

Географическое изучение телекоммуникационных сетей в XXI веке:
современные и будущие подходы

В. И. Блануца✉

Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, Российская Федерация
(664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1)

Аннотация. Цель – выявить существующие подходы и наметить контуры будущих подходов к географическому изучению телекоммуникационных сетей.

Материалы и методы. Информационной базой служат одна отечественная и семь международных библиографических баз данных. Методы: сравнительный анализ и авторский алгоритм семантического поиска на основе машинного обучения.

Результаты и обсуждение. Выявлено 164 статьи. По видам телекоммуникационных сетей предпочтение отдавалось изучению оптоволоконных сетей и значительно меньше внимания уделялось сотовым, почтовым, стационарным телефонным, спутниковым и телеграфным сетям. Анализ публикаций позволил определить десять существующих подходов: сравнительно-географический, потоковый, маршрутно-географический, пространственно-диффузионный, районный, геополитический, геолокационный, географически-блокирующий, конструктивно-географический и географически-задерживающий. На основе перспектив развития географии и сетей электросвязи сделано предположение о возможности появления в будущем трех новых подходов – экономико-географического, географически-сетеконвергентного и искусственно-геоинтеллектуального.

Заключение. Не исключено, что в дальнейшем произойдет консолидация всех подходов в единую методологию, направленную на географическое обоснование развертывания сетей 7G.

Ключевые слова: социально-экономическая география, почтовая сеть, телефонная сеть, сеть беспроводной связи, оптоволоконная сеть, Интернет, автономная система, маршрутизация, районирование.

Источник финансирования: Исследование выполнено за счет средств государственного задания (№ регистрации темы АААА-А21-121012190018-2).

Для цитирования: Блануца В. И. Географическое изучение телекоммуникационных сетей в XXI веке: современные и будущие подходы // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2023, № 2, с. 30-39. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2023/2/30-39>

ВВЕДЕНИЕ

Объектом нашего исследования является мировой опыт географического изучения телекоммуникационных сетей. Первые сети связи были почтовыми, а дальнейшее развитие связи привело к созданию телеграфных, телефонных, радиоволновых и компьютерных сетей. В связи с инфраструктурными различиями последних двух линейно-узловых структур, при географическом анализе будем учитывать почтовые, телеграфные, телефонные (стационарные), радиорелейные, спутнико-

вые, сотовые (мобильные) и оптоволоконные сети. При этом следует отличать сети в реальном географическом пространстве, рассматриваемые далее, от социальных, политических и других сетей в виртуальном пространстве, анализ которых выходит за рамки нашего исследования.

Цель работы – выявить существующие подходы и наметить контуры будущих подходов к географическому изучению телекоммуникационных сетей. Ранее изучение территориально распределенных телекоммуникационных сетей проводи-



лось в рамках географии связи [23], географии Интернета [46], кибергеографии [13] и информационно-сетевой географии [2]. Однако в них не осуществлялся анализ массива отечественных и зарубежных публикаций 2001-2020 годов по всем видам рассматриваемых сетей и, соответственно, не идентифицировались сквозные подходы. Основные задачи: выявить мировой массив журнальных статей по рассматриваемой проблематике; на основе сравнительного анализа выявленных публикаций определить существующие подходы; наметить контуры будущих подходов.

В географических исследованиях анализируются территориально распределенные элементы сети (узлы и линии связи) и их пространственно-временное функционирование (трафик, коммутация, маршрутизация, фильтрация и блокирование). Сети могут быть локальными (местными), региональными, национальными и глобальными. По международной терминологии независимая сеть одного оператора называется «автономной системой» (Autonomous System, AS). Узлы, к которым сходится много линий связи, являются концентраторами или хабами. Среди них особое место занимает «точка обмена трафиком» (Internet eXchange Point, IXP) как площадка для соединения и взаимодействия различных автономных систем.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Информационная база. Из всех видов научных публикаций для анализа выбраны журнальные статьи, так как в настоящее время именно в них размещаются подробные результаты исследований, и их тексты доступны через библиографические базы данных (в отличие, например, от монографий и сборников статей, не все тексты которых представлены в базах). Поиск публикаций по рассматриваемой проблематике выполнялся в одной российской (www.elibrary.ru) и семи международных (www.link.springer.com, www.onlinelibrary.wiley.com, www.sciencedirect.com, www.login.webof-knowledge.com, www.scopus.com, www.journals.sagepub.com, www.ideas.repec.org) базах данных.

Методы. Формирование массива статей (первая задача) осуществлялось с помощью авторского алгоритма семантического поиска публикаций в библиографической базе данных, опирающегося на машинное обучение [3]. Лимитирующим фактором этого алгоритма является отбор публикаций только на кириллице и латинице. Поэтому научные статьи с использованием другого алфавита (например, китайского или арабского) остались вне нашего анализа. Другим сдерживающим

фактором стало использование только восьми баз данных, которые охватывают большинство, но не все статьи в мире. При решении оставшихся задач использовался сравнительный метод.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Решение первой задачи позволило выявить 164 статьи, неравномерно (по годам) опубликованные в первое двадцатилетие XXI века не только в географических журналах (рис. 1). Статьи опубликованы в 93 журналах, из которых 24 являются географическими изданиями. Больше всего публикаций представлено в «Telecommunications Policy» (12 статей). Что касается стран, к которым относились авторы выявленных публикаций, то доминировали США и России (половина всех публикаций) на фоне 31 страны (удельный вес стран с тремя и более статьями приведен на рис. 2).

Из семи видов телекоммуникационных сетей в текущем столетии вне географического анализа оказались только радиорелейные линейно-узловые структуры, а наибольшее внимание уделялось оптоволоконным сетям (99 статей). В каждой проанализированной статье формулировался авторский подход к географическому изучению телекоммуникационных сетей. Если выделить нечто общее между публикациями и отобрать такую общность для всех видов сетей, то можно идентифицировать сквозные подходы. Выявлено десять подходов, которые ранжированы по количеству статей.

Сравнительно-географический подход (81 статья) нацелен на определение параметров телекоммуникационных сетей, их узлов и линий связи в пределах некоторых территорий (стран, регионов, городов, ареалов) с последующим сравнением этих территорий для выявления пространственно-временных закономерностей изменения параметров. Так, например, одним из параметров стационарных телефонных линий является «телеплотность» (TeleDensity; отношение общей длины линий к численности населения), которая анализировалась по странам Африки [27] и крупным штатам Индии [5]. Анализ хронологических особенностей концентрации узлов связи привел к оценке пространственно-временной неоднородности размещения, к примеру, почтовых учреждений в немецких государствах XIX века [42], автономных систем в африканских странах [14] и дата-центров в Великобритании [21].

Географические сравнения проводились между оптоволоконными сетями и почтовыми, телеграфными, телефонными [1, 2], железнодорожными [8] и авиационными сетями [45]. В качестве основных недостатков подхода, которые можно

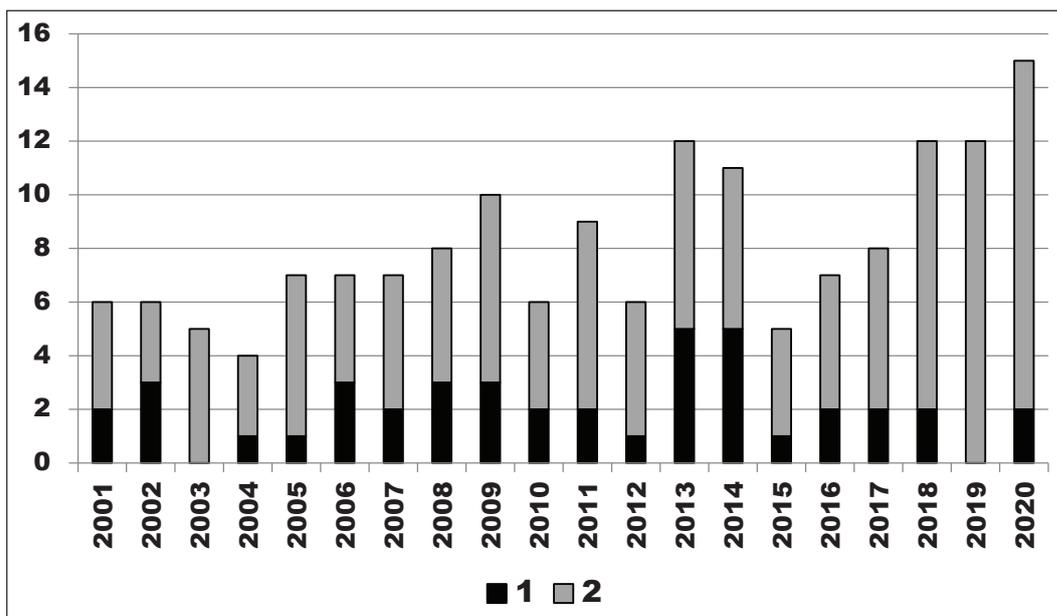


Рис. 1. Изменение ежегодного количества статей по географическому изучению телекоммуникационных сетей, опубликованных в географических (1) и других (2) научных журналах во всем мире в 2001-2020 годах (составлено автором)
 [Fig. 1. Change in the annual number of articles on the geographical study of telecommunications networks published in geographical (1) and other (2) scientific journals worldwide in 2001–2020 (compiled by the author)]

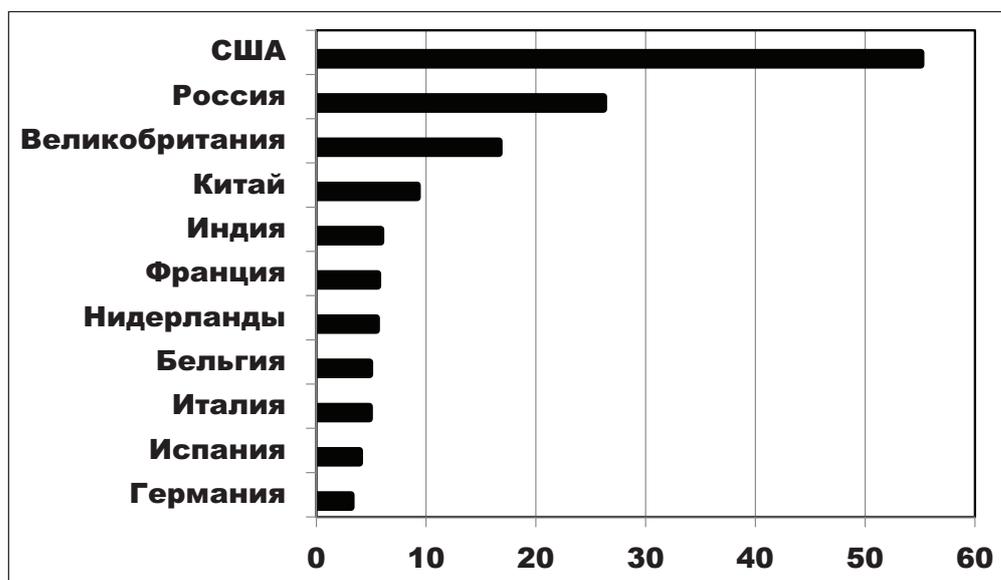


Рис. 2. Ранжирование стран по количеству журнальных статей (не менее трех в 2001-2020 годах), посвященных географическому изучению телекоммуникационных сетей (составлено автором)
 Fig. 2. Ranking of countries by the number of journal articles (at least three in 2001-2020) devoted to the geographical study of telecommunication networks (compiled by the author)

трактовать как направления дальнейших исследований, целесообразно отметить три проблемы: отсутствие интегрального общественно-географического показателя (параметра) степени развития сети, хотя попытки создания частных показателей предпринимались в рамках сетевого подхода [2], поиска объясняющих географических и социаль-

но-экономических факторов [46] и составления индекса телекоммуникаций [10]; неопределенность с географическим обоснованием элементарной (наименьшей) ячейки для сравнительного анализа, что нашло отражение в разбросе мнений от квадрата со стороной 1 км [26] до размера государства [47]; дефицит географических параме-

тров хронологической структуры формирующихся сетей, поскольку такие параметры начали разрабатываться только для почтовых сетей [1].

Потоковый подход (23 статей). В отличие от предыдущего подхода, связанного с анализом размещения элементов сети, данное направление нацелено на познание функционирования этих элементов. Процесс взаимодействия узлов через линии связи в большинстве случаев характеризуется трафиком, под которым понимается количество информации (в битах или условных единицах), проходящее в единицу времени по каналу (линии, совокупности близко расположенных линий связи) между двумя географическими объектами (населенными пунктами, регионами, странами). Проблема в том, что измерить такой трафик и, соответственно, оценить информационные потоки между всеми территориально распределенными социально-экономическими образованиями весьма сложно по причине множества операторов, протоколов, транзитных операций, взаимодействующих стационарных и мобильных устройств. Интересные результаты получены при оценке пространственно-временного распределения трафика в сотовой связи, что позволило выделить «мобильные ландшафты» [28], провести обоснование гравитационного взаимодействия [15], определить территориальную концентрацию источников трафика во время важных событий [38] и картографировать «пространство потоков» [37]. Дальнейшие исследования могут быть направлены на решение проблем интеграции фиксированного и мобильного трафика для выявления поля интенсивного взаимодействия географических объектов, идентификации географической иерархии информационных потоков и кластеризации межрегиональных потоков.

Маршрутно-географический подход (12 статей). Во всех видах телекоммуникационных сетей существует проблема выбора оптимального маршрута доставки информации от отправителя к получателю. В современной связи происходит коммутация пакетов и их маршрутизация до автономной системы получателя. Однако количество узлов и путей доставки пакетов настолько велико, что современная техника не способна оперативно обновлять таблицы маршрутизации. Поэтому разрабатываются различные протоколы маршрутизации, позволяющие значительно упростить и удешевить доставку пакетов. Одна из таких групп протоколов называется географической маршрутизацией или маршрутизацией на основе местоположения [22]. Из всех публикаций по проблематике маршрутизации для анализа были отобраны только статьи с географиче-

скими примерами реализации предлагаемых алгоритмов. Среди них целесообразно отметить исследования по географически маршрутизируемой центральности стран [49], плотности географического расположения сквозных путей [32]) и измерению географического разнообразия интернет-маршрутов [9]. Дальнейшие исследования могут быть связаны с решением проблем географической маршрутизации (выбор только следующего географически близкого узла может приводить к образованию петель и заводить в тупик) при разработке алгоритмов построения географически обоснованных цепочек транзитных узлов до автономной системы получателя.

Пространственно-диффузионный подход (10 статей). Хронологическая последовательность распространения социально-экономических нововведений по ячейкам территории – популярная тема географических исследований, начиная с работ Т. Хегерстранда [18]. При изучении телекоммуникационных сетей основное внимание уделялось выявлению географических закономерностей процесса распространения узлов и линий связи, которые специфичны для контактной, каскадной (иерархической) и сетевой пространственной диффузии [1]. Большинство проанализированных публикаций связано с особенностями проникновения досоветских почтовых сетей на новые территории [1], а остальные работы нацелены на понимание первоначального формирования стационарных [6] и мобильных [12] телефонных сетей. Отсюда видно, что становление оптоволоконных сетей оказалось вне данного подхода. Хронологическая и хронологическая детализация подобных исследований могла бы способствовать пониманию пространственно-диффузионных процессов, но это еще не произошло.

Районный подход (10 статей). В отечественной районной школе экономической географии данный подход является основным и нацелен на выявление системы целостных и специфических территориальных образований, называемых районами. При изучении телекоммуникационных сетей подход применялся, к примеру, для выделения «региональных плотных ядер» [4] и районов [44] среди взаимодействующих автономных систем, идентификации почтово-сетевых районов [1]), разбиения телефонных сетей на сообщества [11] и районы «человеческих взаимодействий» [39]. К проблемам подхода можно отнести отсутствие теории информационно- сетевого районообразования, единой (сквозной для всех видов сетей) методики выявления районов, обоснованных схем интерпретации полученных результатов, а также

сложности трансформации методологии районирования для перехода на обработку «больших данных» в режиме реального времени.

Геополитический подход (8 статей). Политику одной страны (группы стран) по установлению контроля над системой связи другой страны (стран) можно назвать телекоммуникационной геополитикой. Она может проявляться, например, в отключении от глобальной сети связи, перенаправлении информационных потоков на собственные IXP и AS, негативном воздействии на ключевые узлы связи, поглощении местных операторов связи или введении против них санкций. Типичным примером такого подхода является исследование французских географов по «кибергеополитике» [40], в котором определяются оптимальные географические точки разрыва линий связи для отключения Ирана и Сирии от глобальной сети. Для исключения таких случаев проводятся исследования, к примеру, по «географии живучести сети» [17], надежности сети при географически коррелированных отказах [29] и выявлению ненадежных узлов-концентраторов [30]. Как и в предыдущих подходах, здесь нет единой методологии и достаточной апробации на разных видах телекоммуникационных сетей.

Геолокационный подход (7 статей). Определение географического местоположения IP-адресов конечных пользователей («хостов» локальной сети) и иных узлов (маршрутизаторов, концентраторов и др.) в ряде случаев (например, при динамическом адресе, когда его одновременно используют несколько пользователей) является сложной задачей. Тогда геолокация проводится с помощью трех методов [33] – идентификации ориентиров (близлежащих узлов с известным местоположением), измерения величины задержки сигнала и сопоставления местоположения хоста с префиксом BGP (Border Gateway Protocol – протокол граничного шлюза между автономными системами). Кроме технических алгоритмов геолокации существуют и географические методы, к которым можно отнести, например, установление взаимосвязи между местоположением маршрутизатора и плотностью населения [31], определение демографического положения узла в качестве ориентира [19] и географическое распределение локальной задержки [20]. Первые попытки географического осмысления проблематики геолокации нуждаются в распространении на все виды сетей и теоретическом обосновании применения комплексной географической информации (к примеру, о социально-экономическом районировании, гравитационном

взаимодействии или экономико-географическом положении узлов).

Географически-блокирующий подход (5 статей). Среди методов борьбы с обычными и распределенными хакерскими атаками типа «отказ в обслуживании» (генерация настолько большого потока информации на атакуемый сервер, чтобы он перестал откликаться на запросы пользователей) существуют способы обнаружения и блокирования географического ареала источников атаки. Проблема в том, что не всегда можно установить местоположение IP-адресов атакующих и приходится блокировать поступление пакетов с больших территорий. Чтобы не перекрывать весь легальный поток с этих территорий, разрабатываются алгоритмы «географического отслеживания» (geographical traceback) атакующего. Среди немногочисленных работ можно отметить, например, «алгоритм выборки отношения направлений» [36], «отслеживание географического деления» [48] и «поиск злоумышленников на основе идентификации информации по географическому ландшафту» [34]. Будущие исследования целесообразно направить на обоснование применения комплексной географической информации (см. предыдущий подход).

Конструктивно-географический подход (4 статьи). Цель подобных исследований – получение географического доказательства необходимости создания тех или иных элементов сети в конкретных местах. В качестве примера можно привести географическое решение проблемы размещения концентраторов (хабов) в телекоммуникационной сети США [24] и трассировку новых оптоволоконных линий связи на основе географического анализа связности городов России [2]. В перспективе целесообразно сосредоточить усилия на формулировке и количественном решении задач географической оптимизации сети.

Географически-задерживающий подход (4 статьи). Если сеть представить не в виде узлов и линий, а по величине задержки сигнала между каждой парой узлов, что является ключевым параметром сетей пятого поколения (5G), то можно идентифицировать территориальные скопления узлов или цифровые агломерации [2]. Географический анализ распределения задержки по территории необходим также для определения зон функционирования «Тактильного Интернета» и контроля над автономными системами искусственного интеллекта [2]. Новым примером может служить оценка телекоммуникационных последствий пандемии COVID-19 для Италии, в которой зафиксировано увеличение в 3–4 раза

стандартного отклонения средней дополнительной задержки в период пандемии, по сравнению с другими европейскими странами [7]. Перспективы подхода связаны с переходом от эмпирических исследований к разработке теории сетевой геозадержки.

Предвидеть подходы, которые появятся в будущем, весьма сложно по ряду причин, в том числе из-за стремительного развития информационно-коммуникационных технологий и неопределенности относительно новой парадигмы экономического роста. Тем не менее, можно наметить контуры возможных подходов на ближайшее десятилетие, опираясь на тренды развития общественной географии и телекоммуникационных сетей 6G [43]. Отметим только три подхода, которые, по мнению автора, наиболее перспективны.

Экономико-географический подход. Развитие телекоммуникационной сети на определенной территории (ареал, город, регион, страна) приводит к экономическому росту этой территории. Проблема в том, что количественно измерить рост, обусловленный только функционированием инфраструктуры, весьма сложно. Однако взаимосвязь между сетями и территориальным развитием существует [35], а имеющиеся попытки ее измерения подразумевают широкое понимание сетей как телекоммуникационных технологий [16]. Реализация подхода позволит понять географические особенности телекоммуникационной сети, приводящие к экономическому росту одних, деградации других и неизменности третьих территорий.

Географически-сетеконвергентный подход. Постепенное объединение разных видов телекоммуникационных сетей имеет географические проблемы, среди которых выделяется состыковка географической маршрутизации низкоорбитальных спутниковых и наземных линейно-узловых структур. Одиноспособоврешенияданнойпроблемысвязан с делением земной поверхности на области [41], но географическое обоснование выделения таких областей в настоящее время отсутствует. К другим проблемам относится конвергенция оптоволоконных и стационарных телефонных сетей, а объединение всех видов электросвязи с почтовой связью в настоящее время представляется очень сложным. Тем не менее, уже тестируются почтовые дроны, и ставится задача выбора оптимального местоположения операционных центров городской беспилотной авиапочты [25].

Искусственно-геоинтеллектуальный подход. Стремительное развитие систем искусственного интеллекта затронуло многие сферы человеческой

деятельности, включая экономико-географические [2] и региональные экономические [3] исследования. Это может быть основой для географических исследований по развертыванию будущих сетей 6G, которые станут искусственно-интеллектуальными [43]. Дальнейшая интеграция технических и географических исследований может привести к тому, что наиболее востребованные сетевые решения после 2030 года будут связаны с разработкой географически-интеллектуальных динамически-конфигурируемых сверхплотных сетей нового поколения (7G).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ статей за последний двадцатилетний период позволил выявить десять подходов, а прогнозистические оценки развития телекоммуникационных сетей указали на возможность появления в будущем трех новых подходов. Все современные подходы находятся в стадии формирования, что со временем может привести к их дивергенции или конвергенции. Не исключено, что сравнительно-географический подход, объединяющий наибольшее количество публикаций, распадется на несколько частных подходов. Однако более вероятно конвергенция всех подходов в единую методологию географического изучения телекоммуникационных сетей. Основанием для этого могут служить две тенденции – конвергенция разных видов сетей и консолидация исследований с целью формирования новой научной дисциплины. Относительно причин консолидации можно отметить, что, например, геолокация и геомаршрутизация позволяют выявить участки информационных потоков или задержки сигнала, существенные для формирования сетевых районов и геоблокировки источников атаки. В свою очередь, на основе специфики системы районов можно выстраивать геополитические действия, проводить обоснование необходимости создания новых элементов сети и осуществлять сравнительно-географический анализ. Ключевое положение районного подхода в будущем может быть дополнено экономико-географической и сетеконвергентной оценкой районов с переходом к построению географически-интеллектуальных сетей 7G.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блануца В.И. *Развертывание информационно-коммуникационной сети как географический процесс (на примере становления сетевой структуры сибирской почты)*. Москва: ИНФРА-М, 2016. 246 с.
2. Блануца В.И. *Информационно-сетевая география*. Москва: ИНФРА-М, 2019. 243 с.
3. Блануца В.И. Региональные экономические исследования с использованием алгоритмов искусствен-

ного интеллекта: состояние и перспективы // *Вестник Забайкальского государственного университета*, 2020, т. 26, № 8, с. 100-111.

4. Bar S., Gonen M., Wool A. A geographic directed preferential internet topology model // *Computer Network*, 2007, vol. 51, no. 14, pp. 4174-4188.

5. Barman H., Dutta M.K., Nath H.K. The telecommunications divide among Indian states // *Telecommunications Policy*, 2018, vol. 42, no. 7, pp. 530-551.

6. Calvo A. The shaping of urban telephone networks in Europe, 1877-1926 // *Urban History*, 2006, vol. 33, no. 3, pp. 411-434.

7. Candela M., Luconi V., Vecchio A. Impact of the COVID-19 pandemic on the Internet latency: A large-scale study // *Computer Networks*, 2020, vol. 182, no. 11, e107495.

8. Chong P.P., DeVries P.D., Van den Hoek A. The information superhighway: The golden spike of the 21st century // *International Journal of Innovation and Learning*, 2005, vol. 2, no. 3, pp. 223-232.

9. Csoma A., Gulyas A., Toka L. On measuring the geographic diversity of Internet routes // *IEEE Communications Magazine*, 2017, vol. 55, no. 5, pp. 192-197.

10. David O.O. Nexus between telecommunication infrastructures, economic growth and development in Africa: Panel vector autoregression (PVAR) analysis // *Telecommunications Policy*, 2019, vol. 43, no. 8, pp. 1-17.

11. Delineating geographical regions with networks of human interactions in an extensive set of countries / S. Sobolevsky, M. Szell, R. Campari et al. // *PLoS ONE*, 2013, vol. 8, no. 12, e81707.

12. Ding L., Haynes K.E., Li H. Modeling the spatial diffusion of mobile telecommunications in China // *Professional Geographer*, 2010, vol. 62, no. 2, pp. 248-263.

13. Dodge M., Kitchin R. *Mapping Cyberspace*. London: Routledge, 2001. 260 p.

14. Four years tracking unrevealed topological changes in the African interdomain / R. Fanou, P. Francois, E. Aben et al. // *Computer Communications*, 2017, vol. 106, pp. 117-135.

15. Geographical dispersal of mobile communication networks / R. Lambiotte, V.D. Blondel, de Kerchove C. et al. // *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 2008, vol. 387, no. 21, pp. 5317-5325.

16. Gómez-Barroso J.L., Marbán-Flores R. Telecommunications and economic development – The 21st century: Making the evidence stronger // *Telecommunication Policy*, 2020, vol. 44, no. 2, e101905.

17. Grubestic T.H., Murray A.T. Vital nodes, interconnected infrastructures, and the geographies of network survivability // *Annals of the Association of American Geographers*, 2006, vol. 96, no. 1, pp. 64-83.

18. Hagerstrand T. *Innovation Diffusion as a Spatial Process*. Chicago: The University of Chicago Press, 1967. 350 p.

19. Improving the accuracy of measurement-based geographic location of internet hosts / A. Ziviani, S. Frida, de Rezende J.F., O.C.M.B. Duarte // *Computer Networks*, 2005, vol. 47, no. 4, pp. 503-523.

20. IP geolocation based on identification routers and local delay distribution similarity / F. Zhao, X. Luo, Y. Gan et al. // *Concurrence and Computation: Practice and Experience*, 2019, vol. 31, no. 22, e4722.

21. Jones P., Comfort D., Hillier D. The changing geography of data centers in the UK // *Geography*, 2013, vol. 98, no. 1, pp. 18-23.

22. Kaur H., Singh H., Sharma A. Geographic routing protocol: A review // *International Journal of Grid and Distributed Computing*, 2016, vol. 9, no. 2, pp. 245-254.

23. Kellerman A. *Telecommunications and Geography*. London: Belhaven Press, 1993. 230 p.

24. Kim H., O'Kelly M.E. Reliable p-hub location problems in telecommunication networks // *Geographical Analysis*, 2009, vol. 41, no. 3, pp. 283-306.

25. Kim J., Moon H., Jung H. Drone-based parcel delivery using the rooftops of city buildings: Model and solution // *Applied Sciences*, 2020, vol. 10, no. 12, e4362.

26. Lehtonen O. Population grid-based assessment of the impact of broadband expansion on population development in rural areas // *Telecommunications Policy*, 2020, vol. 44, no. 10, e102028.

27. Mbarika V.W., Byrd T.A. An exploratory study of strategies to improve Africa's least developed economies' telecommunications infrastructure: The stakeholders speak // *IEEE Transactions on Engineering Management*, 2009, vol. 56, no. 2, pp. 312-328.

28. Mobile landscape: Using location data from cell phones for analysis / C. Ratti, R.M. Pulsell, S. Williams, D. Frenchman // *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2006, vol. 33, no. 5, pp. 727-748.

29. Neumayer S., Modiano E. Network reliability under geographically correlated line and disk failure models // *Computer Networks*, 2016, vol. 94, pp. 14-28.

30. O'Kelly M.E., Kim H., Kim C. Internet reliability with realistic peering // *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2006, vol. 33, no. 3, pp. 325-343.

31. On the geographic location of Internet resources / A. Lakhina, J.W. Byers, M. Crovella, I. Matta // *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2003, vol. 21, no. 6, pp. 934-948.

32. On the spatial properties of internet routes / P. Mátray, P. HÁga, S. Laki et al. // *Computer Networks*, 2012, vol. 56, no. 9, pp. 2237-2248.

33. Padmanabhan V.N., Subramanian L. An investigation of geographic mapping techniques for internet hosts // *Computer Communication Review*, 2001, vol. 31, no. 4, pp. 173-185.

34. Periyasamy S., Duraiswamy K. Ddos and dos parallel attack traceback by spatial marking technique // *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 2014, vol. 69, no. 1, pp. 59-67.

35. Puel G., Ullmann C. Nodes and links of the internet: A geographical, economic and technical approach // *Espace Géographique*, 2006, vol. 35, no. 2, pp. 97-114.

36. Rajiv Kannan A., Duraiswamy K., Sangeetha K. Three dimensional multidirectional geographical IP traceback: Direction ratio sampling algorithm // *Journal of Computer Science*, 2009, vol. 5, no. 9, pp. 136-139.

37. 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, no. 1, pp. 105-126.
38. Real-time urban monitoring using cell phones: A case study in Rome / F. Calabrese, M. Colonna, P. Lovisolino et al. // *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2011, vol. 12, no. 1, pp. 141-151.
39. Redrawing the map of Great Britain from a network of human interactions / C. Ratti, S. Sobolevsky, F. Calabrese et al. // *PLoS ONE*, 2010, vol. 5, no. 12, e14248.
40. Robine J., Salamatian K. Envisioning cyber-geography // *Hérodote*, 2014, vol. 152-153, no. 1-2, pp. 123-139.
41. Roth M., Brandt H., Bisch H. Implementation of a geographical routing scheme for low Earth orbiting satellite constellations using intersatellite links // *International Journal of Satellite Communications and Networking*, 2021, vol. 39, no. 1, pp. 92-107.
42. Segal Z. Communication and state construction: The postal service in German States, 1815-1866 // *Journal of Interdisciplinary History*, 2014, vol. 44, no. 4, pp. 453-473.
43. The roadmap to 6G: AI empowered wireless networks / K.B. Letaief, W. Chen, Y. Shi et al. // *IEEE Communication Magazine*, 2019, vol. 57, no. 8, pp. 84-90.
44. Towards geographical analysis of the autonomous system network / U. Yacobi-Keller, E. Savin, B. Fabian, T. Ermakova // *International Journal of Networking and Virtual Organisations*, 2019, vol. 21, no. 3, pp. 379-397.
45. Tranos E. The topology and the emerging urban geographies of the Internet backbone and aviation networks in Europe: A comparative study // *Environment and Planning A: Economy and Space*, 2012, vol. 43, no. 2, pp. 378-392.
46. Tranos E. *The Geography of the Internet: Cities, Regions and the Internet Infrastructure in Europe*. Berlin: Edward Elgar Publ., 2013. 252 p.
47. Tripathi M., Inani S. K. Does information and communications technology affect economic growth? Empirical evidence from SAARC countries // *Information Technology for Development*, 2020, vol. 26, no. 4, pp. 773-787.
48. Viswanathan A., Arunachalam V.P., Karthik S. Geographical division traceback for distributed denial of service // *Journal of Computer Science*, 2012, vol. 8, no. 2, pp. 216-221.
49. Wang J. H., An C. A study on geographic properties of internet routing // *Computer Networks*, 2018, vol. 133, pp. 183-194.

Конфликт интересов: Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию 19.01.2022

Принята к публикации 05.06.2023

ECONOMIC, SOCIAL, POLITICAL AND RECREATIONAL GEOGRAPHY

UDC 911.3

ISSN 1609-0683

DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2023/2/30-39>

Geographical Study of Telecommunication Networks in the 21st Century: Current and Future Approaches

V.I. Blanutsa ✉

*V.B. Sochava Institute of Geography, Siberian Branch of the RAS, Russian Federation
(1, Ulan-Batorskaya St., Irkutsk, 664033)*

Abstract. The purpose is to identify existing approaches and outline the contours of future approaches to the geographical study of telecommunication networks.

Materials and methods. The information base is one domestic and seven international bibliographic databases. The methods are comparative analysis and the author's semantic search algorithm based on machine learning.

Results. One hundred and sixty-four articles were identified. According to the types of telecommunication networks, preference was given to the study of fiber-optic networks and much less attention was paid to cellular, postal, landline telephone, satellite and telegraph networks. The analysis of publications allowed us to identify ten existing approaches: comparative-geographical, streaming, route-geographical, spatial-diffusion, regional,

© Blanutsa V.I., 2023

✉ Viktor I. Blanutsa, e-mail: blanutsa@list.ru



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

geopolitical, geolocation, geographically-blocking, constructively-geographical and geographically-delaying. Based on the prospects for the development of geography and telecommunication networks, an assumption is made about the possibility of the appearance in the future of three new approaches – economic-geographical, geographical-grid-convergent and artificial-geo-intellectual.

Conclusions. It is possible that in the future there will be a consolidation of all approaches into a single methodology aimed at the geographical justification of the deployment of 7G networks.

Key words: socio-economic geography, postal network, telephone network, wireless network, fiber optic network, Internet, autonomous system, routing, zoning.

Funding: 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. Geographical Study of Telecommunication Networks in the 21st Century: Current and Future Approaches. *Vestnik Voronezskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geoekologia*, 2023, no. 2, pp. 30-39. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2023/2/30-39>

REFERENCES

1. Blanutsa V.I. *Razvertyvanie informacionno-komunikacionnoj seti kak geograficheskij process (na primere stanovleniya setevoy struktury sibirskoj pochty)*. [Deployment of an Information and Communication Network as a Geographic Process (On the Example of the Formation of the Siberian Postal Network Structure)]. Moscow: INFRA-M, 2016. 246 p. (In Russ.)
2. Blanutsa V.I. *Informacionno-setevaya geografiya* [Information and Network Geography]. Moscow: INFRA-M, 2019. 243 p. (In Russ.)
3. Blanutsa V.I. Regional'nye ekonomicheskie issledovaniya s ispol'zovaniem algoritmov iskusstvennogo intellekta: sostoyanie i perspektivy [Regional economic studies using artificial intelligence algorithms: State and prospects]. *Vestnik Zabajkal'skogo Gosudarstvennogo Universiteta*, 2020, vol. 26, no. 8, pp. 100-111. (In Russ.)
4. Bar S., Gonen M., Wool A. A geographic directed preferential internet topology model. *Computer Network*, 2007, vol. 51, no. 14, pp. 4174-4188.
5. Barman H., Dutta M.K., Nath H.K. The telecommunication divide among Indian states. *Telecommunications Policy*, 2018, vol. 42, no. 7, pp. 530-551.
6. Calvo A. The shaping of urban telephone networks in Europe, 1877-1926. *Urban History*, 2006, vol. 33, no. 3, pp. 411-434.
7. Candela M., Luconi V., Vecchio A. Impact of the COVID-19 pandemic on the Internet latency: A large-scale study. *Computer Networks*, 2020, vol. 182, no. 11, e107495.
8. Chong P.P., DeVries P.D., Van den Hoek A. The information superhighway: The golden spike of the 21st century. *International Journal of Innovation and Learning*, 2005, vol. 2, no. 3, pp. 223-232.
9. Csoma A., Gulyas A., Toka L. On measuring the geographic diversity of Internet routes. *IEEE Communications Magazine*, 2017, vol. 55, no. 5, pp. 192-197.
10. David O. O. Nexus between telecommunication infrastructures, economic growth and development in Africa: Panel vector autoregression (PVAR) analysis. *Telecommunications Policy*, 2019, vol. 43, no. 8, pp. 1-17.
11. Delineating geographical regions with networks of human interactions in an extensive set of countries / S. Sobolevsky, M. Szell, R. Campari et al. *PLoS ONE*, 2013, vol. 8, no. 12, e81707.
12. Ding L., Haynes K.E., Li H. Modeling the spatial diffusion of mobile telecommunications in China. *Professional Geographer*, 2010, vol. 62, no. 2, pp. 248-263.
13. Dodge M., Kitchin R. *Mapping Cyberspace*. London: Routledge, 2001. 260 p.
14. Four years tracking unrevealed topological changes in the African interdomain / R. Fanou, P. Francois, E. Aben et al. *Computer Communications*, 2017, vol. 106, pp. 117-135.
15. Geographical dispersal of mobile communication networks / R. Lambiotte, V.D. Blondel, de Kerchove C. et al. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 2008, vol. 387, no. 21, pp. 5317-5325.
16. Gómez-Barroso J.L., Marbán-Flores R. Telecommunications and economic development – The 21st century: Making the evidence stronger. *Telecommunication Policy*, 2020, vol. 44, no. 2, e101905.
17. Grubestic T.H., Murray A.T. Vital nodes, interconnected infrastructures, and the geographies of network survivability. *Annals of the Association of American Geographers*, 2006, vol. 96, no. 1, pp. 64-83.
18. Hagerstrand T. *Innovation Diffusion as a Spatial Process*. Chicago: The University of Chicago Press, 1967. 350 p.
19. Improving the accuracy of measurement-based geographic location of internet hosts / A. Ziviani, S. Frida, de Rezende J.F., O.C.M.B. Duarte. *Computer Networks*, 2005, vol. 47, no. 4, pp. 503-523.
20. IP geolocation based on identification routers and local delay distribution similarity / F. Zhao, X. Luo, Y. Gan et al. *Concurrence and Computation: Practice and Experience*, 2019, vol. 31, no. 22, e4722.
21. Jones P., Comfort D., Hillier D. The changing geography of data centers in the UK. *Geography*, 2013, vol. 98, no. 1, pp. 18-23.
22. Kaur H., Singh H., Sharma A. Geographic routing protocol: A review. *International Journal of Grid and Distributed Computing*, 2016, vol. 9, no. 2, pp. 245-254.
23. Kellerman A. *Telecommunications and Geography*. London: Belhaven Press, 1993. 230 p.

24. Kim H., O'Kelly M.E. Reliable p-hub location problems in telecommunication networks. *Geographical Analysis*, 2009, vol. 41, no. 3, pp. 283-306.
25. Kim J., Moon H., Jung H. Drone-based parcel delivery using the rooftops of city buildings: Model and solution. *Applied Sciences*, 2020, vol. 10, no. 12, e4362.
26. Lehtonen O. Population grid-based assessment of the impact of broadband expansion on population development in rural areas. *Telecommunications Policy*, 2020, vol. 44, no. 10, e102028.
27. Mbarika V.W., Byrd T.A. An exploratory study of strategies to improve Africa's least developed economies' telecommunications infrastructure: The stakeholders speak. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 2009, vol. 56, no. 2, pp. 312-328.
28. Mobile landscape: Using location data from cell phones for analysis / C. Ratti, R. M. Pulsell, S. Williams, D. Frenchman. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2006, vol. 33, no. 5, pp. 727-748.
29. Neumayer S., Modiano E. Network reliability under geographically correlated line and disk failure models. *Computer Networks*, 2016, vol. 94, pp. 14-28.
30. O'Kelly M.E., Kim H., Kim C. Internet reliability with realistic peering. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2006, vol. 33, no. 3, pp. 325-343.
31. On the geographic location of Internet resources / A. Lakhina, J. W. Byers, M. Crovella, I. Matta. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2003, vol. 21, no. 6, pp. 934-948.
32. On the spatial properties of internet routes / P. Mátray, P. Haga, S. Laki et al. *Computer Networks*, 2012, vol. 56, no. 9, pp. 2237-2248.
33. Padmanabhan V.N., Subramanian L. An investigation of geographic mapping techniques for internet hosts. *Computer Communication Review*, 2001, vol. 31, no. 4, pp. 173-185.
34. Periyasamy S., Duraiswamy K. Ddos and dos parallel attack traceback by spatial marking technique. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 2014, vol. 69, no. 1, pp. 59-67.
35. Puel G., Ullmann C. Nodes and links of the internet: A geographical, economic and technical approach. *Espace Geographique*, 2006, vol. 35, no. 2, pp. 97-114.
36. Rajiv Kannan A., Duraiswamy K., Sangeetha K. Three dimensional multidirectional geographical IP traceback: Direction ratio sampling algorithm. *Journal of Computer Science*, 2009, vol. 5, no. 9, pp. 136-139.
37. 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, no. 1, pp. 105-126.
38. Real-time urban monitoring using cell phones: A case study in Rome / F. Calabrese, M. Colonna, P. Lovisolino et al. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2011, vol. 12, no. 1, pp. 141-151.
39. Redrawing the map of Great Britain from a network of human interactions / C. Ratti, S. Sobolevsky, F. Calabrese et al. *PLoS ONE*, 2010, vol. 5, no. 12, e14248.
40. Robine J., Salamati K. Envisioning cyber-geography. *Herodote*, 2014, vol. 152-153, no. 1-2, pp. 123-139.
41. Roth M., Brandt H., Bisch H. Implementation of a geographical routing scheme for low Earth orbiting satellite constellations using intersatellite links. *International Journal of Satellite Communications and Networking*, 2021, vol. 39, no. 1, pp. 92-107.
42. Segal Z. Communication and state construction: The postal service in German States, 1815-1866. *Journal of Interdisciplinary History*, 2014, vol. 44, no. 4, pp. 453-473.
43. The roadmap to 6G: AI empowered wireless networks / K. B. Letaief, W. Chen, Y. Shi et al. *IEEE Communication Magazine*, 2019, vol. 57, no. 8, pp. 84-90.
44. Towards geographical analysis of the autonomous system network / U. Yacobi-Keller, E. Savin, B. Fabian, T. Ermakova. *International Journal of Networking and Virtual Organisations*, 2019, vol. 21, no. 3, pp. 379-397.
45. Tranos E. The topology and the emerging urban geographies of the Internet backbone and aviation networks in Europe: A comparative study. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 2012, vol. 43, no. 2, pp. 378-392.
46. Tranos E. *The Geography of the Internet: Cities, Regions and the Internet Infrastructure in Europe*. Berlin: Edward Elgar Publ., 2013. 252 p.
47. Tripathi M., Inani S.K. Does information and communications technology affect economic growth? Empirical evidence from SAARC countries. *Information Technology for Development*, 2020, vol. 26, no. 4, pp. 773-787.
48. Viswanathan A., Arunachalam V.P., Karthik S. Geographical division traceback for distributed denial of service. *Journal of Computer Science*, 2012, vol. 8, no. 2, pp. 216-221.
49. Wang J.H., An C. A study on geographic properties of internet routing. *Computer Networks*, 2018, vol. 133, pp. 183-194.
- Conflict of interest:** The author declares no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Received: 19.01.2022

Accepted: 05.06.2023

Блануца Виктор Иванович
доктор географических наук, ведущий научный сотрудник
Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН,
г. Иркутск, Российская Федерация, ORCID: 0000-0003-
3958-216X, e-mail: blanutsa@list.ru

Viktor I. Blanutsa
Dr. Sci. (Geogr.), Leading Researcher of the V.B. Sochava
Institute of Geography, Siberian Branch of the RAS,
Irkutsk, Russian Federation, ORCID: 0000-0003-3958-
216X, e-mail: blanutsa@list.ru