

В.И. БЛАНУЦАИнститут географии им. В.Б. Сочавы СО РАН,
664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1, Россия, blanutsa@list.ru**ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ТАКТИЛЬНОГО ИНТЕРНЕТА:
ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ**

По прогнозам, в следующем десятилетии начнется развертывание тактильного Интернета на основе телекоммуникационной сети шестого поколения. Для этого должна быть обеспечена сверхнадежная и с наименьшей задержкой передача не только традиционных данных (текст, аудио, видео), но и тактильных ощущений (прикосновение, давление, вибрация, шероховатость и др.). С этой целью уже разработана архитектура, состоящая из трех доменов, и совершенствуются устройства считывания тактильных ощущений, преобразования их в цифровую запись и удаленного воспроизведения. Однако в мировой науке нет ни одной работы о возможных общественно-географических последствиях развертывания тактильной связи. В настоящем исследовании определены контуры будущих направлений географического изучения тактильного Интернета на основе сравнения методологических возможностей общественной географии со спецификой передачи тактильных данных по телекоммуникационной сети. С помощью авторского алгоритма семантического поиска, представляющего итерационную систему машинного обучения, в отечественных и международных библиографических базах данных отобраны необходимые публикации. Их анализ позволил идентифицировать ключевые параметры тактильного Интернета и оценить географическую изученность рассматриваемой проблематики. Установлено, что отсутствие географических исследований тактильной связи в некоторой мере может компенсироваться общественно-географическим изучением Интернета вещей, искусственного интеллекта и беспроводной связи пятого и шестого поколения. Идентифицированы пять перспективных научных направлений, которые условно названы дистанционно-задерживаемым, пространственно-доменным, регионально-потокowym, погранично-вычислительным и территориально-адаптационным. По каждому направлению выделены этапы развития и сформулированы первоочередные исследовательские вопросы. Приведены возможные сферы применения результатов географического изучения тактильного Интернета.

Ключевые слова: общественная география, тактильная коммуникация, круговая задержка, размещение доменов, региональный информационный поток, адаптация территории.

V.I. BLANUTSAV.B. Sochava Institute of Geography, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
664033, Irkutsk, ul. Ulan-Batorskaya, 1, Russia, blanutsa@list.ru**GEOGRAPHICAL STUDY OF THE TACTILE INTERNET: PROMISING DIRECTIONS**

According to forecasts, the deployment of the Tactile Internet based on the sixth-generation telecommunication network will begin in the next decade. To achieve this, it is necessary to ensure ultrareliable and minimal-latency transmission of not only traditional data (text, audio, video), but also tactile sensations (touch, pressure, vibration, roughness, etc.). For this purpose, an architecture consisting of three domains has already been developed, and devices for reading tactile sensations, converting them into digital recording and remote playback are being improved. However, there is not a single work in the world science on the possible socio-geographical consequences of the tactile communication deployment. This study defines the contours of future directions of the geographical study of the Tactile Internet based on a comparison of the methodological capabilities of human geography with the specifics of tactile data transmission over a telecommunication network. Using the author's semantic search algorithm, which is an iterative machine learning system, the necessary publications have been selected in domestic and international bibliographic databases. Their analysis made it possible to identify the key parameters of the Tactile Internet and assess the level of geographical knowledge of the problem under consideration. It has been established that the lack of geographical research on tactile communication can be compensated to some extent by the human-geographical study of the Internet of Things, artificial intelligence and 5G/6G wireless communications. Five promising scientific directions have been identified, which are conventionally called remotely delayed, spatial domain, regional streaming, boundary computing and territorial adaptive. The stages of development for each direction are highlighted and priority research questions are formulated. Possible fields of application of the results of the geographical study of the Tactile Internet are given.

Keywords: human geography, tactile communication, circular delay, domain placement, regional information flow, territorial adaptation.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие информационно-коммуникационных технологий можно представить в виде следующей последовательности [1]: фиксированный Интернет (1980–2000-е гг.; сети связи 1G, 2G и 3G) → мобильный Интернет (2010-е гг.; 4G) → Интернет вещей (2020-е гг.; 5G) → тактильный Интернет (2030-е гг.; 6G). Концепция последнего вида была представлена в 2014 г. [2], зафиксирована в докладе рабочей группы Международного союза электросвязи [3] и конкретизирована в стандарте Института инженеров электротехники и электроники IEEE 1918.1. Географы изучали в основном первые два вида [4, 5] и только приступили к познанию пространственно-временных особенностей развертывания Интернета вещей [6]. Что касается тактильного Интернета (ТИ), под которым понимается сверхнадежная и с наименьшей задержкой передача не только традиционных данных (текст, аудио, видео), но и тактильных ощущений (прикосновение, давление, вибрация, шероховатость и др.), то о географических особенностях его развертывания еще ничего не известно. Поэтому целью нашего исследования стало определение контуров будущих направлений географического изучения тактильного Интернета на основе сравнения методологических возможностей общественной географии со спецификой передачи тактильных данных по телекоммуникационной сети. Для достижения указанной цели потребовалось решить следующие задачи: уяснить ключевые параметры ТИ, обобщить географические исследования в смежных областях и наметить контуры перспективных направлений.

Тактильные ощущения играют важную роль в человеческом обществе, что нашло отражение в социальных науках в виде концепций «культурной истории прикосновения» [7], «сенсорного общества» [8], «тактильной современности» [9] и «географии прикосновений» («тактильной географии») [10–12]. Однако в перечисленных концепциях не предусмотрен анализ тактильных коммуникаций, поддерживаемых ТИ на определенном расстоянии. Нет такого анализа и в «тактильной картографии», призванной помочь слепым и слабовидящим людям [13], а также в более общем «тактильно-осознательном измерении картографии» [14, 15]. Для уточнения рамок исследования целесообразно также отметить, что прикосновения первоначально рассматривались исключительно как человеческие способности, но в связи с развитием робототехники и Интернета вещей возникла необходимость в тактильной коммуникации как между человеком и машиной, так и между машинами [16]. Далее ограничимся рассмотрением ТИ-обусловленных дистанционных взаимодействий между людьми (H2H) и в системе человек — машина (H2M).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Решение первых двух задач опиралось на обобщение мирового опыта научных исследований по ТИ и общественной географии. Для этого из международных и российских библиографических баз данных с помощью авторского алгоритма семантического поиска [17] отбирались необходимые публикации. Их содержательный анализ позволил сформулировать выводы о специфике мирового опыта по рассматриваемым вопросам. Что касается третьей задачи, то перспективные направления определялись путем сравнения ключевых параметров ТИ с методологическими возможностями общественной географии в плане изучения пространственно-временного проявления этих параметров. Отсюда следует, что вне нашего исследования оказались параметры тактильной связи, не имеющие географического измерения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Тактильный Интернет. Обобщая опубликованные работы [1–3, 18–27], можно представить архитектуру ТИ в виде трех доменов — главного (человек-оператор в H2M или человек как абонент тактильной связи в H2H), сетевого (система электросвязи) и ведомого (механическое устройство, управляемое оператором, в H2M или абонент в H2H). 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 в H2H; ведутся работы по обеспечению тактильной обратной связи в воздухе — с помощью вихрей, струй и ультразвука [24]). Первоначально предполагалось, что ТИ будет реализован в 2020-х гг. на основе беспроводной связи пятого поколения (5G) [25], но дальнейшее уточнение возможностей сетей 5G привело к пониманию их ограничений и переносу полномасштабного внедрения тактильной связи за пределы 5G [26] или в 6G [27].

К ключевым параметрам нового вида Интернета относятся сверхвысокая надежность (99,999 %, или вероятность отказа один к миллиону) и сверхмалая круговая задержка (время передачи данных от первого к третьему домену и обратно не должно превышать одну миллисекунду). Особо критична задержка [28, 29], которая при передаче данных ограничена скоростью света (расстояние между первым и третьим доменами не может превышать 150 км, так как свет за 1 мс проходит 300 км). Возможны также задержки из-за физических свойств канала связи (оптоволокно, медь или радиосвязь), очереди на передачу данных, обработки данных и других ограничений [1, 23], что приводит к дополнительному сокращению предельного расстояния между общающимися абонентами. Для уменьшения задержки предлагается использовать туманные [30] и пограничные [31] вычисления, а также искусственный интеллект [1]. Несмотря на все новации, величина задержки остается главным географическим ограничением для возможности осуществления тактильной коммуникации в режиме реального времени. В качестве приложений ТИ обычно рассматриваются электронное здравоохранение (теледиагностика, телехирургия и телереабилитация), образование, виртуальная и дополненная реальность, самоуправляемые (беспилотные) транспортные средства, «умное производство», «умный город», электронная торговля, тактильный туризм и «серьезные игры» (не развлечения) [1, 20, 22, 32]. Внедрение ТИ позволит, кроме всего прочего, виртуально прикасаться к музейным экспонатам, архитектурным достопримечательностям, редким представителям флоры и фауны, а также ощущать климатические особенности удаленных или недоступных мест.

Географические исследования. Отсутствие публикаций по географическому изучению ТИ не позволяет провести какое-либо обобщение существующего опыта. Поэтому обратимся к смежным научным областям, которые тематически связаны с рассматриваемой проблематикой и по которым имеются географические публикации. Во-первых, такой областью является Интернет вещей, так как переход к тактильной коммуникации развивает идеи межмашинного взаимодействия (M2M) [1]. Из географического обобщения по этому виду Интернета [6] следует целесообразность анализа размещения (в том числе территориальной концентрации) и взаимодействия (включая региональные потоки данных) «умных» вещей (отдельных технических устройств, а также их скоплений в городах, агломерациях и регионах). Во-вторых, для поддержки передачи тактильных ощущений на значительные расстояния будут использоваться методы искусственного интеллекта [1]. Их географическое осмысление [17] указывает на необходимость исследования применения этих методов в территориально-распределенных туманных серверах и конечных (пограничных) устройствах, а также социально-географических последствий в виде пространственного неравенства и алгоритмической предвзятости (необоснованное распространение результатов машинного обучения на неизученные местности). В-третьих, сетевой домен ТИ будет создан на основе беспроводной связи 5G/6G [25–27]. С географической точки зрения [5, 17] использование такой связи приведет к пространственному ограничению коммуникации из-за необходимости соблюдения сверхмалой задержки передачи данных (сформируются специфические территориальные сообщества пользователей ТИ) и проблемам адаптации населения к новой технологии.

Учитывая методологические возможности общественной географии [5, 17], своеобразие ТИ и географическое понимание смежных технологий, можно предположить, что в будущем (при повсеместном внедрении дистанционной передачи тактильных ощущений в 2030-х гг.) в первую очередь будут сформированы пять новых научных направлений, предварительные контуры которых представлены далее. Если принять во внимание зависимость тактильной коммуникации от типа искусственного интеллекта [1, 33, 34] и поколения беспроводной связи [35], то в первом приближении можно выделить три этапа развития каждого направления с ориентировочной привязкой к десятилетиям (см. рисунок). При этом не исключено появление других направлений, но с современных позиций наиболее значимо, по мнению автора, первоочередное развитие географического познания ТИ именно по пяти представленным векторам.

Дистанционно-задерживаемое направление. Поскольку ключевым параметром ТИ является круговая задержка в передаче данных по линиям связи между первым и третьим доменами, то исследование географических особенностей замедления скорости тактильной коммуникации из-за увеличения дистанции (расстояния) между абонентами (доменами) является наиболее важной областью будущих работ. Первая попытка географического осмысления феномена задержки в оптоволоконной сети была связана с выделением «умных» городских агломераций и регионов в Российской Федерации [5]. В данном случае рассчитывалась задержка только в один конец (прямая связь), что недостаточно для анализа ТИ, так как проблемы возникают в основном с обратной тактильной связью [1, 23]. Изучение пространственно-временных особенностей круговой задержки географами еще не проводилось, что

Этапы		
Разработка методологии	Эмпирические исследования	Обобщение результатов
Тип искусственного интеллекта		
Слабый	Слабый распределенный	Сильный
Направления	Дистанционно-задерживаемое	
	Пространственно-доменное	
	Регионально-потокое	
	Погранично-вычислительное	
	Территориально-адаптационное	
5G (2020-е)		6G (2030-е)
		7G (2040-е)
Поколения беспроводной связи (годы развертывания)		

Этапы географического изучения тактильного Интернета в рамках перспективных научных направлений (составлено автором).

позволяет говорить о новизне данного направления. Задержка может вычисляться по специальной формуле [18] или непосредственно измеряться оператором связи. Второй способ станет возможным после реального развертывания ТИ в 2030-е гг., а до этого, чтобы заранее выявить проблемные территории, придется применять первый способ. В рамках данного направления предстоит ответить на ряд исследовательских вопросов, среди которых выделим три:

- как провести делимитацию ареалов, в пределах каждого из которых любые два удаленных друг от друга абонента (Н2Н) смогут в режиме реального времени (круговая задержка не более 1 мс) обмениваться тактильными ощущениями через инфраструктуру ТИ;

- каким образом идентифицировать и затем отобразить на географической карте с помощью изолиний разнонаправленную пульсирующую территориальную структуру ухудшения качества тактильной связи по мере удаления от ядер концентрации услуг ТИ;

- каковы количественные значения центр-периферийной диспропорции в возможности передачи тактильных данных по телекоммуникационной сети в пределах изучаемого полигона.

Одной из сфер практического применения данного направления является определение максимально возможного количества абонентов тактильной связи. Поскольку еще не произошло реальное развертывание ТИ, обратимся к гипотетическому примеру повсеместного распространения такого вида связи на 1 января 2024 г. в городских поселениях Новосибирской области (14 городов и 17 поселков городского типа с 2 225 442 жителями по оценке Росстата [36]). Величина задержки T рассчитывалась по следующей формуле [18]:

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

где R — расстояние между двумя городскими поселениями по кратчайшей оптоволоконной линии (км); τ — задержка, связанная с физическими ограничениями по передаче данных (мкс/км; для оптоволоконных линий $\tau = 5$ мкс/км); Θ — задержка, вносимая техническими средствами связи (мкс; расчет средств связи ведет к минимизации Θ , что позволяет в прогнозных расчетах принять $\Theta = 0$).

Расстояния по оптоволоконным линиям связи между городскими поселениями взяты из аналитического отчета VISION [37]. Если учитывать тактильную связь в реальном времени, то круговая

задержка не должна превышать 1 мс (1000 мкс), что соответствует предельному расстоянию в 100 км ($R = T \cdot \tau = 1000:5 = 200$ км туда и обратно). Тогда, к примеру, из Новосибирска можно поддерживать обмен тактильными данными с тремя городами (Бердск, Искитим и Обь) и девятью поселками (Горный, Колывань, Кольцово, Коченёво, Краснообск, Линёво, Мошково, Станционно-Ояшинский и Чик), в которых проживает 1 949 731 чел. (включая Новосибирск). Опираясь на такое предельное число абонентов, можно оценить положение каждого городского поселения в сети тактильной связи Новосибирской области. Получился следующий результат (количество абонентов, тыс. чел.; число городов + число поселков городского типа, включая оцениваемое поселение): Кольцово (1965,6; 5 + 9), Бердск (1956,1; 5 + 8), Новосибирск (1949,7; 4 + 9), Краснообск (1932,1; 4 + 8), Обь (1932,1; 4 + 8), Искитим (1921,3; 5 + 5), Коченёво (1864,0; 4 + 5), Чик (1862,7; 3 + 6), Колывань (1853,2; 3 + 5), Линёво (1852,7; 4 + 4), Мошково (1749,8; 3 + 5), Станционно-Ояшинский (1723,8; 3 + 3), Горный (1693,9; 3 + 1), Посевная (255,1; 3 + 6), Черепаново (255,1; 3 + 6), Дорогино (239,7; 3 + 5), Барабинск (69,0; 2 + 0), Куйбышев (69,0; 2 + 0), Маслянино (59,4; 1 + 4), Карасук (48,6; 2 + 1), Купино (45,0; 2 + 1), Чистоозёрное (43,7; 2 + 1), Сузун (39,9; 1 + 2), Татарск (36,7; 1 + 2), Чулым (36,3; 2 + 1), Красноозёрское (33,6; 1 + 1), Чаны (31,3; 1 + 1), Тогучин (29,1; 1 + 1), Болотное (29,0; 1 + 2), Каргат (19,1; 2 + 0), Ордынское (9,4; 0 + 1).

Пространственно-доменное направление. Классические географические исследования связаны с анализом размещения социально-экономических объектов. В данном направлении будет анализироваться размещение в пространстве главных и ведомых доменов ТИ. В настоящее время подобные работы не выполняются из-за отсутствия теоретических и методических основ, а также исходных данных. Не дожидаясь появления массива данных о тактильной коммуникации, необходимо будет разработать методологию будущих исследований. Возможно, придется обратиться к опыту подобных исследований в области информационно-сетевой географии [5], по крайней мере в этой области имеются результаты анализа размещения доменов предыдущих видов Интернета [38–40]. Основной особенностью анализа тактильных доменов станет их парность (связка первый – третий домен), тогда как ранее изучалось размещение только отдельных доменов Интернета. Здесь ключевыми являются три вопроса:

- как измерить плотность парных доменов по небольшим ячейкам (например, квадрат со стороной 1 км), когда расстояние между двумя взаимосвязанными доменами может составлять десятки километров;

- если оперировать данными о динамике появления парных доменов, как измерить и визуализировать пространственно-временную неоднородность использования тактильной связи на изучаемом полигоне;

- какова частота встречаемости парных доменов с разной удаленностью друг от друга (можно фиксировать по шкале 0–1, 1–10, 10–20 км и т. д.) в пределах анализируемой территории (эта характеристика позволит проводить классификацию населенных пунктов, регионов и стран).

Регионально-потокное направление. Характер локализации множества доменов (см. предыдущее направление) позволяет судить об информационной – интернет-тактильной – освоенности территории (насыщенности доменами), но не предоставляет возможность оценить интенсивность функционирования тактильной связи. Для этого надо использовать сведения о региональных (между населенными пунктами) потоках тактильных данных. Аналогичные потоки изучались по предыдущим видам Интернета и другим информационно-коммуникационным сетям [5, 41, 42]. Основная сложность будет заключаться в разделении потока данных на тактильный и не тактильный трафик. Не исключено, что первоначально придется применять косвенные оценки трафика [5]. Здесь из множества исследовательских проблем также выделим только три вопроса:

- какова территориальная структура потоков тактильных данных в регионе и возможно ли выделить в ней критически важные узлы (хабы), в которые сходятся основные потоки;

- в каких географических местах сетевые домены чрезмерно перегружены, что приводит к значительной задержке в очереди на передачу данных и, соответственно, превышению предельного значения 1 мс, а где существуют резервы пропускной способности сети;

- как построить оптимальную региональную модель перераспределения потоков тактильных данных при ограничениях на сверхмалую задержку и сверхвысокую надежность.

Погранично-вычислительное направление. Для поддержания тактильной связи необходимы вычислительные мощности, наиболее приближенные к конечным пользователям (абонентам Н2Н или доменам Н2М). В обычной иерархии хранения и обработки данных «облачный дата-центр (ядро) – туманные серверы – краевые (пограничные, периферийные) устройства» это выражается в концент-

рации вычислений на границе сети [31]. Оптимальное размещение пограничных устройств и их туманных заменителей является классической географической задачей («развертывание с учетом географических условий» по терминологии специалистов в области параллельных и распределенных вычислений) [43]. При этом надо учитывать, что не во всех географических местах имеются необходимые вычислительные мощности. В таком случае приходится подключаться к более удаленным туманным и облачным серверам, что может привести к превышению допустимой задержки. Помимо оптимизации географического распределения пограничных устройств, предстоит получить ответы на три первоочередных вопроса:

- каким образом измерить плотность пограничных устройств (их количество на единицу площади) при условии мобильности устройств и абонентов ТИ в пределах допустимой задержки;
- как провести дифференциацию территории по достаточности (недостаточности) пограничных вычислительных ресурсов для обеспечения функционирования тактильной связи между всеми потенциальными абонентами;
- на каких проблемных территориях (недостаточно вычислительной мощности пограничных устройств) целесообразно создавать облачные дата-центры для поддержания тактильной коммуникации, а где можно ограничиться размещением дополнительных туманных серверов.

Территориально-адаптационное направление. Внедрение технологии тактильной связи будет неодинаково проходить в разных территориальных ячейках, что обусловлено географическими, социально-экономическими и другими особенностями этих ячеек. Поэтому анализ всех факторов, благоприятствующих или препятствующих распространению новой технологии и связанных с ней услуг (приложений) в различных общественно-географических условиях, целесообразно выделить в отдельное направление. Оно должно быть нацелено на выявление территорий (ареалов, регионов, зон) с разной степенью адаптации ТИ. Поскольку тактильная связь будет разворачиваться преимущественно на основе сети 6G с ее излучающими поверхностями и огромным количеством близко расположенных базовых станций [35], то можно предположить, что на некоторых территориях внедрение ТИ будет тормозиться негативным отношением местного населения к 6G. Известны случаи так называемой радиофобии 5G, когда недовольство городского населения было вызвано корреляцией между пространственным распределением случаев COVID-19 и плотностью вышек 5G [44, 45]. Только в Великобритании это привело к сожжению по меньшей мере 77 вышек мобильной связи [46]. Здесь «теория заговора» основывалась на неправильном географическом анализе [46], но это не исключает возможные риски для будущих сетей 6G. Дополнительные социальные риски могут возникнуть при рассуждениях о правах человека и демократии, нарушаемых «китайскими технологиями 5G» [47]. Так или иначе, но предстоит учитывать мнение местного населения в сочетании с другими факторами (стоимость услуг, необходимые навыки и т. д.) и отвечать на первоочередные исследовательские вопросы:

- каков полный перечень факторов, подлежащих учету при комплексной географической оценке ТИ-адаптационных возможностей территории;
- как построить интегральный показатель предрасположенности территории к внедрению тактильной связи и подтвердить его обоснованность;
- если существуют территории, не способные в анализируемый момент времени адаптировать новую технологию, что надо сделать, чтобы в будущем на этих территориях эффективно работала тактильная связь.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Географический анализ будущей тактильной коммуникации позволил идентифицировать пять новых научных направлений — дистанционно-задерживаемое, пространственно-доменное, регионально-потокное, погранично-вычислительное и территориально-адаптационное. Каждое из них связано с определенным предметом исследования (задержка в передаче данных, главные и ведомые домены, потоки данных в сетевом домене, распределенные вычисления и условия внедрения тактильной связи), а объединяет их единый объект исследования — тактильная связь. Эти направления по состоянию на 1 декабря 2023 г. никак не выделялись и не анализировались (отсутствуют соответствующие публикации), что позволяет называть их «новыми». По мере тестирования ТИ на сетях 5G (вторая половина 2020-х гг.) целесообразно до начала развертывания 6G провести обобщение первых эмпирических географических исследований тактильной связи. Возможно, возникнет необходимость в формировании шестого и последующих направлений.

Дальнейшее географическое изучение тактильной коммуникации связано с развитием предложенных направлений, включая получение ответов на первоочередные вопросы. Также надо учитывать, что технологии постоянно совершенствуются и при развертывании ТИ может появиться новый объект исследования — Интернет навыков [48, 49]. В качестве потенциальных сфер применения результатов географических исследований можно отметить разработку «Национальной стратегии развития тактильного Интернета в Российской Федерации», обновление стратегии пространственного развития Российской Федерации, определение национальных целей развития России после 2030 г., формирование российской политики развития информационно-коммуникационных технологий, создание региональных стратегий ликвидации цифрового неравенства и выбор маршрутов прокладки новых оптоволоконных линий связи между отечественными населенными пунктами.

Работа выполнена в рамках государственного задания (AAAA-A21-121012190018-2).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Islam M.Z., Ali R., Haider A., Kim H.S. QoS provisioning: Key drivers and enablers toward the Tactile Internet in beyond 5G era // IEEE Access. — 2022. — Vol. 10. — P. 85720–85754.
2. Fettweis G.P. The tactile internet: Applications and challenges // IEEE Vehicular Technology Magazine. — 2014. — Vol. 9, N 1. — P. 64–70.
3. The Tactile Internet: ITU-T Technology Watch Report, August 2014. — Geneva: ITU, 2014. — 18 p.
4. Tranos E. The Geography of the Internet: Cities, Regions and the Internet Infrastructure in Europe. — Berlin: Edward Elgar Publ., 2013. — 252 p.
5. Блануца В.И. Информационно-сетевая география. — М.: ИНФРА-М, 2019. — 243 с.
6. Блануца В.И. Общественно-географическое изучение Интернета вещей: приоритетные направления // Вестн. Забайкал. ун-та. — 2023. — Т. 29, № 3. — С. 91–99.
7. Classen C. The Deepest Sense: A Cultural History of Touch. — Urbana; Chicago; Springfield: University of Illinois Press, 2012. — 227 p.
8. Andrejevic M., Burdon M. Defining the sensor society // Television & New Media. — 2015. — Vol. 16, N 1. — P. 19–36.
9. Parisi D. Archeologies of Touch. Interfacing with Haptics from Electricity to Computing. — Minneapolis; London: University of Minnesota Press, 2018. — 472 p.
10. Paterson M. Haptic geographies: Ethnography, haptic knowledge and sensuous dispositions // Progress in Human Geography. — 2009. — Vol. 33, N 6. — P. 766–788.
11. Dixon D.P., Straughan E. Geographies of touch/touched by geography // Geography Compass. — 2010. — Vol. 4, N 5. — P. 449–459.
12. Miller M.J., Andersen P.A., Rogers D.L., Kurtin K.S. Exploring the influence of geographic region and cultural indulgence on tactile behaviors // International Journ. of Psychological Studies. — 2022. — Vol. 14, N 1. — P. 37.
13. Cole H. Tactile cartography in the digital age: A review and research agenda // Progress in Human Geography. — 2021. — Vol. 45, N 4. — P. 834–854.
14. Griffin A.L. Feeling it out: The use of haptic visualization for exploratory geographic analysis // Cartographic Perspectives. — 2001. — N 39. — P. 12–29.
15. Rossetto T. The skin of the map: Viewing cartography through tactile empathy // Environment and Planning D: Society and Space. — 2019. — Vol. 37, N 1. — P. 83–103.
16. Ladewig R., Schmidgen H. Symmetries of touch: Reconsidering tactility in the age of ubiquitous computing // Body and Society. — 2022. — Vol. 28, N 1–2. — P. 3–23.
17. Блануца В.И. Общественная география: цифровые приоритеты XXI века. — М.: ИНФРА-М, 2022. — 252 с.
18. Кучерявый А.Е., Маколкина М.А., Киричек Р.В. Тактильный интернет. Сети связи со сверхмалыми задержками // Электросвязь. — 2016. — № 1. — С. 44–46.
19. Ястребова А.А., Выборнова А.И., Киричек Р.В. Обзор концепции тактильного интернета и технологий для его реализации // Информационные технологии и телекоммуникации. — 2016. — Т. 4, № 4. — С. 89–96.
20. Кузнецов К.А., Мутханна Ф.С.Ф., Кучерявый А.Е. Тактильный интернет и его приложения // Информационные технологии и телекоммуникации. — 2019. — Т. 7, № 2. — С. 12–20.
21. Aijaz A., Sooriyabandara M. The tactile internet for industries: A review // Proceedings of the IEEE. — 2019. — Vol. 107, N 2. — P. 414–435.
22. Yu H., Afzal M.K., Zikria Y.B., Rachedi A., Fitzek F.H.P. Tactile Internet: Technologies, test platforms, trials, and applications // Future Generation Computer Systems. — 2020. — Vol. 106. — P. 685–688.
23. Fitzek F.H.P., Li S.-C., Speidel S., Strufe T., Simsek M., Reisslein M. Tactile Internet with Human-in-the-Loop. — London; San Diego; Cambridge; Oxford: Academic Press, 2021. — 508 p.
24. Vaquero-Melchor D., Bernardos A.M. Enhancing interaction with augmented reality through mid-air haptic feedback: Architecture design and user feedback // Applied Sciences. — 2019. — Vol. 9, N 23. — P. 5123.

25. Simsek M., Aijaz A., Dohler M., Sachs J., Fettweis G. 5G-enabled Tactile Internet // IEEE Journ. on Selected Areas in Communications. — 2016. — Vol. 34, N 3. — P. 460–473.
26. Sharma S.K., Woungang I., Anpalagan A., Chatzinotas S. Toward Tactile Internet in beyond 5G era: Recent advances, current issues, and future directions // IEEE Access. — 2020. — Vol. 8. — P. 56948–56991.
27. Hou Z., She C., Li Y., Niyato D., Dohler M., Vucetic B. Intelligent communications for tactile internet in 6G: Requirements technologies and challenges // IEEE Communications Magazine. — 2021. — Vol. 59, N 12. — P. 82–88.
28. Yahiya T.I., Kirci P. Issues and challenges facing low latency in Tactile Internet // UKH Journ. of Science and Engineering. — 2019. — Vol. 3, N 1. — P. 47–58.
29. Le D.T., Nguyen T.G., Tran T.T.T. The 1-millisecond challenge — Tactile Internet: From concept to standardization // Journ. of Telecommunications and the Digital Economy. — 2020. — Vol. 8, N 2. — P. 56–93.
30. Aggarwal S., Kumar N. Fog computing for 5G-enabled Tactile Internet: Research issues, challenges, and future research directions // Mobile Networks and Applications. — 2023. — Vol. 28. — P. 690–717.
31. Cheng Y. Edge caching and computing in 5G for mobile augmented reality and haptic internet // Computer Communications. — 2020. — Vol. 158. — P. 24–31.
32. Blom T., Nilsson M. Tactile tourism: Tourist attractions touch // Tourism. — 2023. — Vol. 71, N 3. — P. 553–567.
33. Bostrom N. Superintelligence: Paths, Dangers, Strategies. — Oxford: Oxford University Press, 2014. — 328 p.
34. Janbi N., Katib I., Mehmood R. Distributed artificial intelligence: Taxonomy, review, framework, and reference architecture // Intelligent Systems with Applications. — 2023. — Vol. 18. — P. 200231.
35. Lu Y., Zheng X. 6G: A survey on technologies, scenarios, challenges, and the related issues // Journ. of Industrial Information Integration. — 2020. — Vol. 19. — P. 100158.
36. Численность населения Российской Федерации по муниципальным образованиям на 1 января 2024 года // Федеральная служба государственной статистики, 2024 [Электронный ресурс]. — <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13282> (дата обращения 22.12.2024).
37. Магистральные сети связи в России // ComNews. VISION нестандартная аналитика, 2024 [Электронный ресурс]. — <https://www.comnews.ru/-content/236040/2024-11-29/2024-w48/1180/magistralnye-seti-svyazi-rossii-2024> (дата обращения 22.12.2024).
38. Grubestic T.H. The spatial distribution of broadband providers in the United States: 1999–2004 // Telecommunications Policy. — 2008. — Vol. 32, N 3–4. — P. 212–233.
39. Wada T. A review of geographical studies on the internet from the viewpoint of local communication // Japanese Journ. of Human Geography. — 2008. — Vol. 60, N 5. — P. 43–62.
40. Yacobi-Keller U., Savin E., Fabian B., Ermakova T. Towards geographical analysis of the autonomous system network // Intern. Journ. of Networking and Virtual Organisations. — 2019. — Vol. 21, N 3. — P. 379–397.
41. Krings G., Calabrese F., Ratti C., Blondel V.D. Urban gravity: A model for inter-city telecommunication flows // Journ. of Statistical Mechanics: Theory and Experiment. — 2009. — Vol. 7. — P. 1–8.
42. Reades J., Smith D.A. Mapping the “space of flows”: The geography of global business telecommunications and employment specialization in the London mega-city-region // Regional Studies. — 2014. — Vol. 48, N 1. — P. 105–126.
43. Lima D., Miranda H. A geographical-aware state deployment service for Fog Computing // Computer Networks. — 2022. — Vol. 216. — P. 109208.
44. Ahmed W., Vidal-Alaball J., Segun F.L., Moreno-Sanchez P.A. COVID-19 and the 5G conspiracy theory: Social network analysis of twitter data // Intern. Journ. of Environmental Research and Public Health. — 2020. — Vol. 17, N 21. — P. 1–9.
45. Jolley D., Paterson J. Pylons ablaze: Examining the role of 5G COVID-19 conspiracy beliefs and support for violence // British Journ. of Social Psychology. — 2020. — Vol. 59, N 3. — P. 628–640.
46. Flaherty E., Sturm T., Farries E. The conspiracy of Covid-19 and 5G: Spatial analysis fallacies in the age of data democratization // Social Science & Medicine. — 2022. — Vol. 293. — P. 114546.
47. Ahmed R., Sutterlin E., Whelan M. 5G and the Future Internet: Implications for Developing Democracies and Human Rights. — Washington: National Democratic Institute, 2021. — 18 p.
48. Кучерявый А.Е., Кучерявый Е.А., Киричек Р.В., Бородин А.С., Маколкина М.А., Выборнова А.И., Фам В.Д., Ястребова А.А. Интернет навыков // Электросвязь. — 2018. — № 1. — С. 29–32.
49. Oppici L., Boble T., Luneburg L.-M., Nocke A., Schwendicke A., Winger H., Krzywinski J., Cherif C., Strufe T., Narciss S. Internet of Skills // Fitzek F.H.P., Li S.-C., Speidel S., Strufe T., Simsek M., Reisslein M. (Eds.)/ Tactile Internet with Human-in-the-Loop. — London; San Diego; Cambridge; Oxford: Academic Press, 2021. — P. 75–99.

Поступила в редакцию 25.12.2023

После доработки 25.03.2025

Принята к публикации 21.05.2025