



УДК 911.3+004.738.5(571.53)
DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-1-16-28

Пределы распространения территориальных сообществ тактильной коммуникации в Иркутской области: географический прогноз

Блануца В.И.

Институт географии им. В.Б. Сочавы Сибирского отделения РАН
Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1
blanutsa@list.ru

Аннотация. В следующем десятилетии ожидается развертывание тактильного Интернета (дистанционный обмен в режиме реального времени не только текстом, аудио и видео, но и тактильными ощущениями) на основе телекоммуникационной сети шестого поколения. Однако возможные социально-географические последствия такого развертывания еще не анализировались в мировой науке. Одним из негативных последствий станет дробление единого телекоммуникационного пространства страны на множество отдельных ареалов, в пределах которых будет поддерживаться обмен тактильными ощущениями в режиме реального времени, а вне этих ареалов тактильной связи не будет. В таких ареалах сформируются специфические территориальные сообщества тактильной коммуникации. Ранее эти сообщества не выделялись в каком-либо регионе или стране. Поэтому целью нашего исследования стала идентификация отмеченных сообществ посредством установления максимально возможного числа городских поселений (городов и поселков городского типа) в каждом ареале на разных стадиях развертывания тактильного Интернета в Иркутской области в 2030-х и последующих годах. Установлено, что предельные размеры территориальных сообществ определяются величиной круговой задержки в передаче тактильных данных между населенными пунктами, которая не должна превышать одну миллисекунду. Для выделения сообществ использовалась авторская база данных о линиях электросвязи и данные Росстата о численности населения городских поселений. Расчеты величины задержки проводились по специальной формуле. Ограничения по людности центров сообществ взяты из отечественного опыта развертывания широкополосной связи. Это позволило определить десять стадий развертывания тактильной связи. Вычисление задержки между 66 городскими поселениями Иркутской области позволило идентифицировать 13 территориальных сообществ тактильной коммуникации. Приведен перечень поселений, входящих в каждое сообщество, и последовательность формирования сообществ. Полученные результаты интерпретированы с позиции проблемных поселений и будущего интернет-тактильного неравенства. Практическая значимость исследования связана с разработкой программы ликвидации будущего неравенства.

Ключевые слова: общественная география, тактильный Интернет, задержка передачи данных, территориальное сообщество, будущее цифровое неравенство, Иркутская область

Благодарности: исследование выполнено за счет средств государственного задания (№ регистрации темы AAAA-A21-121012190018-2).

Для цитирования: Блануца В.И. 2025. Пределы распространения территориальных сообществ тактильной коммуникации в Иркутской области: географический прогноз. Региональные геосистемы, 49(1): 16–28. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-1-16-28

Distribution Limits of Tactile Communication's Territorial Communities in the Irkutsk Region: A Geographical Forecast

Viktor I. Blanutsa

Sochava Institute of Geography, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
1 Ulan-Batorskaya St., Irkutsk, 664033, Russia
blanutsa@list.ru

Abstract. The next decade will see the deployment of the Tactile Internet based on the sixth generation telecommunication network, allowing real-time remote exchange of not only text, audio and video, but also tactile sensations. However, the possible socio-geographical consequences of this deployment have

© Блануца В.И., 2025

not yet been analysed in the world science. One of the negative consequences will be the fragmentation of the country's unified telecommunication space into many separate areas where real-time exchange of tactile sensations will be maintained. Outside these areas, no tactile communication will be available. Specific territorial communities of tactile communication will be formed in such areas. These communities were not previously distinguished in any region or country. Therefore, the purpose of our study was to identify such communities by establishing the maximum possible number of towns and urban-type settlements in each area at different stages of the Tactile Internet deployment in the Irkutsk region in the 2030s and beyond. We have found that the maximum size of territorial communities is determined by the magnitude of the circular delay in the transmission of tactile data between towns and settlements, which should not exceed one millisecond. To identify communities, the author's database of telecommunication lines and Russian Federal Service of State Statistics' data on the population of urban settlements were used. The delay value was calculated using a special formula. The restrictions on the population number in community centers were taken from the domestic experience of broadband deployment. This allowed us to identify ten stages of tactile communication deployment. The calculation of the delay between 66 urban settlements of the Irkutsk region made it possible to identify 13 territorial communities of tactile communication. The article provides a list of settlements included in each community and the sequence of community formation. The author interprets the results from the perspective of problematic settlements and the future of internet-tactile inequality. The practical significance of the study is connected with the development of a program to eliminate future inequality.

Keywords: human geography, Tactile Internet, data transmission delay, territorial community, future digital inequality, Irkutsk region

Acknowledgements: The study was carried out at the expense of the state task (registration number of the topic AAAA-A21-121012190018-2).

For citation: Blanutsa V.I. 2025. Distribution Limits of Tactile Communication's Territorial Communities in the Irkutsk Region: A Geographical Forecast. *Regional Geosystems*, 49(1): 16–28 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-1-16-28

Введение

Одной из функций науки как общественного института является прогнозирование социальных последствий внедрения новых технологий. В XXI в. наиболее значительное воздействие на общество оказывают информационно-коммуникационные технологии. Их развитие можно представить в виде следующей последовательности [Islam et al., 2022]: фиксированный Интернет (1980–2000-е гг.; сети связи 1G, 2G и 3G), мобильный Интернет (2010-е гг.; 4G), Интернет вещей (2020-е гг.; 5G) и тактильный Интернет (2030-е гг.; 6G). Концепция последнего вида Интернета была представлена десять лет назад [Fettweis, 2014] и зафиксирована в докладе рабочей группы Международного союза электросвязи [The Tactile Internet..., 2014]. В наиболее общем виде под тактильным Интернетом (ТИ) понимается сверхнадежный и с наименьшей задержкой дистанционный обмен не только традиционными данными (текст, аудио, видео), но и тактильными ощущениями (прикосновение, давление, вибрация, шероховатость и др.).

Проблема в том, что с географических позиций будущая тактильная связь еще не анализировалась в мировой науке. Также отсутствуют какие-либо представления о возможных социально-географических последствиях внедрения ТИ. Наш анализ обобщающих публикаций по тактильной связи [Fettweis, 2014; Кучерявый и др., 2016; Yahiya, Kirci, 2019; Le et al., 2020; Yu et al., 2020; Fanibhare et al., 2021; Fitzek et al., 2021; Hou et al., 2021; Samanta et al., 2021; Islam et al., 2022; Awais et al., 2023; Tychola et al., 2023] позволил выявить одно негативное последствие – дробление (фрагментация, дифференциация) единого телекоммуникационного пространства страны на множество отдельных ареалов, в пределах которых будет поддерживаться дистанционный обмен тактильными ощущениями в режиме реального времени. Соответственно, между ареалами обмен ощущениями не будет доступен в требуемом режиме (только в записи или путем машинной имитации) из-за превышения сверх-



малой задержки при передаче тактильных данных. Такая дифференциация приведет к формированию замкнутых территориальных сообществ пользователей ТИ и тем самым создаст новое цифровое – интернет-тактильное – неравенство между людьми, которые по своему положению в географическом пространстве будут иметь или не иметь доступ к тактильной связи. Ранее территориальные сообщества тактильной коммуникации не выделялись ни для какой страны или региона. Поэтому целью нашего исследования стала идентификация отмеченных сообществ посредством установления максимально возможного числа городских поселений (городов и поселков городского типа) в каждом ареале на разных стадиях развертывания ТИ в Иркутской области в 2030-х и последующих годах.

Объекты и методы исследования

При идентификации географических пределов распространения будущих территориальных сообществ тактильной коммуникации целесообразно опираться на отечественный опыт внедрения информационно-коммуникационных технологий [Перфильев, 2003; Блануца, 2019]. Из него следует, что первоначально новая технология внедряется в столице (г. Москва), а затем распространяется на города с численностью населения более 1 млн человек, после чего постепенно происходит несколько переходов к поселениям с примерно в два раза меньшей людностью. Это дает основание предположить, что внедрение ТИ также будет осуществляться в несколько стадий в 2030-х гг. Учитывая распространение мобильной связи [Развитие ..., 2020], можно ожидать последовательное снижение людности поселений до 10 тыс. человек как некоторого порога экономической целесообразности для операторов связи, ниже которого внедрение новой технологии финансируется не частными компаниями, а государством (в рамках программы устранения цифрового неравенства). Тогда внедрение тактильной связи в России будет происходить примерно в следующей последовательности: г. Москва (первая стадия), города с людностью не менее 1,0000 (вторая), 0,5000–0,9999 (третья), 0,2500–0,4999 (четвертая), 0,1000–0,2499 (пятая), 0,0500–0,0999 (шестая), 0,0250–0,0499 (седьмая) и 0,0100 – 0,0249 (восьмая стадия) млн человек. Кроме этого, будем учитывать возможность создания прямых оптоволоконных линий между городскими поселениями (сейчас такие линии связи являются извилистыми, так как прокладываются в основном вдоль автомобильных и железных дорог, линий электропередачи и трубопроводов; с некоторой условностью эту стадию можно считать девятой) и будущее развитие технологий электросвязи, приближающих скорость передачи данных к скорости света по прямой линии между населенными пунктами (условно десятая стадия).

Значения людности городских поселений Иркутской области взяты из данных Росстата на 1 января 2023 года [Численность населения ..., 2023]. Прогноз изменения численности городского населения области в 2030–2040-е гг. автором не проводился, но учитывался прогноз Росстата [Иркутская область ..., 2024], согласно которому городское население области будет уменьшаться с 1,8172 (01.01.2023) до 1,7329 (2030 г.), 1,6848 (2035 г.), 1,6527 (2040 г.) и 1,6330 (2045 г.). млн человек. Если допустить, что снижение численности населения будет проходить линейно и пропорционально исходной людности городских поселений, то для приблизительной оценки доли горожан вне будущего доступа к ТИ можно использовать относительные данные (проценты, рассчитанные на 01.01.2023). Что касается кратчайших расстояний между городскими поселениями по оптоволоконным линиям, то они определялись по авторской базе данных «Линии электросвязи Российской Федерации», составленной по отчетам отечественных операторов связи на 1 января 2023 года. Прогноз создания новых оптоволоконных линий определялся задачами повышения телекоммуникационной связанности российских городов [Блануца, 2019] и необходимостью перевода критических элементов связи России в обычные (некритические) линейно-узловые элементы [Блануца, 2024].

Для расчета величины задержки передачи тактильных данных T использовалась следующая формула [Кучерявый и др., 2016]:

$$T = R\sigma + \Theta,$$

где R – расстояние между городскими поселениями по кратчайшей оптоволоконной линии (км), σ – задержка, связанная с физическими ограничениями по передаче данных (мкс/км; 1 микросекунда = 0,000001 секунды; для оптоволоконных линий $\sigma = 5$ мкс/км), Θ – задержка, вносимая техническими средствами связи (мкс; развитие средств связи ведет к минимизации Θ , что позволяет в прогнозных расчетах принять $\Theta = 0$). В случае передачи тактильных данных со скоростью света сохранение сверхмалых задержек в 1 мс (1000 мкс) возможно на прямом расстоянии между городскими поселениями до 300 км (при круговой – туда и обратно – задержке получается 150 км).

Результаты и их обсуждение

Тактильный Интернет

Из обобщающих публикаций следует, что архитектуру ТИ можно представить в виде двух коммуникационных доменов, предоставляющих услуги абонентам, и сетевого домена, обеспечивающего соединение абонентов. Здесь важную роль играют устройства считывания тактильных ощущений (сенсоры), преобразования их в цифровую запись (кодеки) и воспроизведения (тактильные приводы в виде перчаток, браслетов или колец; ведутся исследования по обеспечению тактильной обратной связи в воздухе – с помощью вихрей, струй и ультразвука [Vaquero-Melchor, Bernardos, 2019]). Первоначально предполагалось, что тактильная коммуникация будет внедрена в 2020-х гг. на основе беспроводной связи пятого поколения [Simsek et al., 2016], но дальнейшее уточнение возможностей сетей 5G привело к пониманию их ограничений и переносу полномасштабного внедрения данной новации на период развертывания сетей 6G [Hou et al., 2021].

Среди всех характеристик нового вида Интернета ключевыми являются два параметра – сверхвысокая надежность (вероятность отказа один к миллиону) и сверхмалая круговая задержка (время передачи данных от одного абонента к другому и обратно не должно превышать 1 мс). Особо критична задержка [Le et al., 2020], которая ограничена физическими свойствами канала связи (оптоволокно, медь или радиосвязь), длиной очереди на передачу данных, временем обработки данных и другими пределами [Islam et al., 2022], что приводит к дополнительному сокращению максимального расстояния между абонентами. Таким образом, величина задержки является главным географическим ограничением для возможности осуществления тактильной коммуникации в режиме реального времени. В качестве приложений ТИ обычно рассматриваются электронное здравоохранение (теледиagnostика, телехирургия и телереабилитация), образование, виртуальная и дополненная реальность, самоуправляемые (беспилотные) транспортные средства, «умное производство», «умный город», электронная торговля и тактильный туризм [Кузнецов и др., 2019; Islam et al., 2022; Blom, Nilsson, 2023].

Территориальные сообщества

Ограничение на круговую задержку в 1 мс приведет к тому, что тактильная коммуникация в реальном времени будет возможна не повсеместно, а только между близко расположенными населенными пунктами. Это сформирует территориально ограниченные сообщества тактильной коммуникации. С современных позиций можно предположить, что негативное общественно-географическое последствие развертывания ТИ будет проявляться в возможности полноценного дистанционного общения (включая тактильные ощущения в режиме реального времени) только в пределах территориальных сообществ тактильной коммуникации, а в остальных сообществах такой возможности не будет (аудио-видео общение без ощущений).



Отсутствие в мировой науке публикаций по выделению сообществ тактильной коммуникации может быть частично восполнено географическим опытом идентификации территориальных сообществ людей по данным операторов сотовой связи [Botta, del Genio, 2017; Yang et al., 2019; Zhang et al., 2022; Arjona et al., 2023]. Несмотря на некоторое сходство между двумя отмеченными видами связи, тактильная коммуникация характеризуется соблюдением сверхмалых круговых задержек в передаче данных, а при сотовой связи соединение абонентов не ограничено задержкой и не требует тактильных кодеков. Еще одним научным направлением, из которого можно взять отдельные способы делимитации территориальных сообществ, может стать выявление функциональных районов на основе данных об интенсивности ежедневных междугородних поездок людей на работу, учебу и по иным целям [Martínez-Bernabéu et al., 2020; Iacus et al., 2022; Shen et al., 2023]. Применительно к тактильной коммуникации выделение территориальных сообществ может проводиться по интенсивности ТИ-соединения абонентов из разных населенных пунктов. Тогда искомые сообщества будут замыкаться в пределах функциональных районов тактильной коммуникации.

Пределы распространения

Определение величины задержки в передаче тактильных данных по кратчайшим оптоволоконным линиям связи между населенными пунктами может проводиться путем измерения (по датчикам операторов связи) или расчета по специальной формуле [Кучерявый и др., 2016]. Поскольку развертывание ТИ начнется примерно после 2030 года, то в настоящее время отсутствуют сведения о замерах задержки в передаче таких данных. Поэтому использовались расчеты по упомянутой формуле с уточнением, что в следующем десятилетии задержка в узлах связи будет ликвидирована ($\Theta = 0$). В таком случае алгоритм выделения территориальных сообществ тактильной коммуникации в Иркутской области объединит следующие действия: (а) по данным Росстата на 1 января 2023 года определяется город с наибольшей людностью, в котором должны быть расположены будущие службы поддержки тактильной связи – «центр» территориального сообщества (г. Иркутск); (б) идентифицируются городские поселения, находящиеся на удалении (туда и обратно) не более 0,50 мс от выделенного центра (эти поселения формируют «ближнюю периферию» сообщества, отличительной чертой которой является возможность тактильной коммуникации в режиме реального времени не только с центром, но и со всеми остальными поселениями в ближней периферии); (в) выделяется «дальняя периферия» сообщества как множество городских поселений, удаленных от центра на 0,51–1,00 мс (для этих поселений характерна возможность тактильной связи с центром и только с некоторыми другими поселениями в ближней и дальней периферии, до которых круговая задержка не превышает 1 мс; таким образом, здесь имеет место только частичный доступ к ТИ); (г) все поселения, входящие в первое территориальное сообщество, удаляются из списка рассматриваемых населенных пунктов области, а среди оставшихся выделяется поселение с наибольшей людностью (г. Братск); (д) относительно нового центра определяется ближняя и дальняя периферия и так продолжалось до тех пор, пока существуют потенциальные центры сообществ с численностью населения не менее 10 тыс. человек. Реализация этого алгоритма позволила идентифицировать 13 будущих территориальных сообществ тактильной коммуникации в Иркутской области и привязать их создание к семи стадиям развертывания ТИ в Российской Федерации (первая, вторая и четвертые стадии не характерны для области в связи с отсутствием центров с необходимой людностью). Получилось следующее распределение городских поселений по территориальным сообществам.

Третья стадия: Иркутское сообщество (центр – г. Иркутск; ближняя периферия – г. Ангарск, г. Шелехов, пгт Маркова; дальняя периферия – г. Усолье-Сибирское, пгт Бело-

реченский, пгт Большая Речка, пгт Култук, пгт Листвянка, пгт Средний, пгт Тайтурка, пгт Тельма).

Пятая стадия: Братское сообщество (центр – г. Братск; ближняя периферия – г. Вихоревка).

Шестая стадия: Усть-Илимское (центр – г. Усть-Илимск; ближняя периферия – пгт Железнодорожный) и Черемховское (центр – г. Черемхово; ближняя периферия – г. Свирск, пгт Михайловка, пгт Мишелевка; дальняя периферия – пгт Залари, пгт Тыреть 1-я) сообщества.

Седьмая стадия: Тулунское (центр – г. Тулун), Усть-Кутское (центр – г. Усть-Кут; ближняя периферия – пгт Янталь; дальняя периферия – пгт Звёздный), Саянское (центр – г. Саянск; ближняя периферия – г. Зима; дальняя периферия – пгт Куйтун), Тайшетское (центр – г. Тайшет; ближняя периферия – г. Бирюсинск, пгт Квиток, пгт Юрты; дальняя периферия – г. Алзамай, пгт Шиткино) и Нижнеудинское (центр – г. Нижнеудинск; ближняя периферия – пгт Атагай, пгт Ук, пгт Шумский) сообщества.

Восьмая стадия: Железногорск-Илимское (центр – г. Железногорск-Илимский; ближняя периферия – пгт Хребтовая; дальняя периферия – пгт Новая Игирма), Слюдянское (центр – г. Слюдянка; ближняя периферия – г. Байкальск), Чунское (центр – пгт Чунский; ближняя периферия – пгт Лесогорск, пгт Октябрьский) и Киренское (центр – г. Киренск; ближняя периферия – пгт Алексеевск) сообщества.

Анализ трассировки будущих оптоволоконных линий связи [Блануца, 2019, 2024]) показал, что эти линии, повышающие связанность российских городов, никак не влияют на уменьшение величины задержки в передаче тактильных данных между городскими поселениями Иркутской области. Поэтому были проанализированы две последние – гипотетические – стадии развертывания ТИ. Установлено, что создание прямых оптоволоконных линий связи между городскими поселениями (девятая стадия) позволит подключить к ТИ еще два населенных пункта во внешней периферии Железногорск-Илимского (пгт Видим) и Усть-Илимского (пгт Радищев) сообществ. Если когда-то будет разработана технология передачи тактильных данных со скоростью света (десятая стадия), то появится возможность расширить внешнюю периферию Тайшетского (пгт Новобирюсинский), Усть-Илимского (пгт Рудногорск, пгт Янгель) и Усть-Кутского (пгт Магистральный) сообществ. Однако и после реализации десятой стадии развертывания ТИ в Иркутской области останутся городские поселения без доступа к тактильной связи (табл. 1) – город Бодайбо и десять поселков городского типа (Артемовский, Балахнинский, Витимский, Жигалово, Качуг, Кропоткин, Луговский, Мама, Мамакан, Улькан). Таковы крайние пределы распространения территориальных сообществ тактильной коммуникации в Иркутской области.

Обычно обсуждение полученных результатов проводится путем сравнения с ранее полученными аналогичными данными по той же территории и (или) с помощью других алгоритмов. Однако ранее территориальные сообщества тактильной коммуникации не выделялись не только в Иркутской области, но и в других регионах и странах, а для применения алгоритмов идентификации функциональных районов тактильной коммуникации нет исходной информации об интенсивности обмена тактильными данными между населенными пунктами (такие сведения появятся после 2030 года при развертывании ТИ). Поэтому далее рассмотрим лишь ограничения проведенного исследования и интерпретацию полученных результатов.

Среди ограничений нашего исследования целесообразно отметить учет только городских поселений Иркутской области, отсутствие привязки стадий развертывания ТИ к конкретным годам и фиксированные границы территориальных сообществ. Первое ограничение связано с тем, что еще не все сельские поселения подключены к единой оптоволоконной сети России (в Иркутской области продолжается реализация программы ликвидации цифрового неравенства для поселений с численностью населения от 100 до 500 че-



ловек). Возможно, после 2030 года в области останется ряд сельских поселений без волоконно-оптических линий связи (только спутниковая связь), что исключает запуск тактильной связи. Кроме этого, людность шести сельских поселений области – Баклашинское, Молодежное, Уриковское, Усть-Ордынское, Ушаковское и Хомутовское – превышает 10 тыс. человек, что делает их потенциальными центрами территориальных сообществ. Однако такие сообщества не сформируются как отдельные образования, так как отмеченные сельские поселения находятся в зоне влияния г. Иркутска и войдут в Иркутское сообщество.

Таблица 1
Table 1

Количество городских поселений Иркутской области в территориальных сообществах тактильной коммуникации и за их пределами на разных стадиях развертывания тактильного Интернета в Российской Федерации после 2030 года (составлено автором)
The number of Irkutsk region's towns and settlements in the territorial communities of tactile communication and beyond at different stages of the Tactile Internet deployment in the Russian Federation after 2030 (compiled by the author)

Стадия развертывания	Число поселений с доступом к тактильной связи		Число поселений без доступа к тактильной связи	
	Города	Поселки городского типа	Города	Поселки городского типа
Первая	0	0	22	44
Вторая	0	0	22	44
Третья	4	8	18	36
Четвертая	4	8	18	36
Пятая	6	8	16	36
Шестая	9	13	13	31
Седьмая	17	22	5	22
Восьмая	21	28	1	16
Девятая	21	30	1	14
Десятая	21	34	1	10

Примечание. Учитывались населенные пункты Иркутской области, имеющие статус города или поселка городского типа на 1 января 2023 года.

Второе ограничение обусловлено отсутствием прогноза точной даты начала первой стадии развертывания ТИ в России и третьей стадии – в Иркутской области. Не исключено, что в разных российских регионах будут свои темпы внедрения тактильной связи. Поэтому в нашем географическом прогнозе восемь стадий привязаны к следующему десятилетию, а девятая и десятая стадии рассматриваются как гипотетические варианты с возможностью реализации в 2040-х гг. Неопределенность с конкретными годами заставила отказаться от попытки прогнозирования изменения численности населения городских поселений области, так как данные о предсказываемой людности невозможно соотнести с подробной хронологией стадий внедрения ТИ.

В нашем алгоритме выделения территориальных сообществ предусмотрены строго фиксированные границы (третье ограничение), что необходимо для планирования развертывания ТИ. Это обусловлено операцией «г» в рамках алгоритма. Однако в реальности могут быть населенные пункты, имеющие допустимую круговую задержку от нескольких центров, что создает «размытые» территориальные сообщества. Например, пгт Култук на третьей стадии должен войти во внешнюю периферию Иркутского сообщества, а на восьмой стадии может быть включен в ближнюю периферию Слюдянского сообщества. Получается, что жители данного поселка могут иметь тактильную связь с двумя центрами – городами Иркутск и Слюдянка. С учетом всех десяти стадий в Иркутской области такие пересечения могут быть между Усть-Кутским и Железногорск-Илимским, Усть-Илимским и Железногорск-Илимским, Братским и Железногорск-Илимским, Чунским и Братским, Тайшетским и Чунским, Нижнеудинским и Тайшетским, Тулунским и Нижнеудинским, Саянским и Тулунским, Черемховским и Саянским, Иркутским и Черемховским, Иркутским и Слюдянским сообществами тактильной коммуникации.

Интерпретация полученных результатов может осуществляться с разных позиций. Ограничимся толкованием территориальных сообществ тактильной коммуникации с позиций идентификации проблемных поселений и цифрового неравенства. В обоих случаях представляют интерес городские поселения, не вошедшие в состав рассматриваемых сообществ на разных стадиях развертывания ТИ. В этом контексте проблемным можно считать населенный пункт, который еще не подключен к тактильной связи. Если на первой стадии таковыми являются все городские поселения Иркутской области, то после десятой стадии останется 11 проблемных поселений (см. табл. 1). Больше всего этих поселений расположено на северо-востоке области, что заставит российское правительство финансировать операторам связи развертывания ТИ на этой территории в связи с недостаточным количеством потенциальных абонентов. Поэтому не исключено, что в отдаленной перспективе (после 2040 года) будут созданы два малых сообщества тактильной коммуникации – Бодайбинское (центр – г. Бодайбо; ближняя периферия – пгт Балахнинский, пгт Мамакан; дальняя периферия – пгт Артёмовский; при создании прямой оптоволоконной линии от г. Бодайбо возможно подключение пгт Кропоткин) и Мамское (центр – пгт Мама; ближняя периферия – пгт Витимский, пгт Луговский). После этого останется как-то подключать к ТИ три удаленных поселка – Жигалово, Качуг и Улькан.

Цифровое неравенство в современном понимании представлено тремя уровнями [Hargittai, 2002; Scheerder et al., 2017; Van Dijk, 2020] – доступом к информационно-коммуникационной сети, использованием сети (навыки, цифровая грамотность) и офлайн-результатами такого использования. До внедрения тактильной связи можно прогнозировать только возможность доступа к ТИ. В данном случае цифровое (точнее, интернет-тактильное) пространственное неравенство будет выражаться в существовании двух видов географических мест – с возможностью и без возможности тактильной связи. Как отмечалось выше, определение суммарной людности второго вида мест не имеет смысла без точной хронологии стадийности внедрения ТИ. Поэтому ограничимся предположением, что существующий удельный вес каждого городского поселения Иркутской области (на 1 января 2023 года) сохранится и после 2030 года. Это позволяет примерно оценить процент горожан области, которым будет частично доступна (внешняя периферия территориальных сообществ) и полностью недоступна тактильная связь на каждой стадии (табл. 2). Конечно, людность поселений не будет изменяться линейно и пропорционально относительно современной ситуации. Кроме этого, может измениться количество городских поселений как за счет появления новых поселений и перевода сельских поселений в городские, так и за счет лишения статуса городского поселения (например, в области в 2022 году существовал пгт Кунерма, который по данным Росстата на 01.01.2023 года уже значился сельским поселением). Несмотря на это, проведенные расчеты показывают, что



даже после сложно реализуемой десятой стадии в Иркутской области останется до двух процентов горожан без возможности пользования услугами ТИ.

Таблица 2
Table 2

Предполагаемый удельный вес (проценты) городского населения Иркутской области с частичным доступом (дальняя периферия территориальных сообществ) и без доступа к тактильной связи на разных стадиях развертывания тактильного Интернета в Российской Федерации после 2030 года (составлено автором)
The estimated proportion (percentage) of the Irkutsk region's urban population with partial access to tactile communication (the far periphery of territorial communities) and those without it at various stages of the Tactile Internet deployment in the Russian Federation after 2030 (compiled by the author)

Стадия развертывания	Будет возможность частичного доступа	Не будет возможности доступа
Первая	0	100,00
Вторая	0	100,00
Третья	5,70	44,26
Четвертая	5,70	44,26
Пятая	5,70	30,91
Шестая	6,45	21,08
Седьмая	7,40	7,75
Восьмая	7,90	2,51
Девятая	7,99	2,41
Десятая	8,69	1,72

Примечание. За основу взяты данные Росстата о численности городского населения на 1 января 2023 года и принято допущение, что после 2030 года сохранится удельный вес каждого городского поселения Иркутской области в суммарной людности таких поселений.

Заключение

Географический прогноз пределов распространения территориальных сообществ тактильной коммуникации в Иркутской области показал, что с учетом круговой задержки в передаче тактильных данных между населенными пунктами не более одной миллисекунды и минимальной людности центра сообщества в 10 тыс. человек может сформироваться максимум 13 таких сообществ. При этом создание прямых (по прямой линии между поселениями) оптоволоконных каналов связи и гипотетическая возможность разработки технологии передачи тактильных данных со скоростью света не может увеличить количество территориальных сообществ тактильной коммуникации в Иркутской области. Таким образом, тактильная связь в будущем (в 2030-х гг.) охватит максимум 55 городских поселений области. Оставшиеся 11 поселений при существующих ограничениях на людность центров размещения служб поддержки тактильной коммуникации будут без доступа к ТИ. Полученное знание имеет практическое применение в том смысле, что позволяет заранее (до 2030 года) начать разработку программы ликвидации будущего интернет-тактильного неравенства первого уровня (доступ к ТИ) в Иркутской области.

Перспективы дальнейших исследований по рассматриваемой проблематике связаны с устранением существующих ограничений, охватом других регионов (всей территории Российской Федерации), переходом от изучения тактильных дистанционных взаимо-

действий между людьми к аналогичным взаимодействиям в системах «человек – машина» и «машина – машина», разработкой алгоритма выявления функциональных тактильных районов, созданием пилотных региональных программ ликвидации будущего интернет-тактильного неравенства и получением иных – негеографических – прогнозов (к примеру, экономического прогноза, призванного оценить экономическую целесообразность развертывания тактильной связи в регионе).

Список источников

- Иркутская область. Расчет предположительной численности населения. Средний вариант прогноза (1 января 2024–2046 гг.). Электронный ресурс. URL: <https://38.rosstat.gov.ru/folder/167937> (дата обращения: 20.10.2024).
- Развитие мобильной связи и широкополосного доступа (22.06.2020). Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. Электронный ресурс. URL: <https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/543/> (дата обращения: 20.10.2024).
- Численность населения Российской Федерации по муниципальным образованиям на 1 января 2023 года. Федеральная служба государственной статистики. Электронный ресурс. URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13282> (дата обращения: 20.10.2024).
- The Tactile Internet: ITU-T Technology Watch Report, August 2014. 2014. Geneva, ITU, 18 p.

Список литературы

- Блануца В.И. 2019. Информационно-сетевая география. Москва, ИНФРА-М, 243 с. https://doi.org/10.12737/monography_5cff8bcec8c6d5.00839612
- Блануца В.И. 2024. Идентификация критической телекоммуникационной инфраструктуры в России: географический подход. География и природные ресурсы, 45(1): 5–14. <https://doi.org/10.15372/GIPR20240101>
- Кузнецов К.А., Мутханна Ф.С.Ф., Кучерявый А.Е. 2019. Тактильный интернет и его приложения. Информационные технологии и телекоммуникации, 7(2): 12–20. <https://doi.org/10.31854/2307-1303-2019-7-2-12-20>
- Кучерявый А.Е., Маколкина М.А., Киричек Р.В. 2016. Тактильный интернет. Сети связи со сверхмалыми задержками. Электросвязь, 1: 44–46.
- Перфильев Ю.Ю. 2003. Российское интернет-пространство: развитие и структура. Москва, Гардарики, 272 с.
- Arjona J.O., Santacruz J.S.R., de Las Obras-Loscertales J. 2023. Mapping of Functional Areas in Spain Based on Mobile Phone Data During Different Phases of the COVID-19 Pandemic. Journal of Maps, 19(1): 2214804. <https://doi.org/10.1080/17445647.2023.2214804>
- Awais M., Khan F.U., Zafar M., Mudassar M., Zaheer M.Z., Cheema K.M., Kamran M., Jung W.-S. 2023. Towards Enabling Haptic Communications Over 6G: Issues and Challenges. Electronics, 12(13): 2955. <https://doi.org/10.3390/electronics12132955>
- Blom T., Nilsson M. 2023. Tactile Tourism: Tourist Attractions Touch. Tourism, 71(3): 553–567. <https://doi.org/10.37741/t.71.3.8>
- Botta F., del Genio C.I. 2017. Analysis of the Communities of an Urban Mobile Phone Network. PLoS ONE, 12(3): 0174198. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174198>
- Fanibhare V., Sarkar N.I., Al-Anbuky A. 2021. A Survey of the Tactile Internet: Design Issues and Challenges, Applications, and Future Directions. Electronics, 10(17): 2171. <https://doi.org/10.3390/electronics10172171>
- Fettweis G.P. 2014. The Tactile Internet: Applications and Challenges. IEEE Vehicular Technology Magazine, 9(1): 64–70. <https://doi.org/10.1109/mvt.2013.2295069>
- Fitzek F.H.P., Li, S. C., Speidel S., Strufe T., Simsek M., Reisslein M. 2021. Tactile Internet with Human-in-the-Loop. London, San Diego, Cambridge. Oxford, Academic Press, 508 p.
- Hargittai E. 2002. Second-Level Digital Divide: Differences in People's Online Skills. First Monday, 7(4): 1–20. <https://doi.org/10.5210/fm.v7i4.942>
- Hou Z., She C., Li Y., Niyato D., Dohler M., Vucetic B. 2021. Intelligent Communications for Tactile Internet in 6G: Requirements Technologies and Challenges. IEEE Communications Magazine, 59(12): 82–88. <https://doi.org/10.1109/mcom.006.2100227>



- Iacus S.M., Santamaria C., Sermi F., Spyrtos S., Tarchi D., Vespe M. 2022. Mobility Functional Areas and COVID-19 Spread. *Transportation*, 49(6): 1999–2025. <https://doi.org/10.1007/s11116-021-10234-z>
- Islam M.Z., Ali R., Malik A.H., Kim H.S. 2022. QoS Provisioning: Key Drivers and Enablers Toward the Tactile Internet in Beyond 5G Era. *IEEE Access*, 10: 85720–85754. <https://doi.org/10.1109/access.2022.3197900>
- Le D.T., Nguyen T.G., Tran T.T.T. 2020. The 1-Millisecond Challenge – Tactile Internet: From Concept to Standardization. *Journal of Telecommunications and the Digital Economy*, 8(2): 56–93. <https://doi.org/10.18080/jtde.v8n2.240>
- Martínez-Bernabéu L., Coombes M., Casado-Díaz J.M. 2020. Functional Regions for Policy: A Statistical ‘Toolbox’ Providing Evidence for Decisions Between Alternative Geographies. *Applied Spatial Analysis and Policy*, 13: 739–758. <https://doi.org/10.1007/s12061-019-09326-2>
- Samanta A., Panigrahi B., Rath H.K., Shailendra S. 2021. On Low Latency Uplink Scheduling for Cellular Haptic Communication To Support Tactile Internet. *Wireless Personal Communications*, 121: 1471–1488. <https://doi.org/10.1007/s11277-021-08680-0>
- Scheerder A., van Deursen A., van Dijk J. 2017. Determinants of Internet Skills, Uses and Outcomes. A Systematic Review of the Second- and Third-Level Digital Divide. *Telematics and Informatics*, 34(8): 1607–1624. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2017.07.007>
- Shen J., Zong H., Chen M. 2023. Identifying City Communities in China by Fusing Multisource Flow Data. *International Journal of Digital Earth*, 16(2): 4247–4264. <https://doi.org/10.1080/17538947.2023.2268595>
- Simsek M., Alijazi A., Dohler M., Sachs J., Fettweis G. 2016. 5G-enabled Tactile Internet. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 34(3): 460–473. <https://doi.org/10.1109/jsac.2016.2525398>
- Tychola K.A., Voulgaridis K., Lagkas T. 2023. Tactile IoT and 5G & Beyond Schemes as Key Enabling Technologies for the Future Metaverse. *Telecommunication Systems*, 84: 363–385. <https://doi.org/10.1007/s11235-023-01052-y>
- Van Dijk J. 2020. *The Digital Divide*. Cambridge, Polity Press, 208 p.
- Vaquero-Melchor D., Bernardos A.M. 2019. Enhancing Interaction with Augmented Reality Through Mid-Air Haptic Feedback: Architecture Design and User Feedback. *Applied Sciences*, 9(23): 5123. <https://doi.org/10.3390/app9235123>
- Yahiya T.I., Kirci P. 2019. Issues and Challenges Facing Low Latency in Tactile Internet. *UKH Journal of Science and Engineering*, 3(1): 47–58. <https://doi.org/10.25079/ukhjse.v3n1y2019.pp44-58>
- Yang X., Fang Z., Xu Y., Yin L., Li J., Lu S. 2019. Spatial Heterogeneity in Spatial Interaction of Human Movements – Insights from Large-Scale Mobile Positioning Data. *Journal of Transport Geography*, 78: 29–40. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2019.05.010>
- Yu H., Afzal M.K., Zikria Y.B., Rachedi A., Fitzek F.H.P. 2020. Tactile Internet: Technologies, Test Platforms, Trials, and Applications. *Future Generation Computer Systems*, 106: 685–688. <https://doi.org/10.1016/j.future.2020.01.057>
- Zhang B., Zhong C., Cao Q., Shabrina Z., Tu W. 2022. Delineating Urban Functional Zones Using Mobile Phone Data: A Case Study of Cross-Boundary Integration in Shenzhen-Dongguan-Huizhou Area. *Computer, Environment and Urban Systems*, 98: 101872. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2022.101872>

References

- Blanutsa V.I. 2019. *Information Network Geography*. Moscow, Publ. INFRA-M, 243 p. (in Russian). https://doi.org/10.12737/monography_5cfff8bccc8c6d5.00839612
- Blanutsa V.I. 2024. Identification of Critical Telecommunications Infrastructure in Russia: a Geographical Approach. *Geography and Natural Resources*, 45(1): 5–14 (in Russian). <https://doi.org/10.15372/GIPR20240101>
- Kuznetsov K.A., Muthanna F.S.F., Kucheryavy A.E. 2019. Tactile Internet and Its Applications. *Telecom IT*, 7(2): 12–20 (in Russian). <https://doi.org/10.31854/2307-1303-2019-7-2-12-20>
- Kucheryavy A.E., Makolkina M.A., Kirichek R.V. 2016. Tactile Internet. *Ultra-Low Latency Networks*. *Electrosvyaz*, 1: 44–46 (in Russian).
- Perfiliev Yu.Yu. 2003. *Rossiyskoe internet-prostranstvo: razvitie i struktura* [The Russian Internet Space: Development and Structure]. Moscow, Publ. Gardariki, 272 p.

- Arjona J.O., Santacruz J.S.R., de Las Obras-Loscertales J. 2023. Mapping of Functional Areas in Spain Based on Mobile Phone Data During Different Phases of the COVID-19 Pandemic. *Journal of Maps*, 19(1): 2214804. <https://doi.org/10.1080/17445647.2023.2214804>
- Awais M., Khan F.U., Zafar M., Mudassar M., Zaheer M.Z., Cheema K.M., Kamran M., Jung W.-S. 2023. Towards Enabling Haptic Communications Over 6G: Issues and Challenges. *Electronics*, 12(13): 2955. <https://doi.org/10.3390/electronics12132955>
- Blom T., Nilsson M. 2023. Tactile Tourism: Tourist Attractions Touch. *Tourism*, 71(3): 553–567. <https://doi.org/10.37741/t.71.3.8>
- Botta F., del Genio C.I. 2017. Analysis of the Communities of an Urban Mobile Phone Network. *PLoS ONE*, 12(3): 0174198. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174198>
- Fanibhare V., Sarkar N.I., Al-Anbuky A. 2021. A Survey of the Tactile Internet: Design Issues and Challenges, Applications, and Future Directions. *Electronics*, 10(17): 2171. <https://doi.org/10.3390/electronics10172171>
- Fettweis G.P. 2014. The Tactile Internet: Applications and Challenges. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 9(1): 64–70. <https://doi.org/10.1109/mvt.2013.2295069>
- Fitzek F.H.P., Li, S. C., Speidel S., Strufe T., Simsek M., Reisslein M. 2021. Tactile Internet with Human-in-the-Loop. London, San Diego, Cambridge. Oxford, Academic Press, 508 p.
- Hargittai E. 2002. Second-Level Digital Divide: Differences in People's Online Skills. *First Monday*, 7(4): 1–20. <https://doi.org/10.5210/fm.v7i4.942>
- Hou Z., She C., Li Y., Niyato D., Dohler M., Vucetic B. 2021. Intelligent Communications for Tactile Internet in 6G: Requirements Technologies and Challenges. *IEEE Communications Magazine*, 59(12): 82–88. <https://doi.org/10.1109/mcom.006.2100227>
- Iacus S.M., Santamaria C., Sermi F., Spyrtatos S., Tarchi D., Vespe M. 2022. Mobility Functional Areas and COVID-19 Spread. *Transportation*, 49(6): 1999–2025. <https://doi.org/10.1007/s11116-021-10234-z>
- Islam M.Z., Ali R., Malik A.H., Kim H.S. 2022. QoS Provisioning: Key Drivers and Enablers Toward the Tactile Internet in Beyond 5G Era. *IEEE Access*, 10: 85720–85754. <https://doi.org/10.1109/access.2022.3197900>
- Le D.T., Nguyen T.G., Tran T.T.T. 2020. The 1-Millisecond Challenge – Tactile Internet: From Concept to Standardization. *Journal of Telecommunications and the Digital Economy*, 8(2): 56–93. <https://doi.org/10.18080/jtde.v8n2.240>
- Martínez-Bernabéu L., Coombes M., Casado-Díaz J.M. 2020. Functional Regions for Policy: A Statistical ‘Toolbox’ Providing Evidence for Decisions Between Alternative Geographies. *Applied Spatial Analysis and Policy*, 13: 739–758. <https://doi.org/10.1007/s12061-019-09326-2>
- Samanta A., Panigrahi B., Rath H.K., Shailendra S. 2021. On Low Latency Uplink Scheduling for Cellular Haptic Communication To Support Tactile Internet. *Wireless Personal Communications*, 121: 1471–1488. <https://doi.org/10.1007/s11277-021-08680-0>
- Scheerder A., van Deursen A., van Dijk J. 2017. Determinants of Internet Skills, Uses and Outcomes. A Systematic Review of the Second- and Third-Level Digital Divide. *Telematics and Informatics*, 34(8): 1607–1624. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2017.07.007>
- Shen J., Zong H., Chen M. 2023. Identifying City Communities in China by Fusing Multisource Flow Data. *International Journal of Digital Earth*, 16(2): 4247–4264. <https://doi.org/10.1080/17538947.2023.2268595>
- Simsek M., Alijaz A., Dohler M., Sachs J., Fettweis G. 2016. 5G-enabled Tactile Internet. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 34(3): 460–473. <https://doi.org/10.1109/jsac.2016.2525398>
- Tychola K.A., Voulgaridis K., Lagkas T. 2023. Tactile IoT and 5G & Beyond Schemes as Key Enabling Technologies for the Future Metaverse. *Telecommunication Systems*, 84: 363–385. <https://doi.org/10.1007/s11235-023-01052-y>
- Van Dijk J. 2020. *The Digital Divide*. Cambridge, Polity Press, 208 p.
- Vaquero-Melchor D., Bernardos A.M. 2019. Enhancing Interaction with Augmented Reality Through Mid-Air Haptic Feedback: Architecture Design and User Feedback. *Applied Sciences*, 9(23): 5123. <https://doi.org/10.3390/app9235123>
- Yahiya T.I., Kirci P. 2019. Issues and Challenges Facing Low Latency in Tactile Internet. *UKH Journal of Science and Engineering*, 3(1): 47–58. <https://doi.org/10.25079/ukhjse.v3n1y2019.pp.44-58>



- Yang X., Fang Z., Xu Y., Yin L., Li J., Lu S. 2019. Spatial Heterogeneity in Spatial Interaction of Human Movements – Insights from Large-Scale Mobile Positioning Data. *Journal of Transport Geography*, 78: 29–40. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2019.05.010>
- Yu H., Afzal M.K., Zikria Y.B., Rachedi A., Fitzek F.H.P. 2020. Tactile Internet: Technologies, Test Platforms, Trials, and Applications. *Future Generation Computer Systems*, 106: 685–688. <https://doi.org/10.1016/j.future.2020.01.057>
- Zhang B., Zhong C., Cao Q., Shabrina Z., Tu W. 2022. Delineating Urban Functional Zones Using Mobile Phone Data: A Case Study of Cross-Boundary Integration in Shenzhen-Dongguan-Huizhou Area. *Computer, Environment and Urban Systems*, 98: 101872. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2022.101872>

*Поступила в редакцию 03.12.2024;
поступила после рецензирования 24.12.2024;
принята к публикации 16.01.2025*

*Received December 03, 2024;
Revised December 24, 2024;
Accepted January 16, 2025*

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.
Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Блануца Виктор Иванович, доктор географических наук, эксперт РАН по экономическим наукам, ведущий научный сотрудник, Институт географии им. В.Б. Сочавы Сибирского отделения РАН, г. Иркутск, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Viktor I. Blanutsa, Doctor of Geographical Sciences, RAS Expert in Economic Sciences, Leading Researcher, Sochava Institute of Geography, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia