

УДК 528.9

<https://doi.org/10.32362/2500-316X-2021-9-4-85-97>

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

## Пространственные взаимосвязи сети автодорог и покрытия сотовой связью на основе открытых геоданных: обзор и опыт использования на примере Иркутской области

Е.С. Подольская @

МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, 119454 Россия

@ Автор для переписки, e-mail: [podolskaya@mirea.ru](mailto:podolskaya@mirea.ru)

**Резюме.** Геоинформационные технологии и данные широко используются для выявления самых разнообразных взаимосвязей. Работа посвящена изучению взаимного расположения дорожной сети (на примере сети автодорог общего пользования) и покрытия сотовой связью российских операторов связи на территории России. Дана характеристика транспортных исследований с выделением ГИС-проектов. Сделан обзор современных веб-сервисов, Open Data и разработок Open Source в транспортных проектах. Описаны данные, сервисы геоданных и веб-проекты покрытия сотовой связью территории России (русскоязычные источники). В практической части показаны примеры растров транспортной доступности в границах тестового региона России (Иркутская область, Сибирский федеральный округ), выполнен анализ пространственных взаимосвязей дорожной сети и покрытия связью для компаний-операторов Вымпелком/Билайн, Мегафон и МТС на основе открытых данных в открытом ГИС-приложении QGIS. Покрытие связью варьируется от 63% (Вымпелком для зоны в 2.5 км) до 94% (Мегафон в зоне 10 км), где за 100% принимается общее количество сот в сети соответствующего оператора в пределах региона. Отмечено, что открытые данные о дорожной сети общего пользования и сотовой связи для территории России отличаются разной подробностью в зависимости от региона; изученные наборы и сервисы данных о связи не содержат значимой атрибутивной информации. Важным вопросом практического использования продолжает оставаться их актуальность, поддерживаемая компаниями-операторами, являющимися источниками данных для публикаций на официальных сайтах российских министерств и администраций регионов.

**Ключевые слова:** дорожная сеть, автодороги, транспортная доступность, покрытие сотовой связью, наборы открытых данных, геосервисы, Open Data, OSM, QGIS

• Поступила: 18.05.2021 • Доработана: 21.05.2021 • Принята к опубликованию: 25.05.2021

**Для цитирования:** Подольская Е.С. Пространственные взаимосвязи сети автодорог и покрытия сотовой связью на основе открытых геоданных: обзор и опыт использования на примере Иркутской области. *Российский технологический журнал*. 2021;9(4):85–97. <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2021-9-4-85-97>

**Прозрачность финансовой деятельности:** Автор не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

RESEARCH ARTICLE

# Spatial relationships of road network and cellular coverage based on the Open Geodata: review and user case of Irkutsk Region

Ekaterina S. Podolskaia <sup>®</sup>

MIREA – Russian Technological University, Moscow, 119454 Russia

<sup>®</sup> Corresponding author, e-mail: podolskaya@mirea.ru

**Abstract.** Geographic information technologies and data are widely used to identify a variety of spatial relationships. The paper is devoted to the study of the mutual location between the road network (as exemplified by the public roads network) and cellular coverage of the Russian telecom operators on the territory of Russia. Transport researches are characterized with an emphasis of GIS projects. Then, an overview of modern web services, Open Data and Open Source developments in transport projects is made. The data, geodata services and web projects of cellular coverage for the territory of Russia are described by the examples of Russian-language sources. The practical part of the study shows the global transport accessibility raster datasets for the test region of Russia (Irkutsk Region, Siberian Federal District). An analysis of spatial relationships between roads and cellular coverages provided by VimpelCom/Beeline, Megafon and MTS is based on the Open Data in the Open Source GIS application QGIS. Coverage varies between 63% (VimpelCom for the buffer zone of 2.5 km) and 94% (Megafon for the zone of 10 km), where 100% is the total number of cells (polygons) within the network of a respective operator in the region. We have noted that Open Data on the public road network and cellular communication for the territory of Russia differ by region, the studied communication datasets and data services do not contain significant attributive information, they consist of polygon geometry only. Frequency of their updates depends on the operating companies. The operators then provide the data for the publication to the Russian ministries and regional administrations.

**Keywords:** road network, highways, transport accessibility, cellular coverage, open data sets, geoservices, Open Data, OSM, QGIS

• Submitted: 18.05.2021 • Revised: 21.05.2021 • Accepted: 25.05.2021

**For citation:** Podolskaia E.S. Spatial relationships of road network and cellular coverage based on the Open Geodata: review and user case of Irkutsk Region. *Rossiiskii tekhnologicheskii zhurnal = Russian Technological Journal*. 2021;9(4):85–97 (in Russ.). <https://doi.org/10.32362/2500316X-2021-9-4-85-97>

**Financial disclosure:** The author has no a financial or property interest in any material or method mentioned.

The author declares no conflicts of interest.

## ВВЕДЕНИЕ

Направление изучения пространственных связей между расположением дорог разных классов и покрытием сотовой связью, предоставляемым целым рядом компаний в России и мире, является актуальным ввиду ряда нерешенных задач технологического и нормативного характера. Один из вызовов для этого направления – существование ограничений в наличии и актуальности данных для территории России и мира, которое в настоящее время решается при помощи открытых данных (Open Data) и разработок на основе открытого кода (Open Source). Проекты в сфере транспортной инфраструктуры связаны с проектами

по покрытию связью. Среди примеров российских научных исследований последних лет в этой области отметим опыт использования данных о перемещениях пассажиров-владельцев мобильных телефонов (данные от операторов мобильной связи) для оптимизации сети маршрутов общественного транспорта [1]. Мобильная связь рассматривается как часть сотовой связи. Далее по тексту статьи используются данные и сервисы компаний-операторов сотовой связи, предоставляющих услуги связи разных поколений.

Целью работы является изучений взаимосвязей между расположением дорожной сети (на примере сети автодорог общего пользования) и покрытием сотовой связью крупнейших российских операторов на

территории России. Для реализации указанной цели были поставлены задачи представления общей характеристики исследований по транспортному моделированию и транспортной доступности с выделением ГИС-проектов, обзора современных веб-сервисов, Open Data и разработок Open Source в транспортных проектах, изучения данных, сервисов геоданных и веб-проектов покрытия сотовой связью территории России, а также использования растров транспортной доступности и выполнения ГИС-анализа связей дорожной сети и покрытия сотовой связью для характеристики тестового региона России (Иркутская область, Сибирский федеральный округ) на основе открытых данных в открытом ГИС-приложении QGIS.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### Общие закономерности исследований по транспортному моделированию и транспортной доступности

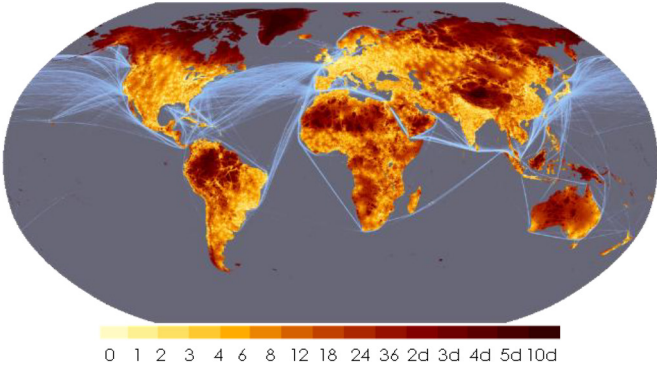
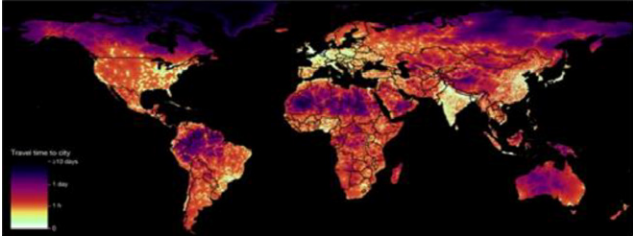
Транспортное моделирование и транспортная доступность в настоящее время являются достаточно освоенной темой [2, 3]. Создаются и развиваются модели движения транспорта в городском, областном, региональном и федеральном масштабах с разной тематической и целевой направленностью [4, 5], привлекаются методы принятия решений [6]. Рынок транспортных информационных технологий динамично развивается

в России и мире. Появляются и используются новые технические возможности хранения больших объемов данных о дорогах разных типов и связанной с ними транспортной инфраструктуре, разрабатываются сервисы инфраструктурных данных. Транспортные вопросы являются частью исследований тематических областей [7, 8]. Транспортная доступность определяется как совокупность возможностей территории для социально-экономического развития [9] и как индикатор развития региона [10]. Принимая во внимание широкое использование термина «транспортная доступность» (transport accessibility) в иностранной литературе, а также для максимально возможного сопоставления российских и иностранных работ в части используемых терминов, в предлагаемой работе мы рассматриваем *транспортную доступность*, определяемую наличием и характеристиками транспортного сообщения исследуемой территории с внешним миром, – термин, используемый авторами работ [11, 12].

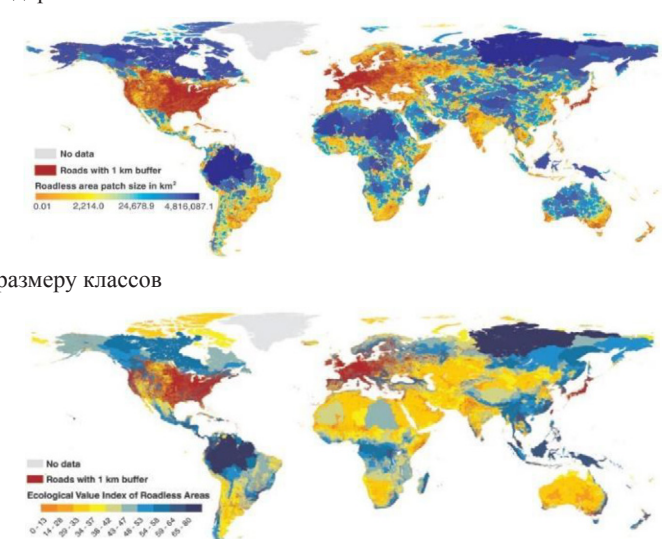
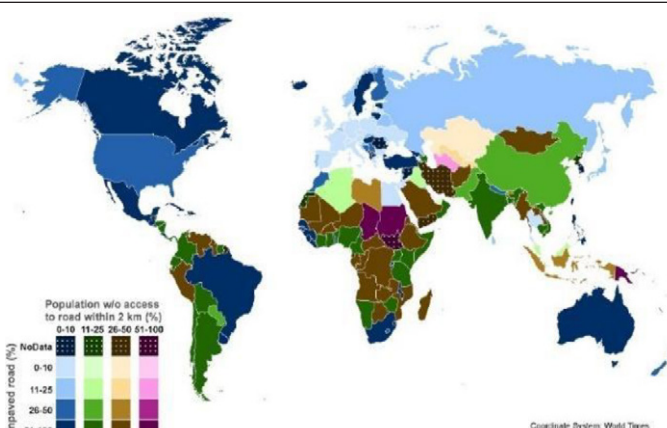
### Геоинформационные проекты по транспортной доступности

Междисциплинарный характер задачи транспортной доступности и возможности создания разнообразных приложений иллюстрируется работами групп авторов, среди которых отметим проекты последних лет [13–15]. В табл. 1,

**Таблица 1.** Транспортная доступность: примеры обзорных проектов мира и регионов

Название проекта на русском языке	Библиография проекта, публикации, ссылки в сети Интернет	Картографический вид
Оценка времени движения к ближайшему городу с населением 50 000 и более	Nelson A. (2008) Estimated travel time to the nearest city of 50,000 or more people in year 2000. Global Environment Monitoring Unit – Joint Research Centre of the European Commission, Ispra [13]	 <p>Время движения до больших городов (часы и дни), плотность водных транспортных путей</p>
Глобальная карта времени движения в города для оценки неравной доступности в 2015 г.	Weiss D., Nelson A., Gibson H., et al. A global map of travel time to cities to assess inequalities in accessibility in 2015. <i>Nature</i> . 2018;5(53):333–336. [15]	 <p>Карта транспортной доступности с размером пиксела 1 × 1 км. Движение до города по кратчайшему маршруту (часы и дни)</p>

Окончание табл. 1

Название проекта на русском языке	Библиография проекта, публикации, ссылки в сети Интернет	Картографический вид
<p>Территории без дорог в мире</p>	<p>Global-map-of-roadless-areas<sup>1</sup></p> <p>Ibisch P.L., Hoffmann M.T., Krefth S., <i>et al.</i> A global map of roadless areas and their conservation status. <i>Science</i>. 2016;354(6318):1423–1427 [14]</p>	<p>Глобальное распределение территорий без дорог, основанное на 1 км буфере вокруг дорог</p>  <p>1) по размеру классов</p> <p>2) по индексу экологической значимости</p>
<p>Глобальный доступ к дорогам и предотвращение изменений климата</p>	<p>Wenz L., Weddige U., Jakob M., Steckel J.C. Road to glory or highway to hell? Global road access and climate change mitigation. <i>Environmental Research Letters</i>. 2020;15(7):075010 [8]</p>	 <p><b>Цвета</b> карты показывают процент населения в каждой стране или регионе, которое живет далее 2 км (среднее расстояние) от дорожной сети. <b>Интенсивность цвета</b> отражает количество дорог без покрытия относительно всех существующих дорог</p>

<sup>1</sup> URL: <https://www.researchgate.net/project/Global-map-of-roadless-areas>, дата обращения 19.05.2021. [URL: <https://www.researchgate.net/project/Global-map-of-roadless-areas>. Accessed May 19, 2021.]

представлены некоторые характерные примеры мирового и регионального охвата, опубликованные, в основном, в социальной сети для ученых ResearchGate. В указанных примерах проектов участвовали многонациональные коллективы ученых из разных организаций, для получения результирующего картографического изображения используются большие геоданные. Таким образом, проводится объединение пространственно-разрозненных транспортных моделей и геовизуализация [16].

Особое значение имеет то обстоятельство, что проекты по транспортному моделированию начинают публиковаться с набором результирующих данных в ГИС-форматах, что позволяет использовать их как начало новых исследований без дополнительных преобразований, и описанием инструментов, которые также находятся в открытом доступе. Так, цифровые материалы работ [13–15] используются для создания карт транспортной доступности тестового региона в практической части данного исследования. Отметим, что покрытие территории

России данными о дорогах во всех представленных проектах имеет фрагментарный характер ввиду использования ограниченного и не всегда актуального числа источников – на это обстоятельство указывают авторы проектов.

### **Веб-сервисы, Open Data и разработки Open Source в транспортных проектах**

Современные транспортные проекты представляют собой сервисы и используют как свои собственные картографические основы, так и карты Open Street Map (OSM), Google Maps, Яндекс.Карты и 2GIS. Самым известным и используемым в научных работах краудсорсинговым глобальным проектом в области Open Data является Open Street Map (OSM), который постоянно совершенствуется и в части данных по дорожным сетям. Однако его классификация дорог отличается от принятой системы обозначений классов в России, что означает необходимость установления аналогов. Кроме того, покрытие дорогами в разных регионах страны, особенно удаленных от центра, неоднородно и требует актуализации по дополнительным источникам.

Актуальной темой в последние годы является разработка и совершенствование систем на основе технологии Open Source. Одним из самых универсальных и популярных геоинформационных Open Source-приложений в настоящее время является QGIS, применяемый для настольного и веб-картографирования [17] с набором плагинов, расширяющим его базовую функциональность. Большой, современный и подробный обзор инструментов Open Source для транспортного планирования опубликован в работе [18]. Внимание исследователей, работы которых упоминаются в этом обзоре, нацелено на разработку и совершенствование инструментов общего планирования, не ограничиваясь при этом тематикой транспортного планирования [19]. Количество вариантов использования инструментов Open Source расширяется и представляет альтернативу коммерческим лидерам геоинформационной отрасли, таким, например, как ArcGIS от ESRI [20].

### **Данные, сервисы геоданных и веб-картографические проекты покрытия сотовой связью территории России**

Информация по покрытию территории России сотовой связью доступна в виде данных (геоданных), сервисов, а также в виде справочных материалов веб-проектов. Все перечисленные виды информации могут быть использованы в настольных ГИС-приложениях.

**Данные.** Примером проекта с открытыми ГИС-слоями являются файлы оценки радиопокрытия мобильной связью территорий субъектов России по федеральным округам. Оценка проведена с использованием возможностей Федеральной информационно-аналитической системы в области радиочастотного спектра и средств массовой информации (ФАИС). Оценка покрытия автомобильных дорог регионального и межмуниципального значения в субъектах РФ осуществлена путем аппроксимации полученных данных о покрытии мобильной связью территории субъектов Российской Федерации<sup>1</sup>. Актуальная карта покрытия магистральных автодорог страны по итогам 4-го квартала 2020 г. представлена таблицами Excel<sup>2</sup>. В табличной форме дано описание покрытия магистральных автотрасс услугами крупнейшими операторами сотовой связи (ПАО «ВымпелКом», ПАО «МТС», ПАО «МегаФон» и ООО «Т2 РТК Холдинг») в виде расчетов зон обслуживания базовых станций стандартов GSM-900/1800 и IMT-2000/UMTS. Примером иностранного проекта, аккумулирующего и предоставляющего геоданные по покрытию связью, является глобальная карта качества сети (мобильного, домашнего и офисного Интернета), развиваемая сервисом измерения скорости сети Ookla совместно с Mapbox. Это пример проекта с возможностью скачивания и свободного использования кварталов обновляемых данных в таком распространенном ГИС-формате, как shapefile. В проекте имеются данные о территории России.

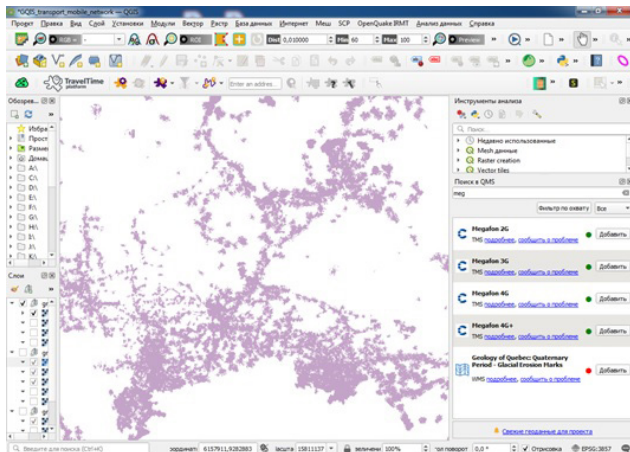
**Сервисы.** Сервисы, отображающие данные о покрытии мобильной связью на территории России, доступны в открытом каталоге источников геоданных Quick Map Services (QMS)<sup>3</sup>, примеры просмотра показаны на рис. 1–2. Одним из самых используемых форматов в настоящее время является TMS<sup>4</sup>. В метаданных сервисов покрытий указаны международный код системы координат, источник данных, дата создания и последнего изменения, а также статус сервиса, однако нет информации по лицензии и авторским правам сервиса.

<sup>1</sup> URL: <https://rkn.gov.ru/communication/p632/>, дата обращения 19.05.2021. [URL: <https://rkn.gov.ru/communication/p632/>. Accessed May 19, 2021.]

<sup>2</sup> URL: <https://rkn.gov.ru/communication/p545/>, дата обращения 19.05.2021. [URL: <https://rkn.gov.ru/communication/p545/>. Accessed May 19, 2021.]

<sup>3</sup> URL: <https://qms.nextgis.com/geoservices/3424/>, дата обращения 19.05.2021. [URL: <https://qms.nextgis.com/geoservices/3424/>. Accessed May 19, 2021.]

<sup>4</sup> URL: <https://gis-lab.info/qa/dynamic-tms.html>, дата обращения 19.05.2021. [URL: <https://gis-lab.info/qa/dynamic-tms.html>. Accessed May 19, 2021.]

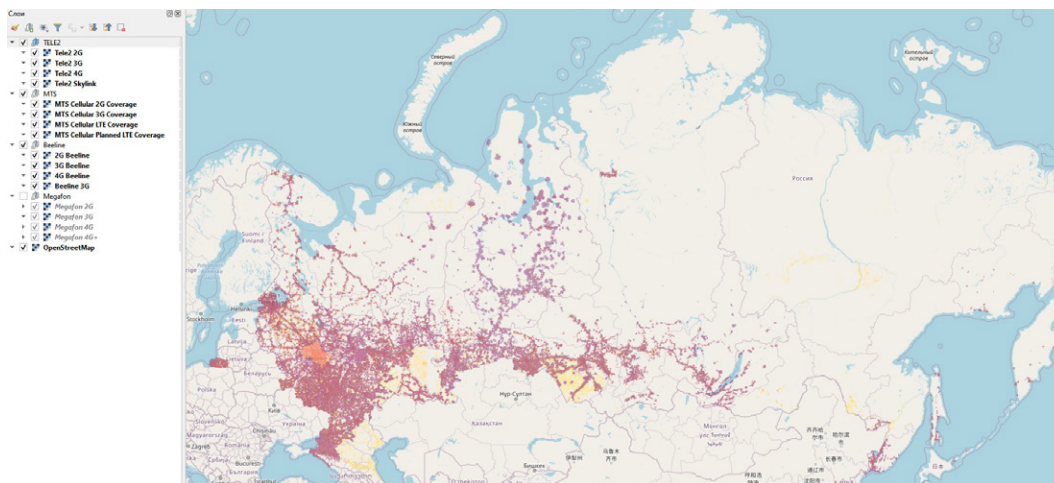


**Рис. 1.** Пример просмотра данных покрытия мобильной связью сети Мегафон в настольном ГИС-приложении QGIS

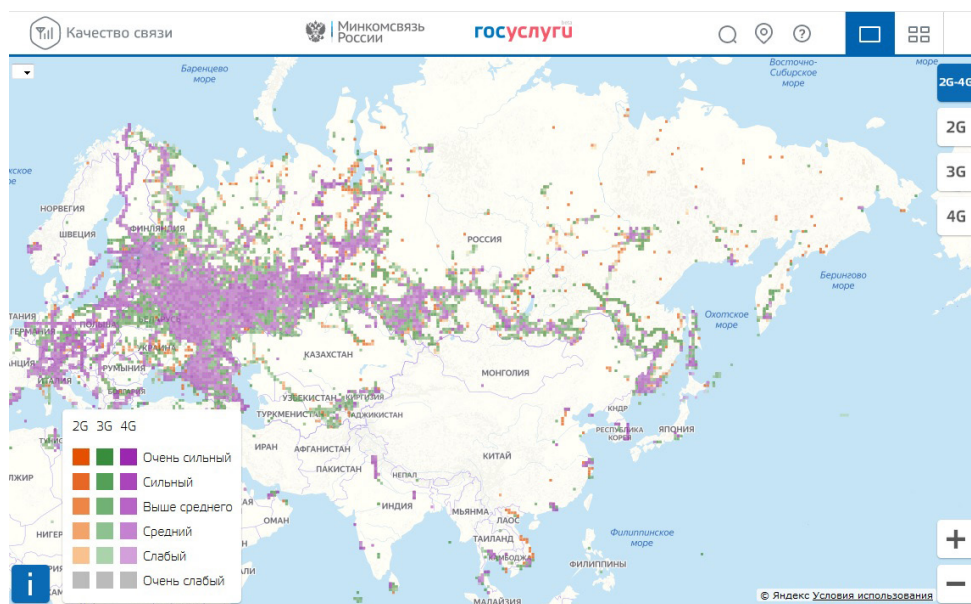
**Веб-картографические проекты.** Карта Минкомсвязи<sup>5</sup> представляет собой отображение покрытия территории России сетями сотовых операторов в растеризованной форме и дает информацию о сигнале в сетях 2G, 3G и 4G. Мощность сигнала оценивается от «очень слабого» до «очень сильного», наиболее яркий цвет показывает наилучшее качество связи. Информация об уровне сигнала обновляется при помощи взаимодействия с пользователями путем сбора данных о мощности сигнала в мобильном приложении «Качество связи»<sup>6</sup>, вид карты и условные обозначения приведены на рис. 3.

<sup>5</sup> URL: [https://www.rbc.ru/technology\\_and\\_media/09/02/2016/56b9f8869a79473ea808951e](https://www.rbc.ru/technology_and_media/09/02/2016/56b9f8869a79473ea808951e), дата обращения 19.05.2021. [URL: [https://www.rbc.ru/technology\\_and\\_media/09/02/2016/56b9f8869a79473ea808951e](https://www.rbc.ru/technology_and_media/09/02/2016/56b9f8869a79473ea808951e). Accessed May 19, 2021.]

<sup>6</sup> URL: <https://geo.minsvyaz.ru/view.php#/-/1-/2/51.580179420721805/57.6938225000001/4>, дата обращения 19.05.2021. [URL: <https://geo.minsvyaz.ru/view.php#/-/1-/2/51.580179420721805/57.6938225000001/4>. Accessed May 19, 2021.]



**Рис. 2.** Сервисы TMS покрытия мобильной связью крупнейших российских операторов в настольном ГИС-приложении QGIS



**Рис. 3.** Интерфейс карты Минкомсвязи

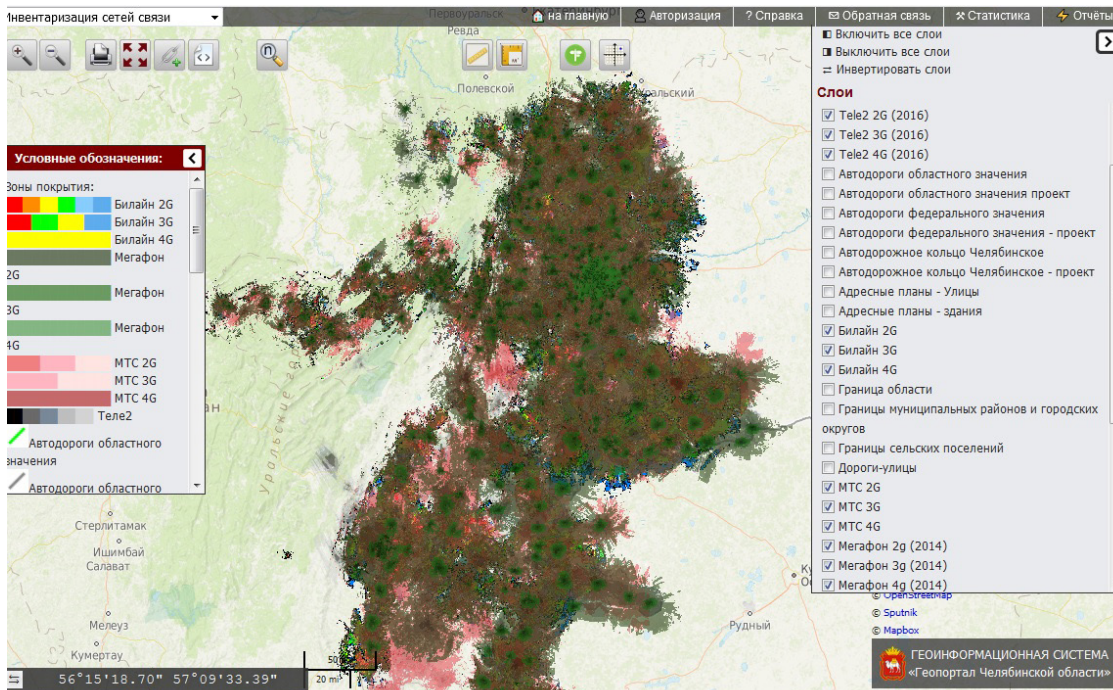


Рис. 4. Интерфейс геопортала Челябинской области. Зоны покрытий оператора связи

Отдельные субъекты административного деления России имеют порталные решения, публикующие данные о связи нескольких операторов. Опыт веб-картографирования телекоммуникационной инфраструктуры есть, например, у Республики Саха (Якутия)<sup>7</sup>, в которой ведется проект по оценке и контролю качества предоставления услуг связи в электронной форме. Геопортал Челябинской области построен по подобию карты Минсвязи, содержит раздел информационных материалов операторов сотовой связи<sup>8</sup> в блоке слоев «Связь, телевидение и радиовещание». На рис. 4 показаны вид покрытия и легенда с обозначением операторов связи.

Примером субъекта, имеющего сводный набор карт разных операторов связи «Мегафон», «МТС», «Билайн», «Теле2», «Yota», является также Новгородская область.

Приведенные примеры данных, сервисов и веб-проектов показывают современное обеспечение данными о покрытии связью страны и ее отдельных регионов. Карты покрытий связью в виде веб-публикации имеют все крупные операторы связи, работающие на территории России. Все описанные примеры ориентированы на оценку качества сигнала и взаимодействие с пользователями сетей в стране. Вместе с тем, опубликованные данные сопровождаются указанием на то, что информация о покрытии

имеет ориентировочный характер, фактическое покрытие и фактическая скорость приема и передачи данных зависят от набора параметров.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Известно, что транспортная инфраструктура более развита в европейской части России. Азиатская часть страны, в которой расположены большая часть природных ресурсов страны, значительно уступает по уровню транспортной инфраструктуры [21]. Одним из характерных примеров территории с неравномерным развитием автодорожной сети (рис. 5) и фрагментарным покрытием сотовой связью (если рассматривать данные крупнейших операторов связи в России: Мегафон, МТС, Вымпелком/Билайн – рис. 6) в Сибирском федеральном округе является Иркутская область.

Для территории Иркутской области на сайте Роскомнадзора доступны карты покрытия услугами подвижной (сотовой) радиотелефонной связи в стандарте GSM 900-1800, представленные в геоформате KML<sup>9</sup>. Кроме этих данных, отметим два региональных набора от Министерства транспорта Иркутской области в виде реестров маршрутов пассажирских перевозок и соглашений по транспортным средствам.

Для анализа использовались данные Роскомнадзора по трем операторам связи (Вымпелком,

<sup>7</sup> URL: [http://www.neolant.ru/projects/news\\_detail.php?ID=3167](http://www.neolant.ru/projects/news_detail.php?ID=3167), дата обращения 19.05.2021. [URL: [http://www.neolant.ru/projects/news\\_detail.php?ID=3167](http://www.neolant.ru/projects/news_detail.php?ID=3167). Accessed May 19, 2021.]

<sup>8</sup> URL: <http://gis.inf74.ru/Map/142>, дата обращения 19.05.2021. [URL: <http://gis.inf74.ru/Map/142>. Accessed May 19, 2021.]

<sup>9</sup> URL: <https://rkn.gov.ru/communication/p632/>, дата обращения 19.05.2021. [URL: <https://rkn.gov.ru/communication/p632/>. Accessed May 19, 2021.]

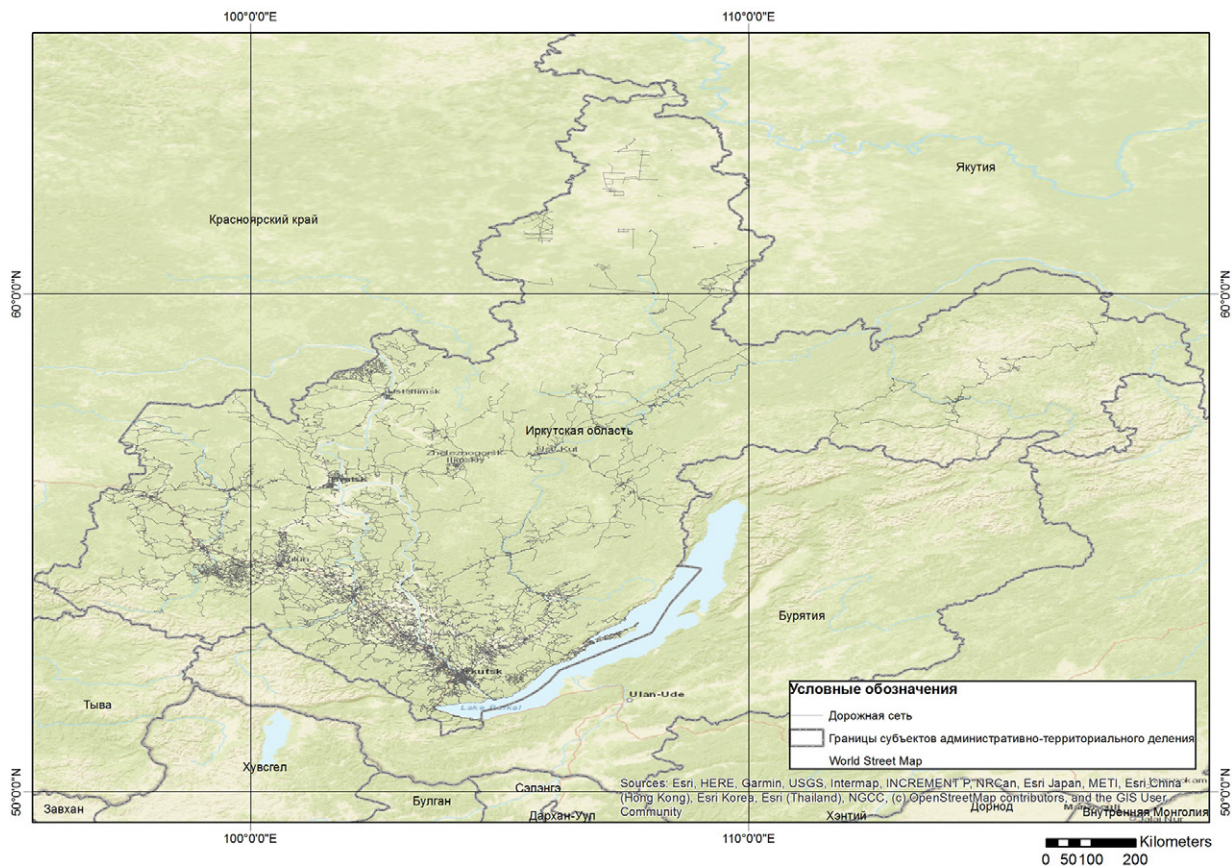


Рис. 5. Населенные пункты и дорожная сеть Иркутской области (по данным OSM)

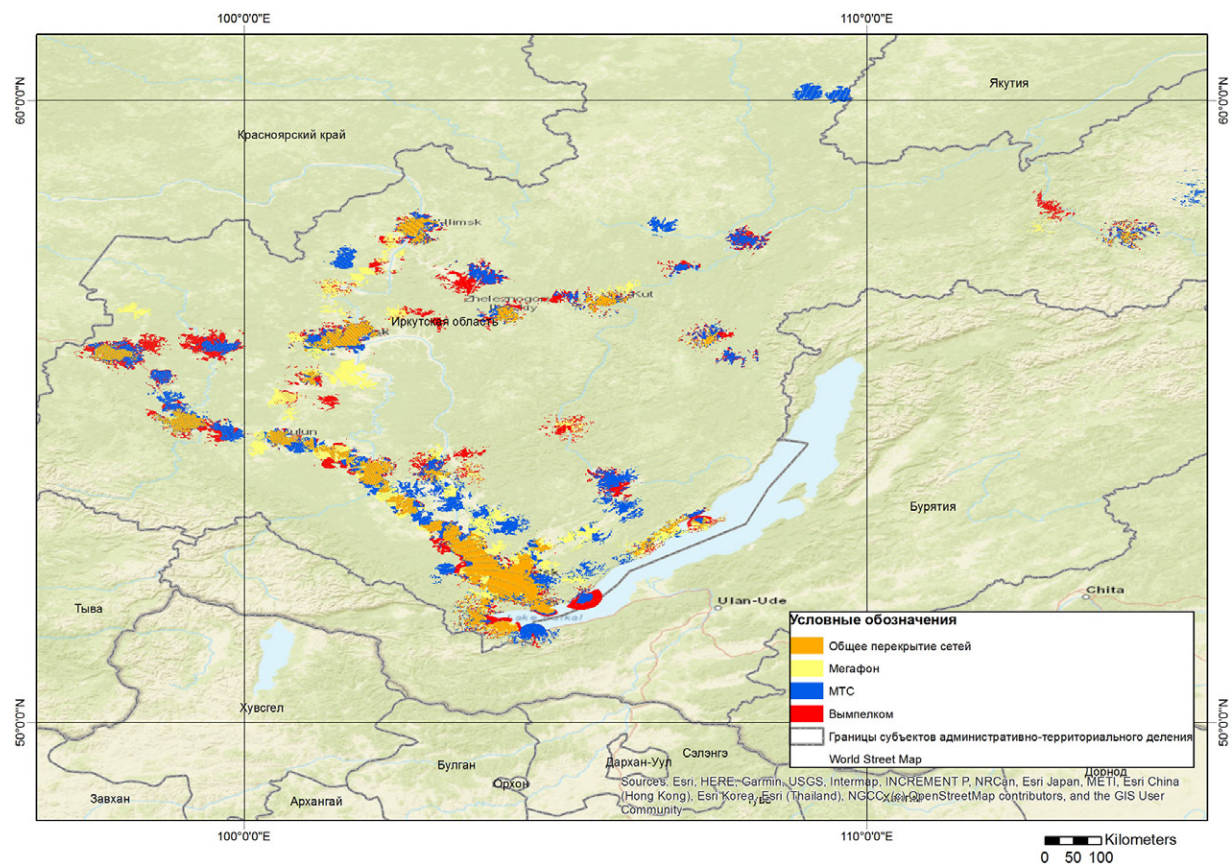


Рис. 6. Геометрия покрытия операторами связи в Иркутской области (данные Роскомнадзора, последние изменения в публикации наборов на сайте 22.10.2013)



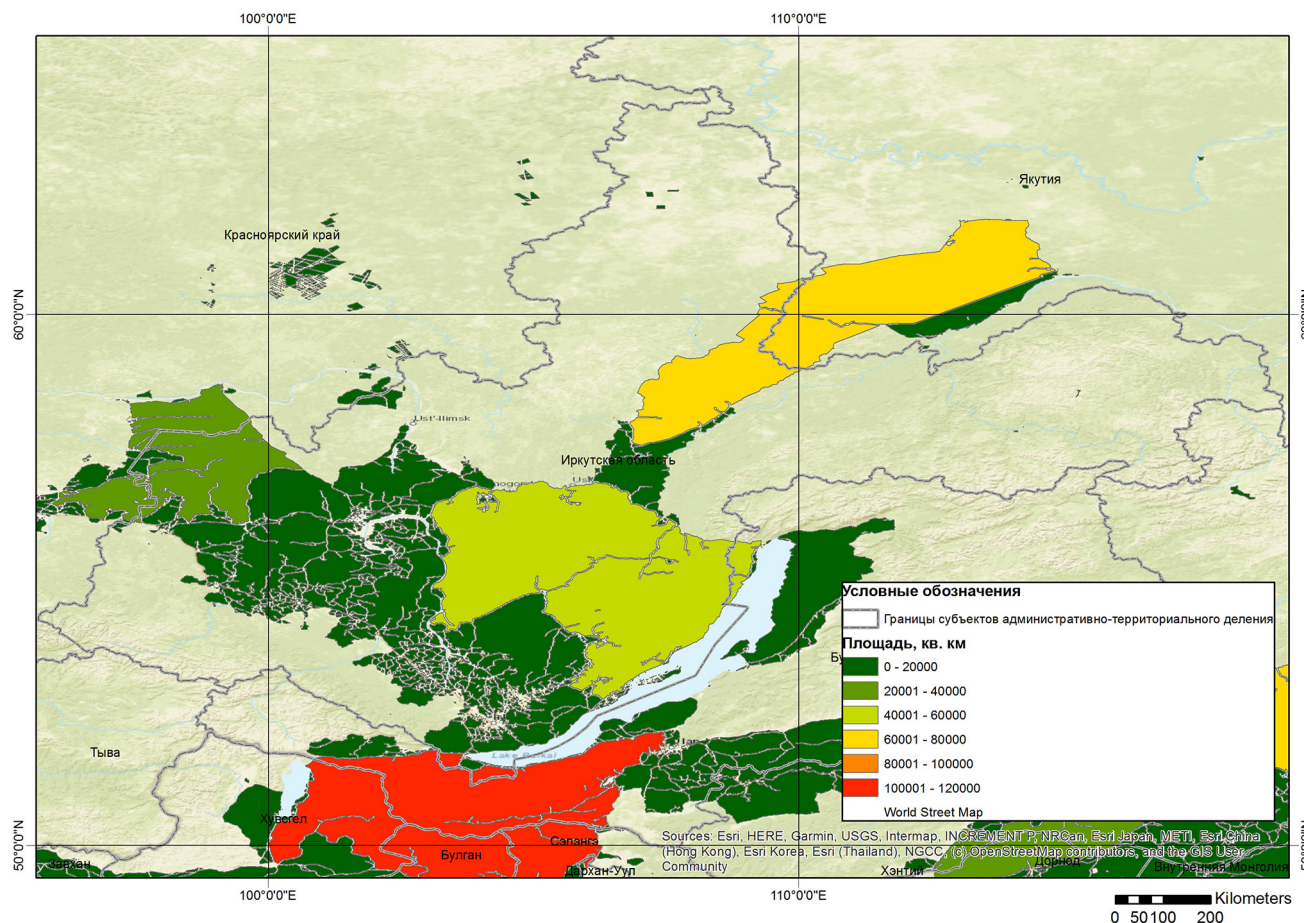


Рис. 7. Растр бездорожья в границах Иркутской области

Мегафон и МТС, геометрия покрытий показана на рис. 6), а также набор данных по автодорогам общего пользования OSM, обработанный компанией NextGIS<sup>10</sup>. Как видно на рис. 6, геометрия покрытий трех операторов имеет общие зоны перекрытия в масштабе всей Иркутской области.

### Транспортная доступность Иркутской области по данным международных проектов

**1. Глобальные территории без дорог (Global roadless areas).** Рис. 7 показывает пример раstra территорий без дорог [14] в границах Иркутской области. Как видно из этого рисунка, в пределах тестового региона находятся четыре области, наименьшую степень бездорожья по данным этого источника имеет центральная, самая хозяйственно-освоенная часть Иркутской области. Такой способ районирования территории позволяет графически показать различия в развитии дорожной сети.

**2. Наземная транспортная доступность до крупных городов (Accessibility to major cities).** Растр транспортной доступности был создан в 2000 г. как проект по экономической географии [13], затем обновлен в 2015 г. и описан в работе [15]. Проект представляет собой прогнозную карту, показывающую приблизительное время поездки из каждой точки местности при перемещении наземным или водным способами до ближайшего города. Рис. 8 показывает пример совмещения указанного раstra в границах Иркутской области с расположением населенных пунктов набора данных OSM.

Необходимо иметь в виду, что такой растр имеет достаточно генерализованный характер (особенно применительно к специфике населенности Иркутской области, в которой значительное число населенных пунктов имеет небольшое число жителей), поскольку был создан для учета транспортной доступности от крупных населенных пунктов – городов и поселков с числом жителей 50 000 и более человек. В пределах территории Иркутской области, согласно данным OSM на май 2021 г., таких населенных пунктов всего шесть, четыре из которых расположены вблизи административного центра области – Иркутска.

<sup>10</sup> URL: <https://data.nextgis.com/ru/region/RU-IRK/>, дата обращения 19.05.2021. [URL: <https://data.nextgis.com/ru/region/RU-IRK/>. Accessed May 19, 2021.]

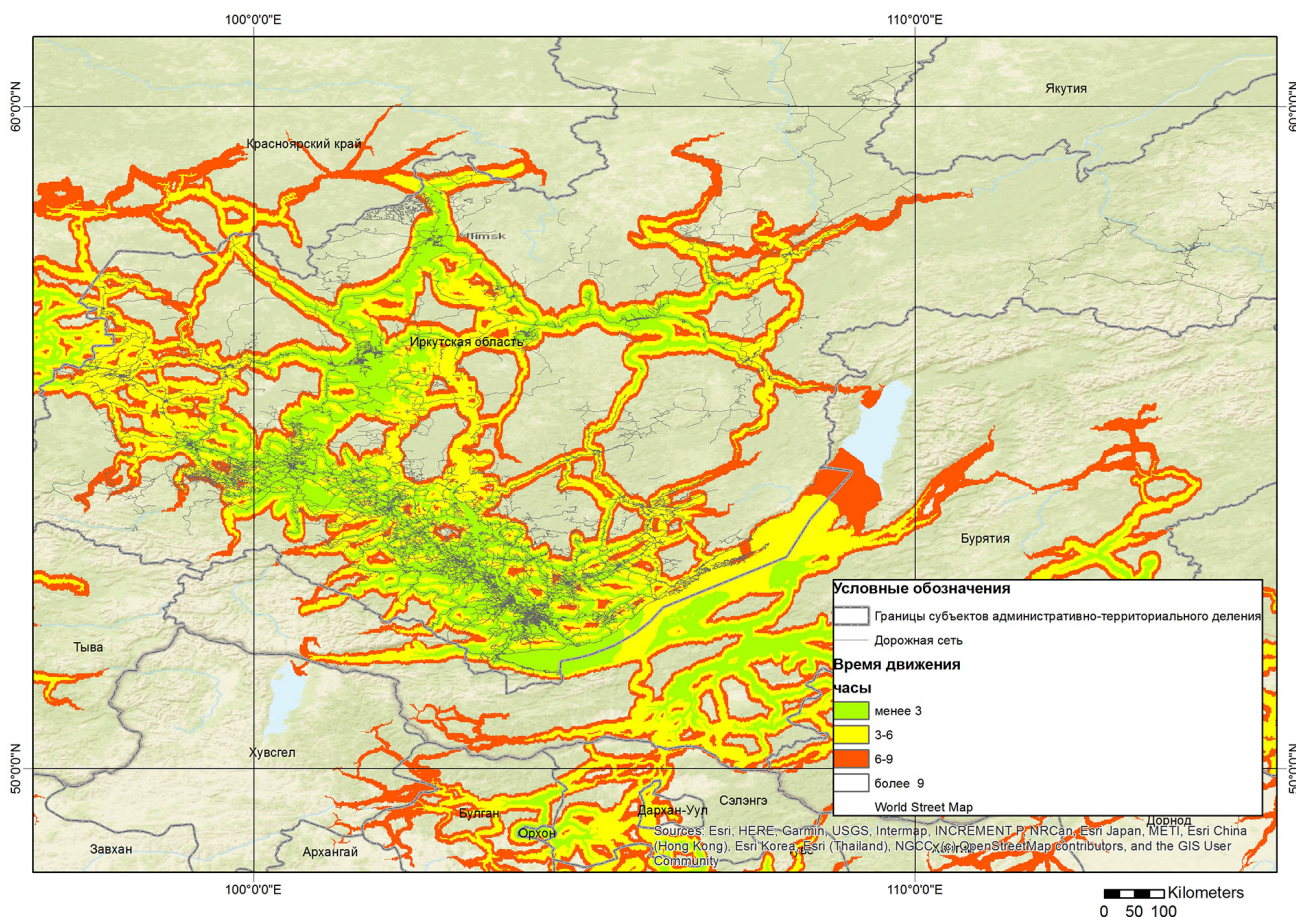


Рис. 8. Растр наземной транспортной доступности в границах Иркутской области

**Связи автодорожной сети и покрытия сотовой связью в регионах России (на примере открытых данных по Иркутской области)**

Для анализа связей был создан буферный слой доступности вокруг автодорог общего пользования всех типов, состоящий из 4 зон: 2.5, 5, 7.5 и 10 км. На практике пешеходной доступностью обладают зоны в 2.5 и 5 км от дорог всех типов, 10-километровая зона вокруг дорог Иркутской области в ее самой заселенной и хозяйственно-освоенной части образует почти сплошное покрытие. Ввиду того, что размеры ячеек (или сот) у трех операторов связи имеют

одинаковые геометрические размеры, можно количественно сопоставить имеющиеся наборы данных и также количественно оценить наличие связи вдоль дорог в разных буферных зонах (табл. 2).

Как видно из табл. 2, Вымпелком имеет самое небольшое покрытие связью во всех вариантах буферных зон, несмотря на преобладание в количестве сот. Мегафон, напротив, при наименьшем количественном покрытии обеспечивает буферные зоны дорог на 72–94%. Зоны в 7.5 и 10 км показали сходные результаты (различия в 3–5%). У Мегафона и МТС одинаковые значения разниц между процентами покрытия в 2.5 и 10 км зонах (22%). Покрытие связью меняется от 63% (Вымпелком для зоны в 2.5

Таблица 2. Величина покрытия связи при разных значениях буферных зон дорожной сети

Название компании-оператора связи	Количество полигонов в слое покрытия связью				Общее количество полигонов в слое покрытия связью по территории Иркутской области
	Величина буфера дорог, км				
	2.5	5	7.5	10	
Мегафон	23254 (72%)	27165 (84%)	29305 (91%)	30540 (94%)	32300 (100%)
МТС	29750 (70%)	35138 (82%)	38015 (89%)	39538 (92%)	42564 (100%)
Вымпелком	28068 (63%)	34251 (77%)	37936 (85%)	40164 (90%)	44428 (100%)

км) до 94% (Мегафон в зоне 10 км) от общего количества сот в сети оператора в пределах Иркутской области. Таковы результаты анализа с помощью построения буферов, на который могли повлиять значительные различия в актуальности используемых данных (дороги – май 2021 г.; связь – октябрь 2013 г.). Исследование может быть продолжено с использованием актуальных коммерческих и открытых данных.

Очевидно, что геометрия пространственного расположения зон покрытия связью разных операторов зависит также и от других природных и антропогенных процессов и явлений, в частности, на зоны охвата связью влияет рельеф местности (имеющий значительные перепады в пределах территории Иркутской области); зоны действия сотовой связи соответствуют наиболее населенным районам. В построении буферов все дороги имели одинаковое значение, что можно изменить путем использования таких атрибутов дороги как количество полос, ее ширина, покрытие, максимально разрешенная скорость движения по ней, что в совокупности определяет класс дороги.

Данные о покрытии сотовой связью в настоящее время разнородны, представлены, как правило, в виде полигонов, могут быть как открытыми данными в ГИС-форматах, так и слоями в веб-системе без возможности выгрузки. Такой вид пространственной информации, размещенный, например, на официальных сайтах администраций субъектов административно-территориального деления России, может быть востребован разными пользователями и проектами, а ГИС-форматы будут способствовать наполнению разнообразных тематических проектов пространственной информацией о покрытии мобильной связью в нашей стране. Русскоязычные источники для территории России, как показал наш анализ, содержат

геометрию покрытия связью без какой-либо значимой атрибутивной информации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В силу ряда причин регионы России по-разному обеспечены дорожной сетью и сотовой связью; предоставление данных и выявление закономерностей на их основе будут оставаться востребованными широким кругом пользователей. В статье рассмотрена одна из возможных взаимосвязей инфраструктуры автодорог общего пользования всех типов и покрытием сотовой связью, которое обеспечивается для территории России несколькими крупнейшими компаниями, на примере открытых данных. Пространственный анализ дорожной сети и покрытия сотовой связью позволяет охарактеризовать компанию-оператора, определить, насколько полно покрытие региона, показать изменения в охвате покрытия связи при движении по дорогам в разных частях региона.

Такой взаимосвязанный анализ необходим как важная часть экономических, экологических и других тематических проектов. В представленной теме исследования тесно связаны технологические задачи (например, новое поколение связи 5G), законодательные вопросы использования наборов открытых геоданных и сервисов на их основе в России и мире, а также технические вопросы использования геоданных и сервисов в настольных ГИС-приложениях и веб-публикациях.

Направление открытых данных для регионов России и страны в целом является очень динамичным. К глобальным проектам, например, OSM, присоединяются отдельные проекты по регионам. Рассмотренный пример Иркутской области показывает актуальность открытых данных и сервисов связи, предоставляемой компаниями-операторами.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федоров В.А. Использование данных операторов мобильной связи для оптимизации маршрутной сети общественного транспорта мегаполисов. В сб.: «Технические науки в России и за рубежом»: материалы IV Междунар. науч. конф. Москва, январь 2015 г. М.: Буки-Веди; 2015. С. 75–81. URL: <https://moluch.ru/conf/tech/archive/124/7016/>
2. Liu S., Zhu X. Accessibility Analyst: an integrated GIS tool for accessibility analysis in urban transportation planning. *Environment and Planning B: Planning and Design*. 2004;31(1):105–124. <https://doi.org/10.1068/b305>
3. Chen Zh., Li Y., Wang P. Transportation accessibility and regional growth in the Greater Bay Area of China. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2020;86:102453. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102453>

## REFERENCES

1. Fedorov V.A. Using these mobile operators to optimize the route network of public transport in megacities. In: *Tekhnicheskie nauki v Rossii i za rubezhom: Materialy IV Mezhdunar. nauch. konf. (Technical Sciences in Russia and Abroad: Proceedings of the IV International. scientific. conf.)*. Moscow: Buki-Vedi; 2015, p. 75–81. (in Russ.). Available from URL: <https://moluch.ru/conf/tech/archive/124/7016/>
2. Liu S., Zhu X. Accessibility Analyst: an integrated GIS tool for accessibility analysis in urban transportation planning. *Environment and Planning B: Planning and Design*. 2004;31(1):105–124. <https://doi.org/10.1068/b305>
3. Chen Zh., Li Y., Wang P. Transportation accessibility and regional growth in the Greater Bay Area of China. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2020;86:102453. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102453>

4. Логинов П.В., Зацепин А.Н., Павлов В.А. Особенности разработки региональных транспортных моделей. В сб.: «Транспортное планирование и моделирование»: сб. трудов Международной научно-практической конференции. СПб.: Санкт-Петербургский гос. архитектурно-строительный ун-т; 2016. С. 57–61.
5. Bezrukova T.L., Tereshkina T.R., Nesterov S.Y., Kuksova I.V., Pecherskaya O.A. Management of transport and logistic infrastructure of the territory: methodological tools and their improvement. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020;817:012004. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/817/1/012004>
6. Семенов В.В., Ермаков А.В. Исторический анализ моделирования транспортных процессов и транспортной инфраструктуры. *Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша*. 2015;003. 36 с. URL: [https://keldysh.ru/papers/2015/prep2015\\_03.pdf](https://keldysh.ru/papers/2015/prep2015_03.pdf)
7. Хадиуллина Г.Н., Семягин И.Н., Абдрахманова Д.Р. Разработка комплексного показателя транспортной доступности российских регионов на основе комплексного подхода (на примере Приволжского федерального округа). *Социально-экономические явления и процессы*. 2018;13(104):185–191. <https://doi.org/10.20310/1819-8813-2018-13-104-185-191>
8. Wenz L., Weddige U., Jakob M., Steckel J.C. Road to glory or highway to hell? Global road access and climate change mitigation. *Environmental Research Letters*. 2020;15(7):075010. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab858d>
9. Бугроменко В.Н. *Транспорт в территориальных системах*. М.: Наука; 1987. 112 с.
10. Лавриненко П.А., Ромашина А.А., Степанов П.С., Чистяков В.А. Транспортная доступность как индикатор развития региона. *Проблемы прогнозирования*. 2019;6(177):136–146.
11. Дубовик В.О. Методы оценки транспортной доступности территории. *Региональные исследования*. 2013;4(42):11–18. URL: [http://media.geogr.msu.ru/RI/RI\\_2013\\_04\(42\).pdf](http://media.geogr.msu.ru/RI/RI_2013_04(42).pdf)
12. Колесников Н.Г. Методика оценки транспортной связности территории на примере сети всепогодных автодорог Республики Саха (Якутия). *Экономика Востока России*. 2017;1(7):102–106.
13. Nelson A. Estimated travel time to the nearest city of 50,000 or more people in year 2000. *Global Environment Monitoring Unit – Joint Research Centre of the European Commission*. Ispra Italy. 2008. URL: <http://forobs.jrc.ec.europa.eu/products/gam/>
14. Ibsch P.L., Hoffmann M.T., Kreft S., Pe'er G., Kati V., Biber-Freudenberger L., Della Sala D.A., Vale M.M., Hobson P.R., Selva N. A global map of roadless areas and their conservation status. *Science*. 2016;354(6318):1423–1427. <https://doi.org/10.1126/science.aaf7166>
15. Weiss D., Nelson A., Gibson H., et al. A global map of travel time to cities to assess inequalities in accessibility in 2015. *Nature*. 2018;553(7688):333–336. <https://doi.org/10.1038/nature25181>
16. Loidl M., Wallentin G., Cyganski R., Graser A., Scholz J., Haslauer E. GIS and Transport Modeling – Strengthening the Spatial Perspective. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2016;5(6):84. <https://doi.org/10.3390/ijgi5060084>
4. Loginov P.V., Zatsepin A.N., Pavlov V.A. Features of development of regional transport models. In: *Transportnoe planirovanie i modelirovanie: sbornik trudov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii (Transport Planning and Modeling: collection of works of the international scientific and practical conference)*. Saint Petersburg: Sankt-Peterburgskii gosudarstvennyi arkhitekturo-stroitel'nyi universitet; 2016, p. 57–61. (in Russ.).
5. Bezrukova T.L., Tereshkina T.R., Nesterov S.Y., Kuksova I.V., Pecherskaya O.A. Management of transport and logistic infrastructure of the territory: methodological tools and their improvement. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020; 817:012004. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/817/1/012004>
6. Semenov V.V., Ermakov A.V. Historical analysis of modeling of transport processes and transport infrastructure. *Preprinty IPM im. M.V. Keldysha = Keldysh Institute preprints*. 2015:003. 36 p. (in Russ.). Available from URL: [https://keldysh.ru/papers/2015/prep2015\\_03.pdf](https://keldysh.ru/papers/2015/prep2015_03.pdf)
7. Khadiullina G.N., Semyagin I.N., Abdrakhmanova D.R. Development of the complex indicator of transport availability of Russian regions on the basis of the integrated approach (on the example of the Volga Federal District). *Sotsial'no-ekonomicheskie yavleniya i protsessy = Social-Economic Phenomena and Processes*. 2018;13(104):185–191 (in Russ.). <https://doi.org/10.20310/1819-8813-2018-13-104-185-191>
8. Wenz L., Weddige U., Jakob M., Steckel J.C. Road to glory or highway to hell? Global road access and climate change mitigation. *Environmental Research Letters*. 2020;15(7):075010. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab858d>
9. Bugromenko V.N. *Transport v territorial'nykh sistemakh (Transportation in territorial systems)*. Moscow: Nauka; 1987. 112 p. (in Russ.).
10. Lavrinenko P.A., Romashina A.A., Stepanov P.S., Chistyakov V.A. Transport accessibility as an indicator of regional development. *Studies on Russian Economic Development*. 2019;30(6):694–701. <https://doi.org/10.1134/S1075700719060091> [Lavrinenko P.A., Romashina A.A., Stepanov P.S., Chistyakov V.A. Transport accessibility as an indicator of regional development. *Problemy prognozirovaniya = Studies on Russian Economic Development*. 2019;6(177):136–146 (in Russ.).]
11. Dubovik V.O. Methods of territory transport accessibility estimation. *Regional'nye issledovaniya*. 2013;4(42):11–18 (in Russ.). Available from URL: [http://media.geogr.msu.ru/RI/RI\\_2013\\_04\(42\).pdf](http://media.geogr.msu.ru/RI/RI_2013_04(42).pdf)
12. Kolesnikov N.G. Method of territorial transport connectivity assessment of all-season road network of the Republic of Sakha (Yakutia). *Ekonomika Vostoka Rossii = Economics of Russian East*. 2017;1(7):102–106 (in Russ.).
13. Nelson A. Estimated travel time to the nearest city of 50,000 or more people in year 2000. *Global Environment Monitoring Unit – Joint Research Centre of the European Commission*. Ispra Italy. 2008. Available from URL: <http://forobs.jrc.ec.europa.eu/products/gam/>

17. Подольская Е. *Основы работы в геоинформационном приложении Open Source QGIS: геоданные, координаты, базовая функциональность, контроль качества данных, оформление и публикация проекта: практическое пособие*. LAP LAMBERT Academic Publishing; 2020. 52 с.
18. Lovelace R. Open source tools for geographic analysis in transport planning. *Journal of Geographical Systems*. 2021. <https://doi.org/10.1007/s10109-020-00342-2>
19. Horni A., Nagel K., Axhausen K.W. (Eds.). *The Multi-Agent Transport Simulation MATSim*. London: Ubiquity Press; 2016. <https://doi.org/10.5334/baw>
20. Котиков Ю.Г. Аспекты использования технологий ARCGIS в транспортной модели Санкт-Петербурга. *Современные проблемы науки и образования*. 2012;3:127. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=6271>
21. Дабиев Д.Ф., Дабиева У.М. Оценка транспортной инфраструктуры макрорегионов России. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2015;(11–2):283–284.
14. Ibsch P.L., Hoffmann M.T., Kreft S., Pe'er G., Kati V., Biber-Freudenberger L., Della Sala D.A., Vale M.M., Hobson P.R., Selva N. A global map of roadless areas and their conservation status. *Science*. 2016;354(6318):1423–1427. <https://doi.org/10.1126/science.aaf7166>
15. Weiss D., Nelson A., Gibson H., et al. A global map of travel time to cities to assess inequalities in accessibility in 2015. *Nature*. 2018;553(7688):333–336. <https://doi.org/10.1038/nature25181>
16. Loidl M., Wallentin G., Cyganski R., Graser A., Scholz J., Haslauer E. GIS and Transport Modeling – Strengthening the Spatial Perspective. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2016;5(6):84. <https://doi.org/10.3390/ijgi5060084>
17. Podol'skaya E. *Osnovy raboty v geoinformatsionnom prilozhenii Open Source QGIS: geodannye, koordinaty, bazovaya funktsional'nost', kontrol' kachestva dannykh, oformlenie i publikatsiya projekta: prakticheskoe posobie (Basics of work in the Open Source QGIS geoinformation application: geodata, coordinates, basic functionality, data quality control, design and publication of the project)*. LAP LAMBERT Academic Publishing; 2020. 52 p. (in Russ.).
18. Lovelace R. Open source tools for geographic analysis in transport planning. *Journal of Geographical Systems*. 2021. <https://doi.org/10.1007/s10109-020-00342-2>
19. Horni A., Nagel K., Axhausen K.W. (Eds.). *The Multi-Agent Transport Simulation MATSim*. London: Ubiquity Press; 2016. <https://doi.org/10.5334/baw>
20. Kotikov Yu.G. Aspects of usage of ARCGIS engineering in the St. Petersburg transportation model. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya = Modern Problems of Science and Education. Surgery*. 2012;3:127 (in Russ.). Available from URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=6271>
21. Dabiev D.F., Dabieva U.M. Assessment of the infrastructure of transport of Russia. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy = International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2015;(11–2):283–284 (in Russ.). Available from URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=7726>

#### Об авторе

**Подольская Екатерина Сергеевна**, к.т.н., доцент, кафедра геоинформационных систем Института радиотехнических и телекоммуникационных систем ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78). E-mail: [podolskaya@mirea.ru](mailto:podolskaya@mirea.ru). ResearcherID: AAB-5255-2021. <http://orcid.org/0000-0002-0955-5489>

#### About the author

**Ekaterina S. Podolskaia**, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, Department of Geoinformation Systems, Institute of Radio Engineering and Telecommunication Systems, MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo pr., Moscow, 119454 Russia). E-mail: [podolskaya@mirea.ru](mailto:podolskaya@mirea.ru). ResearcherID: AAB-5255-2021. <http://orcid.org/0000-0002-0955-5489>