

## Прогнозирование миграционных процессов методами цифровой демографии<sup>1</sup>

Характер и интенсивность миграционных процессов постоянно изменяются. Демографическая статистика не всегда позволяет получать актуальную информацию, принимать своевременные решения в области демографической и социальной политики. В связи с этим возрастает актуальность цифровой демографии — области исследований населения с использованием новых методов и источников данных, возникших в результате распространения интернета и цифровизации общества. Цель исследования — выявить современные миграционные тенденции в России на муниципальном уровне с помощью методов цифровой демографии и новых источников данных. В статье уточнены рамки цифровой демографии с учетом двойственности ее объекта (реальное и виртуальное население) и методов (демографические и методы науки о данных). Рассмотрены цифровые источники данных, которые могут применяться в изучении миграции населения, и методы их обработки. Предложенная автором методика изучения миграционных перемещений населения основана на анализе графов маршрутов миграций с помощью данных социальных сетей. С использованием данных проекта «Виртуальное население России» о 2356 городских округах и муниципальных районах выявлены особенности межмуниципальных миграций и определены центры миграционного притяжения России. Предложен показатель, позволяющий оценивать потенциал будущих миграций на основе графов маршрутов миграций. Исследование показало, что для сбалансированного пространственного развития страны необходимо стимулирование развития человеческого капитала в локальных центрах с высоким миграционным потенциалом. Это некоторые региональные столицы, «вторые города» по численности населения, научно-образовательные и промышленные центры. Результаты исследования могут найти применение в анализе демографических процессов и в разработке стратегических документов в области пространственного развития территорий. Дальнейшая цифровизация и реализация национальных проектов в сфере цифровой экономики позволят накапливать еще больше данных о населении. Будущие исследования должны быть направлены на совершенствование методик изучения и прогнозирования демографических процессов с применением методов цифровой демографии.

**Ключевые слова:** цифровая демография, миграция, цифровое общество, виртуальное население, большие данные, цифровой след, цифровизация, социальные сети, демография

### Благодарность

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда, проект № 21-78-00081.

**Для цитирования:** Смирнов А. В. Прогнозирование миграционных процессов методами цифровой демографии // Экономика региона. 2022. Т. 18, вып. 1. С. 133-145. <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2022-1-10>.

<sup>1</sup> © Смирнов А. В. Текст. 2022.

Andrey V. Smirnov

Institute of Socioeconomic and Energy Problems of the North, Komi Science Centre of the Ural Branch of RAS, Syktyvkar, Russian Federation

<https://orcid.org/0000-0001-6952-6834>, e-mail: av.smirnov.ru@gmail.com

### Digital Demography Methods for Forecasting Migration Processes

*The nature and intensity of migration processes are constantly changing. Demographic statistics are not suitable for obtaining up-to-date information and making timely decisions in the field of demographic and social policy. Thus, digital demography is becoming increasingly important, as this area of population research uses new methods and data sources resulting from the Internet expansion and the digitalisation of society. Using digital demography methods and emerging data sources, the study aims to identify current migration trends in Russia at the municipal level. The duality of the object (real and virtual population) and methods (demographic and data science methods) of digital demography is demonstrated. Digital data sources for studying migration and relevant processing methods were considered. Further, it was proposed to assess migration flows by examining social network information and graphs of migration routes. The analysis of data obtained from the "Virtual population of Russia" project for 2356 urban and municipal regions revealed the features of inter-municipal migration and the centres of migration attraction in the country. An indicator for assessing the potential of future migrations based on the graphs of migration routes was presented. The analysis results show that balanced spatial development of Russia requires the stimulation of human capital development in local centres characterised by high migration potential. These include regional capitals, "second" cities in terms of population, and some research and industrial centres. The study findings can be used to consider demographic processes at the municipal level and elaborate strategic documents in the field of regional spatial development. Further digitalisation and the implementation of digital economy projects will lead to the accumulation of population data at the national level. Therefore, future research should focus on improving digital demography methods for studying and forecasting demographic processes.*

**Keywords:** digital demography, migration, digital society, virtual population, big data, digital footprint, digitalisation, social networks, graphs, demography, Russia

### Acknowledgments

*The article has been prepared with the support of the Russian Science Foundation, the project No 21-78-00081.*

**For citation:** Smirnov, A. V. (2022). Digital Demography Methods for Forecasting Migration Processes. *Ekonomika regiona [Economy of regions]*, 18(1), 133-145, <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2022-1-10>.

### Введение

На современном этапе развития информационного общества влияние цифровых технологий и интернета на все сферы жизни человека возросло настолько, что этот этап называют цифровым обществом (Khazieva et al., 2019, с. 349). Цифровизация проявляется в переносе в цифровую среду социальных практик и взаимодействий, в накоплении больших объемов данных об обществе, в управлении социальными процессами с помощью алгоритмов (Katzenbach, Bächle, 2019). Исследователи видят преимущества цифрового общества в его открытости, в снижении издержек периферийности, в упрощении и уплотнении социальных взаимодействий (Chaiko, 2018). Однако справедливо отмечаются и риски, которые несут цифровые технологии: формирование новых структур неравенства (Grimshaw, 2017, с. 2), усиление зависимости стран от технологических лидеров, рост влияния транснациональных корпораций (Ганичев, Кошовец, 2017, с. 58),

нарушение приватности и использование цифровых технологий для ограничения прав и свобод человека (Matzner, Ochs, 2019).

Цифровизация повлияла на развитие общественных наук. Огромные объемы генерации данных, особенно в интернет-среде, позволили говорить о возникновении совершенно новой эпистемологической установки в познании мира: «Новый подход к анализу данных ориентирован на получение выводов, „протекающих из данных“, а не на проверку теории на основе анализа подходящих для этого данных» (Kitchin, 2014, с. 2). Цифровая экономика становятся одной из самых интенсивно развивающихся областей современной экономической науки (Дятлов и др., 2018, с. 1197). Похожая ситуация наблюдается в социологии, где возрастает масштаб и усиливается глубина доступных исследователям цифровых данных (Журавлева, 2015, с. 25). На пересечении демографии и науки о данных (англ. *data science*) также формируется новая область ис-

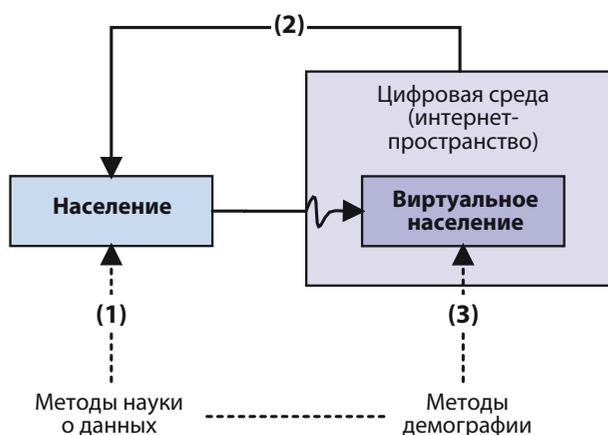


Рис. 1. Три ракурса цифровой демографии (составлено автором)

Fig. 1. Three perspectives of digital demography

следований — цифровая демография (Zagheni, 2017; Weber, State, 2017; Bohon, 2018). Однако понятийный аппарат, проблемное поле и инструментарий этой области только разрабатываются и требуют дальнейшего осмысления и концептуализации.

Цель исследования состоит в выявлении современных миграционных тенденций в России на муниципальном уровне с помощью методов цифровой демографии и новых источников данных. Категории «большие данные», «виртуальное население», «цифровой след» и «цифровой двойник» будут рассмотрены применительно к демографическим и миграционным исследованиям. Объект исследования — население России — будет одновременно изучаться с двух позиций. Во-первых, в привязке к территориям проживания, что характерно для традиционной демографической науки. Во-вторых, через призму цифровых данных, открывающих новые возможности для анализа, но вместе с тем искажающих реальную ситуацию. Гипотеза исследования состоит в том, что методы цифровой демографии позволяют получать более детальные данные о миграционных процессах и повысить качество прогнозов миграции населения.

В начале статьи уточняются концептуальные рамки цифровой демографии и ее методы, приводится опыт их использования. Затем предлагается авторская методика изучения миграционных процессов на основе анализа данных социальных сетей путем построения графа межмуниципальных миграционных маршрутов. С помощью методики проанализированы миграционные процессы в современной России и выявлены пути совершенствования политики в области пространственного развития страны. В заключении статьи обоб-

щены результаты исследования и обозначены некоторые нерешенные научные проблемы.

### Цифровая демография: объект изучения, источники и методы

Традиционная демография изучает закономерности воспроизводства и миграции населения. В определении рамок цифровой демографии мы следуем подходу Э. Загени (Zagheni, 2017, с. 12), но дополним его третьей составляющей. Цифровая демография — возникающая область исследований, изучающая (1) демографические процессы с использованием новых цифровых технологий и источников данных, (2) влияние цифровой трансформации на демографическое поведение и благополучие людей и (3) «виртуальное население» цифровой среды демографическими методами (рис. 1).

Объект изучения цифровой демографии имеет техно-социальный характер. Он включает реальное и виртуальное население, то есть проекцию населения в цифровую среду (чаще всего — в интернет-пространство). Население взаимодействует с цифровой средой и испытывает ее обратное влияние (Kotyrlo, 2019). Человек может как не иметь своей проекции совсем, так и иметь несколько проекций (например, может создать несколько учетных записей в социальной сети или пользоваться несколькими мобильными устройствами одновременно). Поэтому численность виртуального населения не обязательно меньше реального. При том, что все социально-демографические характеристики виртуального населения искажены цифровой средой, оно обладает гносеологической ценностью, фиксируя закономерности как реального населения, так и воздействия среды, то есть частично раскрывает два других ракурса цифровой демографии. Более того, виртуальное население обладает высокой самостоятельной значимостью для интернет-бизнеса, выступая его потребителем. Поэтому интернет-маркетинг методологически тесно связан с цифровой демографией. Характеристики виртуального населения важны в изучении цифровизации регионов (Федоров, Датъев, 2019, с. 159).

Цифровая демография использует как традиционные демографические источники, так и новые виды источников данных, генерируемых в цифровой среде (табл. 1). Главное различие между ними состоит в том, что традиционные источники изначально создаются в целях проведения статистического учета населения или научных исследований. Появление новых источников стало возможным только

## Данные и методы цифровой демографии

Table 1

## Data and methods of digital demography

Данные и методы	Демография	Наука о данных / большие данные о населении
Источники данных	Итоги переписей населения, включая базы микроданных; официальная статистика; выборочные обследования населения; информация министерств и ведомств	Социальные сети; анализаторы поисковых запросов; картографические сервисы; тематические платформы: порталы вакансий, служб занятости и др.; данные мобильных устройств; базы генеалогических данных
Методы	Демографические методы: когортно-компонентный анализ, продольный и поперечный анализ, потенциальная демография; статистические, математические и социологические методы изучения населения	Методы сбора, обработки и интеллектуального анализа данных ( <i>data mining</i> ); методы машинного обучения, включая глубокое обучение ( <i>deep learning</i> ); общенаучные методы: визуализация, пространственный анализ, моделирование

Составлено автором.

благодаря цифровым технологиям, а создаются они целях, не связанных с демографическими исследованиями. Многие из них представлены в форме «больших данных», свойства которых обобщил Р. Китчин: огромный объем, высокая скорость производства, высокая детализация, внутреннее многообразие, исчерпывающая полнота, взаимосвязь с другими массивами данных, расширяемость и масштабируемость (Kitchin, 2014, с. 1–2). Хотя большие данные и имеют ряд ограничений как инструмент изучения миграций, их гносеологический потенциал очень велик (Чудиновских, 2018, с. 48).

Демографическая наука всегда имела дело с данными, обладающими многими из перечисленных свойств больших данных. Например, огромный объем характерен для микроданных переписей населения, а также для крупных статистических баз данных. Так, База данных показателей муниципальных образований (БД ПМО) Росстата содержит более 500 показателей по 21946 муниципальным образованиям России, а в Единой межведомственной информационно-статистической системе (ЕМИСС) показатели миграции приводятся по 120 территориям России с разбиением по 357 направлениям перемещений. Поскольку периодичность показателей ежемесячная (более 270 временных периодов), общее число ячеек в таблицах измеряется десятками миллионов. Детализация бывает настолько высока, что позволяет применять методы обработки больших данных даже к отдельным демографическим показателям. Поэтому С. Бохон предлагает (Bohon, 2018) относить обширные демографические данные, собранные в исследовательских целях, к большим данным.

В цифровую эпоху огромные базы данных и микроданных стали создаваться и размещаться в открытом доступе более интенсивно (Alburez-Gutierrez et al., 2019, с. 6), что открывает беспрецедентные возможности для исследователей (Billari, Zagheni, 2017). Суммарное количество записей демографических микроданных, доступных ученым, уже измеряется миллиардами (Ruggles, 2014, с. 287), но эти базы данных не лишены недостатков. Например, данные микропереписи населения 2015 г. критикуются за недостаточную репрезентативность (Пьянкова и др., 2018, с. 88), а показатели муниципальных образований — за неполноту и ошибки при вводе данных (Дмитриева, Чупрова, 2019, с. 5). Разрабатываются методы по верификации, поиску ошибок и согласованию данных из разных источников (Hughes et al., 2016, с. 6).

К принципиально новым источникам данных, полезным в демографических и миграционных исследованиях, можно отнести различные интернет-сервисы и платформы. Приведем лишь некоторые примеры. Информация, накапливаемая в социальных медиа, позволяет изучать миграционные установки населения, перемещения, топологии сетей взаимодействия жителей, новые виды мобильности (Zamyatina, Yashunsky, 2017). При помощи анализаторов поисковых запросов (например, Яндекс. Подбор слов и Google Trends) можно выявить миграционные планы населения по территориям выбытия на основе запросов пользователей поисковых систем. Анализируются запросы по таким ключевым словам, как миграция, мигрант, натурализация, легализация, диаспора, депортация (Bohme, 2019, с. 32).

Картографические сервисы позволяют изучать пространственное размещение населения и уровень жизни по авиа- и спутниковым снимкам (включая ночные снимки). Так, с помощью спутниковых снимков получены оценки летнего населения садово-дачных поселков россиян (Махрова и др., 2016). Анализировать миграционные перемещения населения можно на основе статистики спроса и предложения сайтов вакансий, продажи / аренды недвижимости и др. или путем анализа изменений геолокации пользователей интернет-сервисов и мобильных устройств (Hughes et al., 2016). Ярчайший пример — индекс самоизоляции<sup>1</sup>, характеризующий изменение активности пользователей сервисов Яндекса на улицах городов в период пандемии COVID-19. Сервисы, собирающие генеалогические данные (например, WikiTree), дают возможность рассматривать влияние родственных связей на пространственную мобильность.

Индивиды при взаимодействии с цифровой средой оставляют так называемый цифровой след (Weber, 2017, с. 936), то есть совокупность данных, которую пользователи генерируют во время пребывания в цифровом пространстве. Они направляют запросы к поисковым системам, публикуют информацию и геометки в социальных сетях, ищут вакансии и жилье при переезде на тематических сайтах. Информация об этих действиях накапливается и анализируется. Данные могут обрабатываться как традиционными демографическими методами и моделями, так и с применением методов науки о данных (Burch, 2018). Это, прежде всего, интеллектуальный анализ данных, машинное обучение, алгоритмическое и вероятностное моделирование. В рамках одного исследования может использоваться множество методов. Для цифровой демографии характерно применение методов анализа данных при изучении демографических процессов или демографических методов при изучении виртуального населения цифровой среды.

Новые и традиционные источники данных не заменяют, а дополняют друг друга. Благодаря высокой скорости производства цифровые данные позволяют более оперативно наблюдать изменение миграционных тенденций, прогнозировать интенсивность миграций. В то же время имеются барьеры доступа к цифровым данным, как правовые, так и технические. Это связано с коммерческими

интересами владельцев цифровых платформ и конфиденциальностью данных о перемещениях пользователей. Некоторые данные находятся в свободном доступе или могут быть получены по запросу, некоторые продаются, другие доступны только отдельным компаниям или государству.

Разрабатываются методы верификации цифровых данных о миграции (Hughes et al., 2016). В ряде случаев возможно сопоставление цифровых источников с официальной статистикой. При наличии расхождений они могут быть устранены путем учета распространенности цифровой платформы в различных социальных, половозрастных группах или в регионах. Выборка разбивается на классы и взвешивается в соответствии с известными демографическими показателями (постстратификация). В отсутствие официальной статистики, если структура выборки меняется относительно медленно, можно рассматривать тенденции изменения показателей во времени. При наличии множества противоречащих друг другу источников информации может применяться байесовское моделирование.

Таким образом, цифровая демография имеет двойственный объект — реальное и виртуальное население, а также совмещает методы и подходы по меньшей мере двух наук — традиционной демографии и науки о данных. Далее рассмотрим пример использования методов цифровой демографии в анализе миграционных процессов современной России.

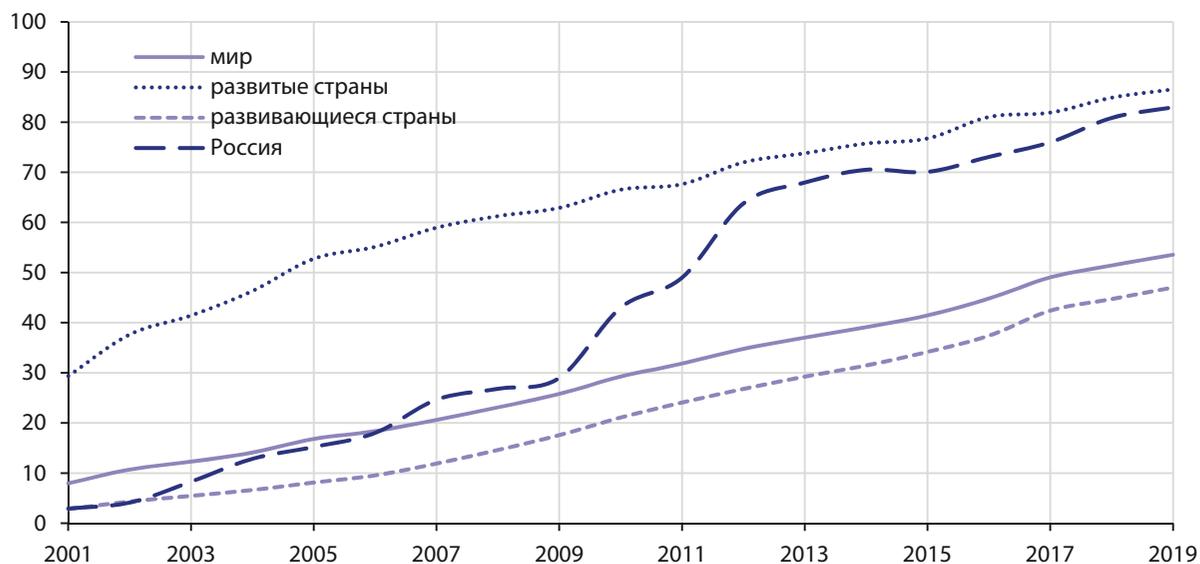
### Методика исследования

Более половины мирового населения пользуются интернетом. Если в начале XXI в. Россия по уровню интернет-проникновения соответствовала развивающимся странам (2,9 % населения использовали интернет в 2001 г.), то к 2019 г. она почти достигла уровня развитых стран (83 %; рис. 2). Причем более 60 % населения России пользуются интернетом каждый день или почти каждый день. Чаще всего россияне используют интернет для посещения социальных сетей (63 % жителей в возрасте от 15 до 73 лет)<sup>2</sup>, а среди социальных сетей наиболее популярной является сеть «ВКонтакте»<sup>3</sup>, что делает ее одним из наиболее репрезентативных цифровых ис-

<sup>1</sup> Индекс самоизоляции. URL: <https://yandex.ru/company/researches/2020/podomam> (дата обращения: 01.07.2020).

<sup>2</sup> Краткий статистический сборника «Цифровая экономика: 2020», НИУ ВШЭ. URL: <https://issek.hse.ru/digec2020> (дата обращения: 01.06.2020).

<sup>3</sup> По данным сервиса Яндекс.Радар на декабрь 2019 г. URL: [https://radar.yandex.ru/top\\_list?type=social&month=2019-12](https://radar.yandex.ru/top_list?type=social&month=2019-12) (дата обращения: 01.06.2020).



**Рис. 2.** Доля населения России и мира, использующего интернет, 2001–2019 гг., % (составлено автором по данным Международного союза электросвязи: Statistics. ITU. URL: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/stat/> (дата обращения: 01.06.2020))

**Fig. 2.** The share of the population in Russia and the world using the Internet, 2001–2019, %

точников информации о российском населении. Социальная сеть «ВКонтакте» позволяет изучать миграционные перемещения, поскольку данные учетных записей пользователей содержат информацию о текущем и предыдущем месте жительства.

Информационную базу исследования составили официальные статистические базы данных ЕМИСС<sup>1</sup> и БД ПМО<sup>2</sup>, а также данные проекта «Виртуальное население России»<sup>3</sup>. Этот проект реализован при поддержке Русского географического общества под руководством Н.Ю. Замятиной и А.Д. Яшунского. Авторы проекта проделали огромную работу по обработке около 200 млн анкет и 3,5 млрд дружеских связей (на январь — март 2015 г.) пользователей социальной сети «ВКонтакте» и привязке их к территориям России на региональном и муниципальном уровнях. Было отобрано около 88 млн анкет пользователей, указавших место жительства (или последнее место учебы, если место жительства не было указано), расположенное на территории Российской Федерации (Замятина, Яшунский, 2018, с. 123).

Полученная выборка не обладает высокой репрезентативностью ни в территориальном,

ни в возрастном отношении. Однако она сдвинута в сторону именно тех социальных групп, которые наиболее склонны к миграции (молодое и образованное население), что позволяет фиксировать миграционные закономерности. Наши расчеты показывают, что крупнейшие направления миграций по данным проекта «Виртуальное население России» для 71 из 85 субъектов РФ совпадают с теми, которые отражает официальная статистика, что говорит о довольно высоком соответствии цифровых данных реальным миграционным процессам. Однако предметом данного исследования являются межмуниципальные миграции, официальные статистические данные по которым не отражают связи между территориями выбытия и прибытия, что делает цифровые источники информации незаменимым исследовательским инструментом.

Методика исследования включает три этапа. На первом этапе по каждому муниципальному образованию (МО) собираются следующие данные: общая численность населения и число миграционных перемещений в разрезе всех других МО. Миграции удобно записывать в табличном (матричном) виде, где строки соответствуют источникам миграций (местам выбытия), а столбцы — направлениям (местам прибытия). Значения ячеек отражают число миграционных перемещений. На втором этапе строится ориентированный граф, вершины которого соответствуют муниципальным образованиям, а дуги — перемещениям между ними. Причем из каждой вершины ограничимся рас-

<sup>1</sup> Единая межведомственная информационно-статистическая система. URL: <https://www.fedstat.ru/> (дата обращения: 01.06.2020).

<sup>2</sup> База данных показателей муниципальных образований. Росстат. URL: <https://www.gks.ru/dbscripts/munst/> (дата обращения: 01.06.2020).

<sup>3</sup> Виртуальное население России. URL: <http://webcensus.ru/> (дата обращения: 01.06.2020).

смотрением всего одной дуги, соответствующей наиболее популярному направлению миграций. Такой подход хотя и не учитывает большую часть миграционных маршрутов, позволяет сосредоточиться на анализе наиболее значимых и определяющих общие тренды перераспределения человеческого потенциала. В нашем случае количество дуг графа уменьшилось в 143 раза, а число учитываемых миграционных перемещений — только на 60 %. На третьем этапе анализируется полученный граф:

— изучается общая структура графа, выявляются изолированные подграфы и доминирующие вершины графа для определения основных центров миграционного притяжения населения и масштабов их влияния;

— анализируются маршруты миграций из конечных точек графа и их длины для определения миграционных центров второго и третьего порядка и закономерностей перемещений населения;

— группируются и анализируются миграционные центры по следующим основаниям: численность населения, географическое положение, административный статус (столица, административный центр региона, городской округ или муниципальный район), наличие ярко выраженной специализации (образовательная, промышленная, административная и др.).

— рассчитывается индекс миграционного потенциала муниципальных образований:

$$\text{ИМП}_j = \frac{\sum_{i=1}^n p_i m_{ij}}{p_j}, \quad (1)$$

где  $\text{ИМП}_j$  — индекс миграционного потенциала  $j$ -го МО;  $p_i$  — численность населения  $i$ -го МО;  $m_{ij}$  — элемент матрицы смежности графа (равен 1, если  $j$ -е МО является крупнейшим направлением миграций из  $i$ -го МО, равен 0 — в противном случае). ИМП миграционного центра показывает, во сколько раз совокупное население муниципальных образований, для которых он является наиболее популярным направлением перемещений, превышает население самого центра. Города и районы высокими значениями индекса долго смогут компенсировать собственный отток за счет входящей миграции.

Алгоритм расчета показателей и визуализация графа миграций, согласно представленной методике для 2356 городских округов и муниципальных районов России по данным проекта «Виртуальное население России», реали-

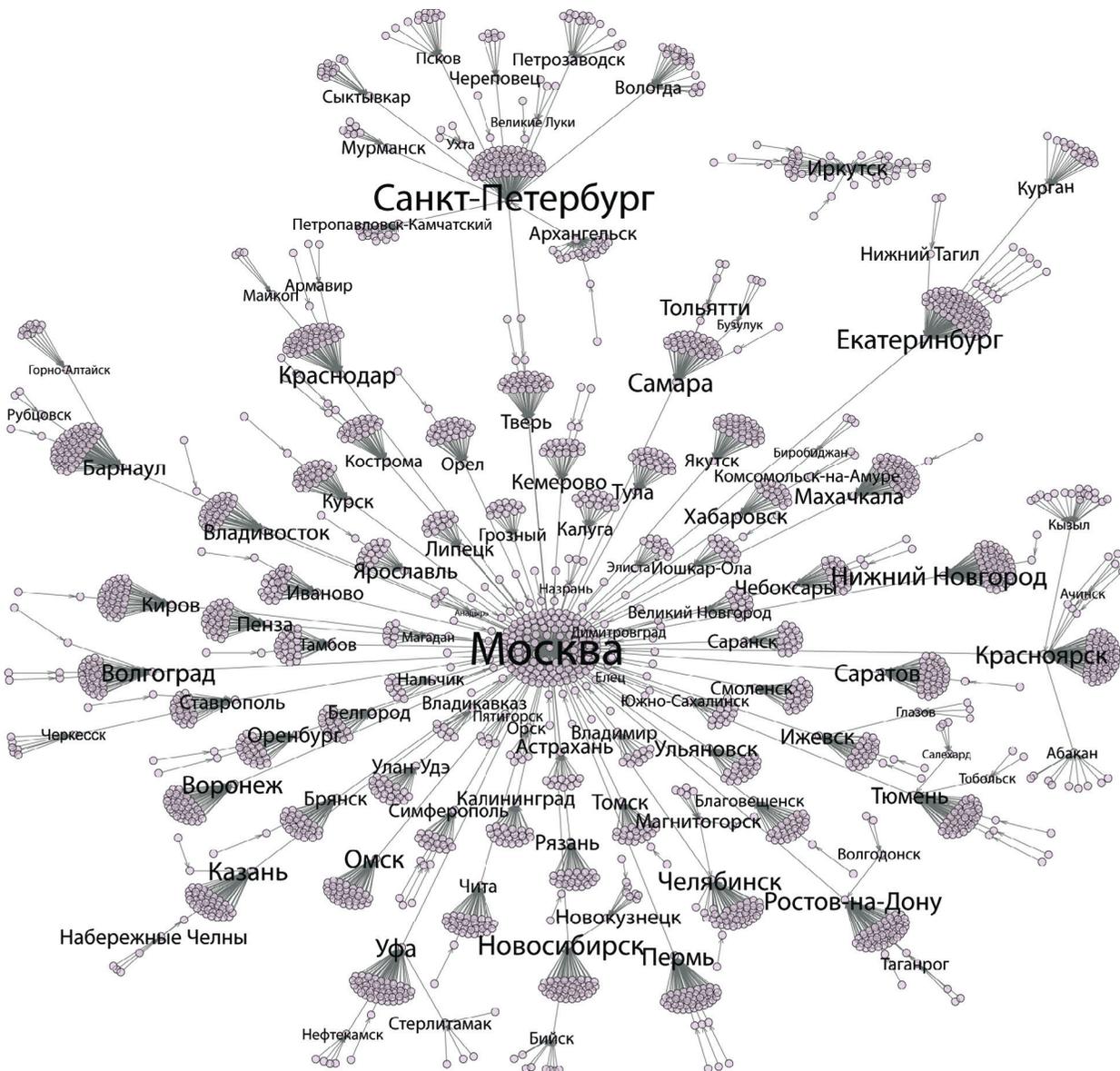
зованы автором на языке программирования Julia с использованием пакетов DataFrames.jl (обработка табличных данных), LightGraphs.jl (изучение графа) и GraphPlot.jl (визуализация графа).

### Миграционные процессы в России сквозь призму цифровых данных

В России продолжают процессы урбанизации и формирования городских агломераций. Уже в XXI в. доля городского населения выросла с 73,1 % в начале века до 74,6 % к 2019 г. В результате миграционных перемещений удельный вес городов с населением более 1 млн чел. за тот же период увеличился с 16,8 до 22,9 %<sup>1</sup>. Сохраняется «западный дрейф» населения, угрожающий демографической безопасности дальневосточных, северных и арктических территорий России (Фаузер, 2014; Лыткина, Смирнов, 2019). Сильнейшие центростремительные тенденции приводят к тому, что региональные столицы и их пригороды становятся «чуть ли не единственными точками позитивной динамики населения в подавляющем большинстве регионов России» (Мкртчян, 2018, с. 35). Перемещение из глубинки в крупный столичный город воспринимается как социальный успех (Ильин, 2014, с. 29), а движение от центра — как неудача. Поскольку наиболее мобильна молодежь, миграции приводят к деформации возрастного состава населения в регионах выбытия, к росту демографической нагрузки на трудоспособное население. В итоге агломерационный эффект (Scott, Storper, 2014) стягивает население и экономику в несколько крупнейших городских агломераций. Потенциал их дальнейшего развития определяется наличием ресурсов на периферии — в тех городах и районах, которые служат для них источниками миграционного прироста (Зубаревич, 2017, с. 13). Поэтому граф маршрутов миграций (рис. 3) позволяет оценить перспективы дальнейшего перераспределения человеческого потенциала России.

Граф состоит из двух изолированных подграфов. Первый включает подавляющее большинство муниципальных образований (2312 из 2356), а доминирующей вершиной для него является Москва, куда в конечном итоге приводят маршруты из всех остальных точек подграфа. Второй включает Иркутск и связанные с ним районы. Для Иркутска Москва не явля-

<sup>1</sup> По данным Российских статистических ежегодников Росстата за 2000 и 2019 гг. URL: <https://www.gks.ru/folder/210/document/12994> (дата обращения: 01.06.2020).



**Рис. 3.** Маршруты межмуниципальных миграций в России. Визуализация графа создана автором методом Фрухтермана — Рейнгольда по данным проекта «Виртуальное население России». Стрелки показывают наиболее популярное направление переезда жителей 2356 муниципальных образований

**Fig. 3.** Inter-municipal migration routes in Russia. The visualisation of the graph was created using the Fruchterman-Reingold algorithm according to the information of the "Virtual Population of Russia" project. Arrows show the most popular direction of relocation for residents of 2356 municipalities

ется первым по величине направлением перемещений, что может быть связано с особенностями выборки или высокой возвратной миграцией. Для 210 муниципальных образований Москва является главным направлением миграции, а средняя длина маршрута от произвольной точки до Москвы составляет 2,04 ребра (перемещения). Это говорит о том, что в стране практически отсутствуют миграционные центры третьего уровня, что негативно сказывается на человеческом потенциале периферийных территорий. Самые длинные миграционные маршруты состоят из четырех перемеще-

ний. Таковых выявлено всего три: «Заполярный район — Нарьян-Мар — Архангельск — Санкт-Петербург — Москва», «Прокопьевский район — Прокопьевск — Новокузнецк — Новосибирск — Москва» и «Баймакский район — Сибай — Магнитогорск — Челябинск — Москва».

Расчеты позволили выявить в России 198 миграционных центров, являющихся крупнейшими направлениями перемещений хотя бы для одного МО. Из них только 104 привлекают населения двух и более МО, их названия отмечены на рисунке. Рассмотрим их более подробно. Их средняя людность составляет

610 тыс. человек, а 79 из них — административные центры субъектов РФ. Из региональных столиц в список не вошли только Севастополь, Ханты-Мансийск, Магас и Нарьян-Мар. Это связано с тем, что МО Крыма тяготеют прежде всего к Симферополю, Ханты-Мансийского АО — к Тюмени, Ингушетии — к Назрани, а в Ненецком АО лишь одно муниципальное образование кроме Нарьян-Мара.

Москва является крупнейшим направлением миграций для жителей всех остальных городов-миллионников и для большинства городов с населением свыше 500 тыс. жителей (кроме Тольятти, Иркутска, Новокузнецка и Набережных Челнов). Для крупных городов и для ряда малых городов с высоким уровнем доходов и образованным населением (например, добывающих городов Арктики) основным направлением миграций является Москва. Их жители обладают достаточными ресурсами для переезда и закрепления в столице. Санкт-Петербург побеждает в конкуренции с Москвой в рамках Северо-Западного федерального округа. Отметим, что Москва и Санкт-Петербург являются субъектами РФ — городами федерального значения, и их статус отличается от остальных рассмотренных миграционных центров — городских округов. Для большинства малых городов и сельских районов точками притяжения являются административные центры субъектов РФ. Они обладают более диверсифицированными рынками труда, высокой инфраструктурной насыщенностью, в них лучшие возможности для получения образования, более высокие показатели материального благополучия и качества жизни в целом.

Среди остальных миграционных центров можно встретить крупнейшие города субъектов РФ, не являющиеся их административными центрами: Назрань (Ингушетия), Череповец (Вологодская область). Еще 16 городов являются вторыми по численности в своих субъектах РФ, но при этом обладают миграционной привлекательностью как промышленные или научно-образовательные центры: Новокузнецк, Пятигорск, Магнитогорск, Бийск, Таганрог, Стерлитамак, Тольятти, Орск, Набережные Челны, Ухта, Комсомольск-на-Амуре, Димитровград, Елец, Нижний Тагил, Великие Луки. В целях сбалансированного пространственного развития России необходимо стимулировать сохранение человеческого потенциала в таких городах, так как они сдерживают поляризацию и концентрацию населения в столицах.

Совокупное население городов и районов, для которых Москва является основным направлением перемещений, составляет 55,4 млн чел. Москва на порядок опережает ближайших преследователей: Санкт-Петербург, Краснодар и Екатеринбург (табл. 2). По значению индекса миграционного потенциала лидируют Москва и Краснодар. Расчеты показывают, что значение ИМП связано с показателями миграционного прироста внутри России в 2015–2018 гг. Если для МО с ИМП менее 1 наблюдается миграционная убыль (в среднем 3,2 чел. на 1000 жителей в год), то МО с индексом от 1 до 2 в среднем демонстрируют небольшой миграционный прирост (0,8), а с индексом более 2 — значительный прирост (1,9). Среди городов с ИМП выше 2 миграционная убыль почти не встречается. Поскольку статистически значимая корреляция миграционного прироста с общей численностью населения муниципалитетов отсутствует, использование рассмотренного подхода может повысить качество демографических прогнозов, что подтверждает гипотезу исследования.

Результаты анализа показывают, что межмуниципальные миграции во многом определяются налаженными культурными и миграционными связями между районами прибытия и выбытия. Под влиянием циркулярной и кумулятивной причинности (Piché, 2013), миграции начинают поддерживать сами себя. Наиболее привлекательными помимо столичных городов становятся административные центры субъектов РФ, некоторые образовательные и промышленные центры. При реализации политики пространственного развития России для снижения центростремительных трендов, которые оборачиваются негативными социальными последствиями в районах исхода, необходимо сосредоточиться на сохранении привлекательности тех городов, которые не являются центрами крупнейших агломераций, но тем не менее стали центрами миграционного притяжения. Развитие локальных центров позволит увеличить количество миграционных перемещений, необходимых жителям для переезда в столицу и снизить удельный вес Москвы и Санкт-Петербурга в миграционном обмене. Особенно перспективным направлением миграционной политики из-за возрастного состава мигрантов видится развитие региональной образовательной сферы. При разработке демографических мероприятий необходимо учитывать, в какой степени источники миграций будут способны в будущем компенсиро-

## Крупнейшие направления миграций в России и их источники

Table 2

## Main migration directions in Russia and their sources

Ранг	Крупнейшие направления миграций			Источники миграций — муниципальные образования		
	городской округ / город федерального значения	население, тыс. чел.	ИМП	число МО	население МО, тыс. чел.	крупнейший источник миграций
1	Москва	12 330	4,5	210	55 355	Санкт-Петербург
2	Санкт-Петербург	5 192	1,1	70	5 610	Архангельск
3	Краснодар	918	4,5	44	4 155	Новороссийск
4	Екатеринбург	1 461	2,3	73	3 310	Нижний Тагил
5	Ростов-на-Дону	1 115	2,6	50	2 898	Таганрог
6	Казань	1 206	2,1	41	2 582	Набережные Челны
7	Уфа	1 116	2,2	49	2 510	Стерлитамак
8	Челябинск	1 183	1,9	41	2 246	Магнитогорск
9	Новосибирск	1 567	1,4	41	2 205	Новокузнецк
10	Самара	1 172	1,8	37	2 071	Тольятти
11	Красноярск	1 053	1,9	61	2 013	Абакан
12	Нижний Новгород	1 277	1,5	49	1 889	Дзержинск
13	Тюмень	697	2,5	44	1 751	Нефтеюганск
14	Махачкала	711	2,3	41	1 669	Хасавюрт
15	Иркутск	620	2,7	39	1 667	Ангарск
16	Пермь	1 036	1,5	44	1 546	Березники
17	Волгоград	1 017	1,5	36	1 498	Волжский
18	Ставрополь	426	3,4	25	1 468	Шпаковский р-н
19	Саратов	842	1,7	37	1 407	Энгельсский р-н
20	Воронеж	1 024	1,3	35	1 374	Лискинский р-н
21	Барнаул	700	1,9	56	1 327	Рубцовск
22	Владивосток	631	2,0	31	1 244	Уссурийск
23	Симферополь	356	3,3	19	1 172	Симферопольский р-н
24	Грозный	284	3,7	13	1 060	Гудермесский р-н
25	Белгород	384	2,4	20	906	Губкинский р-н

Составлено автором по данным проекта «Виртуальное население России» и БД ПМО.

вать отъезд из миграционных центров в столичные города.

### Выводы

Исследование продемонстрировало, что методы цифровой демографии могут быть полезны в изучении миграционных процессов и при оценке перспектив миграционного движения населения. Совместное использование традиционных и цифровых источников данных и методов их обработки позволило более детально рассмотреть маршруты миграций населения, охватив все города и районы России. В будущем гносеологические возможности цифровой демографии только увеличатся. Во-первых, реализация национального проекта «Цифровая экономика», даже если его мероприятия будут исполнены только частично, приведет к расширению проникновения интернета и созданию единой государственной цифровой экосистемы на всей тер-

ритории России. Во-вторых, при проведении будущих переписей населения будут использоваться большие данные от мобильных операторов и органов власти<sup>1</sup>. В-третьих, дополнительным фактором ускорения цифровизации уже в глобальном масштабе становится пандемия коронавирусной инфекции COVID-19. В государственных и частных интернет-платформах будут накапливаться гигантские массивы информации, в том числе о социально-демографическом развитии, которые следует использовать и в научных исследованиях. Одновременно с этим необходимо совершенствовать и соблюдать этические нормы цифровых исследований, обеспечивать конфиденциальность персональных данных.

<sup>1</sup> В России в 2020 году пройдет первая цифровая перепись населения. URL: <https://tass.ru/obschestvo/6942094> (дата обращения: 01.06.2020).

Научная новизна данной работы состоит в уточнении теоретико-методологических рамок цифровой демографии и в предложенной методике анализа миграционных процессов с помощью графа маршрутов миграций, построенного на основе данных социальных сетей. Практическая значимость исследования заключается в возможности использования результатов при разработке стратегических документов и программ пространственного развития России и ее регионов. Дальнейшие исследования должны быть сосредоточены на разра-

ботке механизмов по применению цифровой демографии в государственном и муниципальном управлении. Высокая скорость генерации цифровых данных позволит снизить временную задержку публикации официальной статистической информации при принятии управленческих решений. С использованием методов цифровой демографии могут быть разработаны «цифровые двойники» населения регионов, в реальном времени отражающие детальную демографическую ситуацию и прогнозные сценарии ее развития.

### Список источников

- Ганичев Н. А., Кошовец О. Б. Технологический прорыв на базе развития цифровой экономики. Возможности, проблемы, риски // Проблемы прогнозирования. 2019. № 6 (177). С. 48–59. DOI: doi.org/10.1134/S1075700719060030.
- Дмитриева Т. Е., Чупрова И. А. Возможности и ограничения современной статистической базы анализа социально-экономического развития Арктической зоны Российской Федерации // Роль статистики в современном обществе и эффективном управлении. Сыктывкар : Комистат, 2019. С. 91–98.
- Дятлов С. А., Лобанов О. С., Чжоу В. Управление региональным информационным пространством в условиях цифровой экономики // Экономика региона. 2018. Т. 14, вып. 4. С. 1194–1206. DOI: doi.org/10.17059/2018-4-11.
- Журавлева Е. Ю. Социология в сетевой среде. К цифровым социальным исследованиям // Социологические исследования. 2015. № 8. С. 25–33.
- Замятина Н. Ю., Яшунский А. Д. Виртуальная география виртуального населения // Мониторинг общественного мнения. Экономические и социальные перемены. 2018. № 1. С. 117–137. DOI: doi.org/10.14515/monitoring.2018.1.07.
- Зубаревич Н. В. Развитие российских агломераций. Тенденции, ресурсы и возможности управления // Общественные науки и современность. 2017. № 6. С. 5–21.
- Ильин В. И. Анатомия социального успеха в географическом пространстве // Телескоп. Журнал социологических и маркетинговых исследований. 2014. № 6. С. 29–33.
- Лыткина Т. С., Смирнов А. В. Российский Север в условиях глобальной неолиберальной политики. Преодоление пространственного неравенства или вытеснение? // Мир России. 2019. Т. 28, № 3. С. 27–47. DOI: doi.org/10.17323/1811-038X-2019-28-3-27-47.
- Махрова А. Г., Медведев А. А., Нефедова Т. Г. Садово-дачные поселки горожан в системе сельского расселения // Вестник Московского университета. 2016. № 2. С. 64–74. (5. География).
- Мкртчян Н. В. Региональные столицы России и их пригороды. Особенности миграционного баланса // Известия РАН. 2018. № 6. С. 26–38. DOI: doi.org/10.1134/S2587556618060110. (Географическая).
- Пьянкова А. И., Шербакова Е. М., Васин С. А. Микрореперисы населения России. Прошлое, настоящее и будущее // Демографическое обозрение. 2018. Т. 5, № 2. С. 61–102.
- Фаузер В. В. Демографический потенциал северных регионов России — фактор и условие экономического освоения Арктики // Экономика региона. 2014. № 4 (40). С. 69–81. DOI: doi.org/10.17059/2014-4-5.
- Федоров А. М., Датъев И. О. Виртуальное население как мера цифровизации регионов // Теория и практика системной динамики. Апатиты : КНЦ РАН, 2019. С. 159–164.
- Чудиновских О. С. Большие данные и статистика миграции // Вопросы статистики. 2018. Т. 25, № 2. С. 48–56.
- Demography in the Digital Era: New data sources for population research / D. Alburez-Gutierrez, S. Aref, S. Gil-Clavel, et al. // SIS2019. Smart statistics for smart applications. Milano : Pearson, 2019. P. 1–8. DOI: doi.org/10.31235/osf.io/24jp7.
- Billari F., Zagheni E. Big data and population processes: A revolution? // SIS 2017. Statistics and data science: new challenges, new generations. Florence : Firenze University Press, 2017. P. 167–178. DOI: doi.org/10.36253/978-88-6453-521-0.
- Bohme M., Groger A., Stohr T. Searching for a Better Life: Predicting International Migration with Online Search Keywords // Journal of Development Economics. 2019. Vol. 5. P. 1–32. DOI: doi.org/10.1016/j.jdevco.2019.04.002.
- Bohon S. A. Demography in the big data revolution: changing the culture to forge new frontiers // Population Research and Policy Review. 2018. Vol. 37 (3). P. 323–341. DOI: doi.org/10.1007/s11113-018-9464-6.
- Burch T. Model-based demography. Essays on integrating data, technique and theory. Zürich : Springer, 2018. 200 p. DOI: doi.org/10.1007/978-3-319-65433-1.
- Chayko M. Superconnected. London : SAGE, 2018. 272 p.
- Grimshaw M. Digital society and capitalism // Palgrave Communications. 2017. Vol. 3 (1). P. 1–3. DOI: doi.org/10.1057/s41599-017-0020-5.

Inferring Migrations: Traditional Methods and New Approaches based on Mobile Phone, Social Media, and other Big Data / C. Hughes, E. Zagheni, G. Abel, et al. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2016. 41 p. DOI: doi.org/10.2767/61617.

Katzenbach C., Bächle T. C. Defining concepts of the digital society // *Internet Policy Review*. 2019. Vol. 8 (4). P. 1–6. DOI: doi.org/10.14763/2019.4.1430.

Khazieva N., Khaziev A., Klyushina E. Digital society: The experience of the philosophical understanding of a problem // *Journal of History Culture and Art Research*. 2019. Vol. 7 (4). P. 347–353. DOI: doi.org/10.7596/taksad.v7i4.1856.

Kitchin R. Big data, new epistemologies and paradigm shifts // *Big Data & Society*. 2014. Vol. 1 (1). P. 1–12. DOI: doi.org/10.1177/2053951714528481.

Kotyrló E. Impact of modern information and communication tools on international migration // *International Migration*. 2019. Vol. 58 (4). P. 195–213. DOI: doi.org/10.1111/imig.12677.

Matzner T., Ochs C. Privacy // *Internet Policy Review*. 2019. Vol. 8 (4). P. 1–14. DOI: doi.org/10.14763/2019.4.1427.

Piché V. Contemporary migration theories as reflected in their founding texts // *Population*. 2013. Vol. 68. P. 141–164. DOI: doi.org/10.3917/popu.1301.0153.

Ruggles S. Big Microdata for Population Research // *Demography*. 2014. Vol. 51 (1). P. 287–297. DOI: doi.org/10.1007/s13524-013-0240-2.

Scott A., Storper M. The nature of cities: The scope and limits of urban theory // *International Journal of Urban and Regional Research*. 2014. Vol. 39 (1). P. 1–15. DOI: doi.org/10.1111/1468-2427.12134.

Weber I., State B. Digital Demography // *Proceeding WWW '17 Companion*. Geneva : International WWW Conferences Steering Committee, 2017. P. 935–939. DOI: doi.org/10.1145/3041021.3051104.

Zagheni E. Data science, demography and social media challenges and opportunities // *CSE 491: Data Science and Society*. 2017. 66 p. URL: <https://courses.cs.washington.edu/courses/cse491/17wi> (accessed: 01.06.2020).

Zamyatina N., Yashunsky A. Migration cycles, social capital and networks. A new way to look at Arctic mobility // *New Mobilities and Social Changes in Russia's Arctic Regions*. London ; New York : Routledge, 2017. P. 59–84.

## References

Alburez-Gutierrez, D., Aref, S., Gil-Clavel, S., Grow, A., Negraia, D. V. & Zagheni, E. (2019). Demography in the Digital Era: New Data Sources for Population Research. In: *SIS 2019. Smart statistics for smart applications* (pp. 1–8). Milano: Pearson. DOI: 10.31235/osf.io/24jp7.

Billari, F. & Zagheni, E. (2017). Big Data and Population Processes: A Revolution? In: *SIS 2017. Statistics and data science: new challenges, new generations* (pp. 167–178). Florence: Firenze University Press. DOI: 10.36253/978-88-6453-521-0.

Bohme, M., Groger, A. & Stohr, T. (2019). Searching for a Better Life: Predicting International Migration with Online Search Keywords. *Journal of Development Economics*, 5, 1–32. DOI: 10.1016/j.jdevco.2019.04.002.

Bohon, S. A. (2018). Demography in the Big Data Revolution: Changing the Culture to Forge New Frontiers. *Population Research and Policy Review*, 37(3), 323–341. DOI: 10.1007/s11113-018-9464-6.

Burch, T. (2018). *Model-based demography. Essays on integrating data, technique and theory*. Zürich: Springer, 200. DOI: 10.1007/978-3-319-654331.

Chayko, M. (2018). *Superconnected*. London: SAGE, 272.

Chudinovskikh, O. S. (2018). Big data and statistics on migration. *Voprosy statistiki*, 25(2), 48–56. (In Russ.)

Dmitrieva, T. E. & Chuprova, I. A. (2019). Possibilities and limitations of the modern statistical base for the analysis of socio-economic development of the Arctic zone of the Russia. In: *Rol statistiki v sovremennom obshchestve i effektivnom upravlenii [The role of statistics in modern society and effective management]* (pp. 91–98). Syktyvkar: Komistat. (In Russ.)

Dyatlov, S. A., Lobanov, O. S. & Zhou, W. (2018). The Management of Regional Information Space in the Conditions of Digital Economy. *Ekonomika regiona [Economy of Region]*, 14(4), 1194–1206. DOI: 10.17059/2018-4-11. (In Russ.)

Fauzer, V. V. (2014). Demographic potential of the Russia's northern regions as a factor and condition of economic development of the Arctic. *Ekonomika regiona [Economy of Region]*, 4(40), 69–81. DOI: 10.17059/2014-4-5. (In Russ.)

Fedorov, A. M. & Datyev, I. O. (2019). Virtual population as a measure of digitalization in the regions. In: *Teoriya i praktika sistemnoy dinamiki [Theory and practice of system dynamics]* (pp. 159–164). Apatity: KNTs RAN publ. (In Russ.)

Ganichev, N. A. & Koshovets, O. B. (2019). Integrating Russia into the Global Project of Digital Transformation: Opportunities, Problems and Risks. *Problemy prognozirovaniya [Studies on Russian Economic Development]*, 6(177), 49–59. DOI: 10.1134/S1075700719060030. (In Russ.)

Grimshaw, M. (2017). Digital society and capitalism. *Palgrave Communications*, 3(1), 1–3. DOI: 10.1057/s41599-017-0020-5.

Hughes, C., Zagheni, E., Abel, G., Wisniowski, A., Sorichetta, A., Weber, I. & Tatem, A. J. (2016). *Inferring Migrations: Traditional Methods and New Approaches based on Mobile Phone, Social Media, and other Big Data*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 41. DOI: 10.2767/61617.

Ilyin, V. I. (2014). The anatomy of social success in geographic space. *Teleskop: zhurnal sotsiologicheskikh i marketingovykh issledovaniy [Telescope: journal of sociological and marketing research]*, 6, 29–33. (In Russ.)

Katzenbach, C. & Bächle, T. C. (2019). Defining concepts of the digital society. *Internet Policy Review*, 8(4), 1–6. DOI: 10.14763/2019.4.1430.

- Khazieva, N., Khaziev, A. & Klyushina, E. (2019). Digital Society: The Experience of the Philosophical Understanding of a Problem. *Journal of History Culture and Art Research*, 7(4), 347–353. DOI: 10.7596/taksad.v7i4.1856.
- Kitchin, R. (2014). Big Data, new epistemologies and paradigm shifts. *Big Data & Society*, 1(1), 1–12. DOI: 10.1177/2053951714528481.
- Kotyrló, E. (2019). Impact of Modern Information and Communication Tools on International Migration. *International Migration*, 58(4), 195–213. DOI: 10.1111/imig.12677.
- Lytkina, T. S. & Smirnov, A. V. (2019). The Russian North in the Context of Global Neoliberal Politics: Overcoming Spatial Inequality or Expulsion? *Mir Rossii [Universe of Russia]*, 3, 27–47. DOI: 10.17323/1811-038X-2019-28-3-27-47. (In Russ.)
- Makhrova, A. G., Medvedev, A. A. & Nefedova T. G. (2016). Gardening and dacha communities of urban dwellers in the rural settlement system. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya [Moscow University Bulletin. Series 5, Geography]*, 2, 64–74. (In Russ.)
- Matzner, T. & Ochs, C. (2019). Privacy. *Internet Policy Review*, 8(4), 1–14. DOI: 10.14763/2019.4.1427.
- Mkrtychyan, N. V. (2018). Regional Capitals and Their Suburbs in Russia: Net Migration Patterns. *Izvestiya RAN. Seriya Geograficheskaya*, 6, 26–38. DOI: 10.1134/S2587556618060110. (In Russ.)
- Piché, V. (2013). Contemporary Migration Theories as Reflected in their Founding Texts. *Population*, 68, 141–164. DOI: 10.3917/popu.1301.0153.
- Pyankova, A., Scherbakova, E. & Vasin, S. (2018). Population microcensuses in Russia: past, present and future. *Demograficheskoe obozrenie [Demographic Review]*, 5(2), 61–102. (In Russ.)
- Ruggles, S. (2014). Big Microdata for Population Research. *Demography*, 51(1), 287–297. DOI: 10.1007/s13524-013-0240-2.
- Scott, A. & Storper, M. (2014). The Nature of Cities: The Scope and Limits of Urban Theory. *International Journal of Urban and Regional Research*, 39(1), 1–15. DOI: 10.1111/1468-2427.12134.
- Weber, I. & State, B. (2017). Digital Demography. In: *Proceeding WWW '17 Companion* (pp. 935–939). Geneva: International WWW Conferences Steering Committee. DOI: 10.1145/3041021.3051104.
- Zagheni, E. (2017). *Data Science, Demography and Social Media Challenges and Opportunities*. CSE 491: Data Science and Society, 66. Retrieved from: <https://courses.cs.washington.edu/courses/cse491/17wi> (Date of access: 01.06.2020).
- Zamyatina, N. & Yashunsky, A. (2017). Migration cycles, social capital and networks. A new way to look at Arctic mobility. In: *New Mobilities and Social Changes in Russia's Arctic Regions* (pp. 59–84). London, New York: Routledge.
- Zamyatina, N. Yu. & Yashunsky, A. D. (2018). Virtual geography of virtual population. *Monitoring obshchestvennogo mneniya: Ekonomicheskie i sotsialnye peremeny [Monitoring of Public Opinion: Economic and Social Changes]*, 1, 117–137. DOI: 10.14515/monitoring.2018.1.07. (In Russ.)
- Zhuravleva, E. Yu. (2015). Sociology in digital environment: towards digital social research. *Sotsiologicheskie issledovaniya [Sociological Studies]*, 8, 25–33.
- Zubarevich, N. V. (2017). Russia's agglomerations development: trends, resources and governing. *Obshchestvennye nauki i sovremennost [Social Sciences and Contemporary World]*, 6, 5–21. (In Russ.)

### Информация об авторе

**Смирнов Андрей Владимирович** — кандидат экономических наук, старший научный сотрудник, Институт социально-экономических и энергетических проблем Севера ФИЦ Коми НЦ УрО РАН; Scopus Author ID: 57206892878; <https://orcid.org/0000-0001-6952-6834>; ResearcherID: N-8102-2017 (Российская Федерация, 167982, г. Сыктывкар, ГСП-2, ул. Коммунистическая, 26; e-mail: av.smirnov.ru@gmail.com).

### About the author

**Andrey V. Smirnov** — Cand. Sci. (Econ.), Senior Research Associate, Institute of Socioeconomic and Energy Problems of the North, Komi Science Centre of the Ural Branch of RAS; Scopus Author ID: 57206892878; <http://orcid.org/0000-0001-6952-6834>; Researcher ID: N-8102-2017 (26, Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, 167982, Russian Federation; e-mail: av.smirnov.ru@gmail.com).

Дата поступления рукописи: 06.07.2020.

Прошла рецензирование: 30.09.2020.

Принято решение о публикации: 24.12.2021.

Received: 06 Jul 2020.

Reviewed: 30 Sep 2020.

Accepted: 24 Dec 2021.