает, что 100% территории (и, соответственно, жителей) города находятся в зоне пятикилометровой доступности от сети автомобильных дорог. Можно видеть, что 16 из 33 городов (т. е. 48,4%, а именно Белгород, Грозный, Набережные Челны, Саратов, Симферополь, Смоленск и др.) встречаются в обоих рейтингах. Таким образом, можно говорить о том, что высокая степень пространственной доступности автодорожной инфраструктуры находит отражение и в оценках непосредственных ее пользователей, которые характеризуют ее уровень развития и высокое качество.

Города-лидеры по величине ИТО для автодорожной инфраструктуры

Таблица 7

Table 7

Top cities by TSCI for car infrastructure

№ п/п	Город	ИТО	№ п/п	Город	ИТО	№ п/п	Город	ИТО
1	Грозный	1,00	12	Саратов	1,00	23	Ростов-на-Дону	1,00
2	Череповец	1,00	13	Набережные Челны	1,00	24	Новокузнецк	1,00
3	Тамбов	1,00	14	Симферополь	1,00	25	Пенза	1,00
4	Челябинск	1,00	15	Химки	1,00	26	Орел	1,00
5	Тюмень	1,00	16	Белгород	1,00	27	Нижний Новгород	1,00
6	Томск	1,00	17	Калининград	1,00	28	Астрахань	1,00
7	Смоленск	1,00	18	Кемерово	1,00	29	Иваново	1,00
8	Ярославль	1,00	19	Самара	1,00	30	Новосибирск	1,00
9	Тольятти	1,00	20	Владимир	1,00	31	Брянск	1,00
10	Стерлитамак	1,00	21	Липецк	1,00	32	Рязань	1,00
11	Тверь	1,00	22	Ижевск	1,00	33	Йошкар-Ола	1,00

Источник: составлено авторами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Традиционные линейные измерители уровня развития транспортной инфраструктуры разрабатывались в эпоху ограниченного доступа к пространственным данным. Среди таких показателей чаще всего используются характеристики насыщенности (например, длина сети автомобильных дорог или железнодорожных путей, стоимость основных фондов, количество инфраструктурных объектов, количество занятых и т. п.) с нормирующими показателями для оцениваемой территории (например, к таким показателям относятся исходные и модифицированные коэффициенты Энгеля, Гольца, Успенского, Василевского и др.). Развитие современных методов и инструментов анализа, в частности геоинформационных систем, повышение доступности для исследователей детализированных картографических данных, содержащих информацию по пространственному распределению объектов инфраструктуры и показателей экономической активности, позволило в полной мере учесть пространственный аспект при оценке уровня обеспеченности территорий транспортной инфраструктурой за счет построения альтернативных стандартным показателям развития инфраструктуры.

В настоящей статье были представлены оценки ИТО (индекса транспортной обеспеченности инфраструктурой), который является одним из альтернативных показателей и описывает пространственную доступность российской авто- и железнодорожной инфраструктуры на региональном (85 субъектов РФ) и муниципальном (более 22 тыс. муниципалитетов) уровнях.

Подход, лежащий в основе построения ИТО, лишен существенной части недостатков базовых линейных индикаторов развития инфраструктуры и позволяет учитывать не только ее линейную протяженность, но и характеристики ее зоны «притяжения» – долю площади такой зоны в общей площади рассматриваемой территории (административного субъекта) либо аналогично долю экономической активности (численности населения, объемов валовой добавленной стоимости и других показателей), расположенной в зоне тяготения транспортной инфраструктуры. Это позволяет учитывать специфику формирования участков транспортной инфраструктуры, их пространственного расположения, особенности рельефа (например, исключать из рассмотрения для зоны тяготения озера, горы и другие непригодные для экономической активности зоны) при сохранении универсальности подхода для инфраструктуры различных видов транспорта.

Одним из преимуществ представленного индекса является то, что он позволяет учитывать развитие инфраструктуры не только на непосредственно рассматриваемой территории, но и на прилегающих к ней, поскольку сформированные зоны притяжения экономической активности могут выходить за границы отдельных регионов или муниципалитетов, что, таким образом, позволяет оценить степень оснащенности инфраструктурой даже для регионов, не обеспеченных инфраструктурой напрямую.

Помимо пространственной «чувствительности» ИТО, в отличие от базовых индикаторов развития инфраструктуры, нормирован по абсолютной величине в пределах интервала $[0;1]$, что позволяет использовать его для сравнения и при прочих равных ранжирования различных инфраструктурных проектов по степени их влияния на повышение охвата рассматриваемой территории транспортной инфраструктурой, что может играть важную роль для определения ориентиров экономической политики в транспортной сфере.

Согласно полученным результатам оценки ИТО, обеспеченность автомобильной инфраструктурой в регионах России находится на достаточно высоком уровне: в 46 регионах (54,1% всех регионов) значение ИТО больше 0,9, при этом лидерами по обеспеченности автодорогами являются Москва, а также Липецкая, Белгородская, Орловская и Московская области. Кроме того, в 69 регионах (т. е. в 81,2% всех регионов) этот показатель превышает 0,5. Для железнодорожной инфраструктуры индекс в целом позволяет сделать схожие выводы – из 85 регионов только два обладают крайне высокой степенью обеспеченности железнодорожной инфраструктурой (т. е. для них ИТО превышает 0,9) – Москва и Санкт-Петербург. Для 41 региона (48,2%) значение индекса превышает 0,5. В целом вся восточная часть страны, не смотря на большую протяженность железнодорожных путей, характеризу-

ется их низкой плотностью: железнодорожные станции расположены в отдалении друг от друга и их зоны влияния не пересекаются.

Полученные оценки ИТО в целом согласуются с базовыми показателями развития инфраструктуры, однако при этом ранжирование регионов по уровню транспортной обеспеченности показывает, что некоторые регионы находятся относительно «дальше» («ближе») друг от друга, чем можно видеть на основе прочих, стандартных показателей, поскольку ИТО позволяет учитывать дополнительный фактор – расположение инфраструктуры в пространстве, а не только анализировать на некотором усредненном для каждого региона уровне. Так, например, Чукотский АО при использовании базовых показателей оказывается на несколько порядков хуже обеспечен автодорожной инфраструктурой по сравнению со среднероссийским уровнем, в то время как оценка ИТО показывает, что «разрыв» существенно менее выражен (различие лишь в 4 раза).

Оценка ИТО на муниципальном уровне показывает, что практически во всех регионах среднее значение ИТО по входящим в них муниципалитетам выше, чем оценка ИТО на уровне соответствующего региона в целом. Расхождение в оценке ИТО на двух рассматриваемых уровнях детализации оказывается тем больше, чем более неравномерно в регионе административное деление и пространственное расположение транспортной сети. Таким образом, оценка регионального ИТО за счет формального учета при его расчете территорий вне пределов муниципальных образований, в которых находится основная часть населения и экономической активности, оказывается в определенной степени занижена (например, составляет 0,03 для Красноярского края в целом против 0,44 в среднем для муниципалитетов, входящих в его состав).

Можно отметить несколько потенциальных направлений совершенствования и дальнейшего развития представленного подхода к оценке пространственной обеспеченности территорий транспортной инфраструктурой.

Во-первых, учет при расчете показателей инфраструктурной обеспеченности не только конфигурации существующей транспортной сети, но и распределения экономической активности и населения по территории, входящей в ее зону тяготения. Это позволит получить более точные оценки индекса и впоследствии его влияния на экономические показатели для неравномерно- и слабозаселенных территорий, что является немаловажным фактором для России с ее сильной пространственной дифференциацией не только на межрегиональном, но и на межмуниципальном уровне.

Во-вторых, важным направлением развития является возможность учета топографических особенностей местности при расчете показателя (исключение из расчета высокогорных регионов, водоемов и прочих естественных

преград для доступа населения к инфраструктуре). Это позволит исключить случаи, при которых использование инфраструктуры становится невозможным, даже если потенциальный пользователь находится в непосредственной близости от нее.

В-третьих, учет технологических и эксплуатационных характеристик инфраструктуры (например, пропускной способности, числа полос движения, уровня транспортной загруженности и т. п.). Предполагается, что по мере снижения категории дороги уменьшается и ее зона влияния, поскольку ключевые федеральные магистрали притягивают широкие массы потребителей, в то время как местные дороги в основном служат локальным потребностям.

Построенный индекс транспортной обеспеченности, особенно после описанных возможных модификаций, ставит на повестку вопрос о его использовании в качестве замены традиционным измерителям развития транспортной системы, что должно стать базой для дальнейших экономических исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Дабиев Д.Ф., Дабиева У.М. Оценка транспортной инфраструктуры макрорегионов России // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2015. № 11-2. С. 283–284.
- Интегрированная транспортная система / под науч. рук. П. Чистякова; Центр стратегических разработок. М., 2018. 278 с. URL: <https://www.csr.ru/wp-content/uploads/2018/05/Report-Traffic-Infrastructure-2.0.pdf> (дата обращения: февраль 2018).
- Классификация дорог / OpenStreetMap Wiki. 2019. URL: https://wiki.openstreetmap.org/wiki/RU:Highway_classification (дата обращения: январь 2019).
- Лидеры по состоянию дорожного хозяйства – Грозный, Казань, Череповец, Тюмень, Нижневартовск / Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации. М., 2018. 7 с. / рук. проекта А.Н. Зубец. URL: http://www.fa.ru/Documents/70_Roads_2018.pdf (дата обращения: сентябрь 2018).
- Литвинова Ю.О., Пономарев Ю.Ю. Анализ влияния развития транспортной инфраструктуры на совокупную факторную производительность // *Российское предпринимательство*. 2016. Т. 17. № 1. С. 89–98. DOI: 10.18334/rp.17.1.2200.
- Эксплуатационная длина железнодорожных путей общего пользования. 2000–2017 / ФСГС. 2017. URL: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/business/trans-sv/t2-1.xlsx (дата обращения: сентябрь 2018).
- Arbués P., Baños J.F., Mayor M. The Spatial Productivity of Transportation Infrastructure // *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 2015. Vol. 75. Pp. 166–177. DOI: 10.1016/j.tra.2015.03.010.
- Baradaran S., Ramjerdi F. Performance of Accessibility Measures in Europe // *Journal of Transportation and Statistics*. 2001. Vol. 4. No. 3. Pp. 31–48.
- Cipeluch B., Jacob R., Winstanley A., Mooney P. Comparison of the Accuracy of OpenStreetMap for Ireland with Google Maps and Bing Maps // *Accuracy-2010* (20–23 July, 2010, Leicester) / International Spatial Accuracy Research Association. 2010. Pp. 337–

340. URL: https://www.spatial-accuracy.org/system/files/img-X07133419_0.pdf (дата обращения: февраль 2019).
- Da Silva A.N.R., Manzato G.G., Pereira H.T.S.* Defining Functional urban Regions in Bahia, Brazil, Using Roadway Coverage and Population Density Variables // *Journal of Transport Geography*. 2014. Vol. 36. Pp. 79–88. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2014.03.001.
- Geurs K.T., van Wee B.* Accessibility Evaluation of Land-Use and Transport Strategies: Review and Research Directions // *Journal of Transport Geography*. 2004. Vol. 12. Issue 2. Pp. 127–140. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2003.10.005.
- Gorman S.* OpenStreetMap vrs Google Maps / Teleatlas Coverage. 2010.
- Haklay M.* How Good is Volunteered Geographical Information? A Comparative Study of OpenStreetMap and Ordnance Survey Datasets // *Environment and Planning B: Planning and Design*. 2010. Vol. 37. Issue 4. Pp. 682–703. DOI: 10.1068/b35097.
- Infraestrutura Econômica – Sistema de Informações Regionalmente Especializadas: Desenvolvimento Metodológico e Mapeamento de Informações / IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada; Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.* 2003.
- Li X., Huang B., Li R., Zhang Y.* Exploring the Impact of High Speed Railways on the Spatial Redistribution of Economic Activities – Yangtze River Delta Urban Agglomeration as a Case Study // *Journal of Transport Geography*. 2016. Vol. 57. Pp. 194–206. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2016.10.011.
- Magalhães M.T.* Spatial Coverage Index for Assessing National and Regional Transportation Infrastructures // *Journal of Transport Geography*. 2016. Vol. 56. Pp. 53–61. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2016.08.015.
- Manzato G.G., Dias R.S., Rodrigues da Silva A.N.* Capacity of Roadway Infrastructure and its Relation with Functional Urban Regions // *Computers in Urban Planning and Urban Management*. 14th International Conference (July 7–10, 2015, Cambridge). Cambridge, MA USA. 2015. 17 p. URL: http://web.mit.edu/cron/project/CUPUM2015/proceedings/Content/analitics/209_manzato_h.pdf (дата обращения: март 2019).
- Melo P.C., Graham D.J., Brage-Ardao R.* The Productivity of Transport Infrastructure Investment: A Meta-Analysis of Empirical Evidence // *Regional Science and Urban Economics*. 2013. Vol. 43. Issue 5. Pp. 695–706. DOI: 10.1016/j.regsciurbeco.2013.05.002.
- OECD Environmental Indicators: Development, Measurement and Use / OECD.* Reference Paper. Paris, 2003. 37 p. URL: <http://www.oecd.org/environment/indicators-modelling-outlooks/24993546.pdf> (дата обращения: февраль 2019).
- Performance and Impact Indicators for Transport / World Bank.* 2004. 17 p. URL: http://siteresources.worldbank.org/INTTRM/Resources/040227_redis-transport.pdf (дата обращения: март 2019).
- Road Infrastructure, Inclusive Development and Traffic Safety in Korea / OECD.* Paris: OECD Publishing, 2016. 148 p. DOI: 10.1787/9789264255517-en.
- Spiekermann K., Wegene M., Kveton V., Marada M., Schürmann C., Biosca O., Uljed Segu A., Antikaine H., Kotavaara O., Rusanen J., Bielanska D., Fiorello D., Komornicki T., Rosik P., Stepniak M.* Transport Accessibility at Regional / Local Scale in Europe. TRACC Scientific Report. Vol. 2. Luxemburg: ESPON, 2015.
- Van de Vooren F.W.C.J.* Modelling Transport in Interaction With the Economy // *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2004. Vol. 4. Issue 5. Pp. 417–437. DOI: 10.1016/j.tre.2003.11.001.

REFERENCES

- Arbués P., Baños J.F., Mayor M. The Spatial Productivity of Transportation Infrastructure. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2015, vol. 75, pp. 166–177. DOI: 10.1016/j.tra.2015.03.010.
- Baradaran S., Ramjerdi F. Performance of Accessibility Measures in Europe. *Journal of Transportation and Statistics*, 2001, vol. 4, no. 3, pp. 31–48.
- Cipeluch B., Jacob R., Winstanley A., Mooney P. Comparison of the Accuracy of OpenStreetMap for Ireland with Google Maps and Bing Maps. *Accuracy-2010 (20–23 July, 2010, Leicester)*. International Spatial Accuracy Research Association, 2010, pp. 337–340. Available at: https://www.spatial-accuracy.org/system/files/img-X07133419_0.pdf (accessed February 2019).
- Classification of Roads*. OpenStreetMap Wiki, 2019. Available at: https://wiki.openstreetmap.org/wiki/RU:Highway_classification (accessed January 2019). (In Russian).
- Da Silva A.N.R., Manzato G.G., Pereira H.T.S. Defining Functional urban Regions in Bahia, Brazil, Using Roadway Coverage and Population Density Variables. *Journal of Transport Geography*, 2014, vol. 36, pp. 79–88. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2014.03.001.
- Dabiev D.F., Dabieva U.M. Assessment of the Infrastructure of Transport of Russia. *Mezhdunarodnyy Zhurnal Prikladnykh i Fundamentalnykh Issledovaniy* [International Journal of Applied and Fundamental Research], 2015, no. 11-2, pp. 283–284. (In Russian).
- Geurs K.T., van Wee B. Accessibility Evaluation of Land-Use and Transport Strategies: Review and Research Directions. *Journal of Transport Geography*, 2004, vol. 12, issue 2, pp. 127–140. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2003.10.005.
- Gorman S. *OpenStreetMap vrs Google Maps*. Teleatlas Coverage, 2010.
- Haklay M. How Good is Volunteered Geographical Information? A Comparative Study of OpenStreetMap and Ordnance Survey Datasets. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2010, vol. 37, issue 4, pp. 682–703. DOI: 10.1068/b35097.
- Infraestrutura Econômica – Sistema de Informações Regionalmente Especializadas: Desenvolvimento Metodológico e Mapeamento de Informações*. IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada; Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2003. (In Portuguese).
- Integrated Transport System*. Edited by P. Chistyakov. Center for Strategic Development. Moscow, 2018, 278 p. Available at: <https://www.csr.ru/wp-content/uploads/2018/05/Report-Traffic-Infrastructure-2.0.pdf> (accessed February 2018). (In Russian).
- Leaders on a Condition of Road Economy – Grozny, Kazan, Cherepovets, Tyumen, Nizhnevartovsk*. Head of Research A.N. Zubets. Financial University under the Government of the Russian Federation. Moscow, 2018, 7 p. Available at: http://www.fa.ru/Documents/70_Roads_2018.pdf (accessed September 2018). (In Russian).
- Li X., Huang B., Li R., Zhang Y. Exploring the Impact of High Speed Railways on the Spatial Redistribution of Economic Activities – Yangtze River Delta Urban Agglomeration as a Case Study. *Journal of Transport Geography*, 2016, vol. 57, pp. 194–206. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2016.10.011.
- Litvinova Yu.O., Ponomarev Yu.Yu. Analysis of the Impact of Transport Infrastructure Development on Total Factor Productivity. *Rossiyskoe Predprinimatel'stvo = Russian Journal of Entrepreneurship*, 2016, vol. 17, no. 1, pp. 89–98. DOI: 10.18334/rp.17.1.2200. (In Russian).
- Magalhães M.T. Spatial Coverage Index for Assessing National and Regional Transportation Infrastructures. *Journal of Transport Geography*, 2016, vol. 56, pp. 53–61. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2016.08.015.
- Manzato G.G., Dias R.S., Rodrigues da Silva A.N. Capacity of Roadway Infrastructure and

- its Relation with Functional Urban Regions. *Computers in Urban Planning and Urban Management. 14th International Conference (July 7–10, 2015, Cambridge)*. Cambridge, MA USA, 2015, 17 p. Available at: http://web.mit.edu/cron/project/CUPUM2015/proceedings/Content/analytics/209_manzato_h.pdf (accessed March 2019).
- Melo P.C., Graham D.J., Brage-Ardao R. The Productivity of Transport Infrastructure Investment: A Meta-Analysis of Empirical Evidence. *Regional Science and Urban Economics*, 2013, vol. 43, issue 5, pp. 695–706. DOI: 10.1016/j.regsciurbeco.2013.05.002.
- OECD Environmental Indicators: Development, Measurement and Use*. OECD. Reference Paper. Paris, 2003, 37 p. Available at: <http://www.oecd.org/environment/indicators-modelling-outlooks/24993546.pdf> (accessed February 2019).
- Operational Length of Railway Lines of General Use. 2000–2017*. Federal State Statistics Service, 2017. Available at: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/business/trans-sv/t2-1.xlsx (accessed September 2018). (In Russian).
- Performance and Impact Indicators for Transport*. World Bank, 2004, 17 p. Available at: http://siteresources.worldbank.org/INTTRM/Resources/040227_redis-transport.pdf (accessed March 2019).
- Road Infrastructure, Inclusive Development and Traffic Safety in Korea*. OECD. Paris: OECD Publishing, 2016, 148 p. DOI: 10.1787/9789264255517-en.
- Spiekermann K., Wegene M., Kveton V., Marada M., Schürmann C., Biosca O., Uljed Segu A., Antikaine H., Kotavaara O., Rusanen J., Bielanska D., Fiorello D., Komornicki T., Rosik P., Stepniak M. Transport Accessibility at Regional / Local Scale in Europe. *TRACC Scientific Report*, vol. 2. Luxemburg: ESPON, 2015.
- Van de Vooren F.W.C.J. Modelling Transport in Interaction With the Economy. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2004, vol. 4, issue 5, pp. 417–437. DOI: 10.1016/j.tre.2003.11.001.

Поступила в редакцию 26 декабря 2018 г.