

Цифровая экономика

ТРАНСФОРМАЦИЯ ДЕМОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ: РОЛЬ БОЛЬШИХ ДАННЫХ И ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ НАСЕЛЕНИЯ

Статья рекомендована к публикации членом редакционного совета Т. К. Ростовской 01.04.2026.

Отмахова Юлия Сергеевна

Кандидат экономических наук

Центральный экономико-математический институт РАН, лаборатория компьютерного моделирования социально-экономических процессов, ведущий научный сотрудник

Москва, Российская Федерация

otmakhovajs@yandex.ru

Девяткин Дмитрий Алексеевич

Кандидат физико-математических наук

Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН, заведующий отделом интеллектуальных технологий и систем

Москва, Российская Федерация

devyatkin@isa.ru

Сушко Елена Давидовна

Кандидат экономических наук

Центральный экономико-математический институт РАН, лаборатория компьютерного моделирования социально-экономических процессов, ведущий научный сотрудник

Москва, Российская Федерация

sushko_e@mail.ru

Аннотация

В работе на основе проведенного анализа более 2,8 тысяч научных публикаций за период 2015–2025 гг. были определены ключевые аспекты трансформации современных демографических исследований: изменение типов данных для анализа (традиционные данные и цифровые следы) и проблемы их использования; появление новой области исследования «Цифровая демография»; расширенные возможности использования больших данных и цифровых двойников в демографических исследованиях. Предложена концептуальная модель цифрового двойника населения России, позволяющего оценить последствия выбора людьми различных видов репродуктивных стратегий в условиях реализации планируемых мер государственной поддержки, направленных на увеличение численности населения России. Полученные результаты исследования могут быть использованы при определении необходимых мер государственной поддержки института семьи с учетом возможностей современных информационных технологий в области сценарного моделирования демографических процессов, а также для повышения качества экспертизы при подготовке решений в социально-экономической сфере государственного управления.

Ключевые слова

цифровые технологии; демографические процессы, цифровой двойник, большие данные, цифровые следы, агент-ориентированное моделирование, репродуктивные стратегии, ценности

Введение

В России продолжается тенденция падения рождаемости, поэтому при формировании федеральной и региональной демографической политики обострилась проблема выделения приоритетов государственной поддержки семей в рамках ограниченных бюджетных средств в условиях СВО. Демографические прогнозы и сценарии, используемые в государственном

© Отмахова Ю. С., Девяткин Д. А., Сушко Е. Д. 2026

Производство и хостинг журнала «Информационное общество» осуществляется Институтом развития информационного общества.

Данная статья распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons «Атрибуция — Некоммерческое использование — На тех же условиях» Всемирная 4.0 (Creative Commons Attribution – NonCommercial - ShareAlike 4.0 International; CC BY-NC-SA 4.0). См. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/legalcode.ru>

https://doi.org/10.52605/16059921_2026_03_35

управлении, позволяют оценивать нагрузку на федеральный и региональный бюджет; планировать развитие регионов с учетом уровня миграционных потоков, неравномерного распределения населения и потребности в инфраструктуре; корректировать демографическую политику страны на базе эффективности различных мер по повышению рождаемости, снижению смертности, регулированию миграции; оценивать геополитические риски на основе происходящих демографических изменений в других странах с точки зрения влияния на международную безопасность и экономическое сотрудничество. В современных условиях рост сложности демографических процессов и потребность в гибких инструментах анализа обусловил появление новых технологий и инструментов в социально-демографических исследованиях.

В трансформации современных демографических исследований необходимо отметить роль таких прорывных цифровых технологий как анализ больших данных (Big Data), и технологии создания цифрового двойника (digital twin), которые позволяют анализировать данные, моделировать поведение населения и прогнозировать последствия решений в разных сферах.

В России применение цифровых технологий напрямую связано с целями программного документа цифровой трансформации России на 2025–2030 годы национального проекта «Экономика данных и цифровая трансформация государства».

Взрывной рост в России использования цифровых технологий с 2020 года, особенно в здравоохранения и демографии, позволяет говорить об возникновении новых цифровых источников больших данных о российском обществе, которые могут применяться в демографических исследованиях.

С 1 января 2026 года в России формируется единая цифровая «биография» граждан России, масштабная государственная информационная система «Единый реестр населения (ЕРН)», призванная объединить ключевые данные о человеке в разрезе 30 показателей.

В свою очередь Министерство труда и соцзащиты России анонсировало создание информационно-аналитической панели (дашборд) для мониторинга положения семей в России. Панель будет включать демографические показатели, региональные портреты и динамику потребностей семей. Данные предоставят Росстат, Минпросвещения, Минздрав, Дом.РФ, Роспотребнадзор, Центробанк и Центральный НИИ организации и информатизации здравоохранения.

Таким образом, в государственных и частных информационных системах происходит накопление значительного объема показателей о населении (по отдельным индивидам), что требует новых подходов и инструментов для анализа происходящих демографических изменений, а также обоснованных систем поддержки принятия решений для обеспечения эффективного ответа России на большие вызовы.

Целью данного исследования является выявление и систематизация ключевых аспектов трансформации современных демографических исследований под влиянием цифровизации и разработка концептуальной модели цифрового двойника населения России для оценки эффективности мер государственной поддержки рождаемости с пространственной детализацией.

В рамках поставленной цели исследования были выполнены следующие задачи: проведен анализ возможностей использования традиционных и новых цифровых источников больших данных для демографических исследований; определена роль цифровых двойников в создании динамических моделей населения с пространственной детализацией; выявлены и систематизированы ключевые аспекты трансформации современных демографических исследований; предложена концептуальная модель цифрового двойника населения России, воспроизводящая влияние различных социальных групп на репродуктивные установки населения России.

В настоящее время исследования возможностей и ограничений применения новых цифровых источников больших данных и цифровых двойников населения для демографических исследований приобретают особую актуальность и значимость для выявления подходов формирования новой цифровой модели России и мер государственной поддержки, направленных на увеличение численности населения России.

Информационная база и методы исследования

Для анализа научных статей и обзоров авторами использовалась публикации глобального публичного ресурса Dimensions.ai. В результате авторами исследования была сформирована информационная база документов на английском языке по тематике «Моделирование демографических процессов» релевантных научных документов за период 2011 - 2025 годы, которая включала 2,8 тыс. научно-технических документов. Для поиска научных публикаций при формировании научно-технологических ландшафтов, как правило, используются специализированные инструменты: Scopus, Web of Science, Dimensions.ai или РИНЦ (Российский индекс научного цитирования). Перечисленные инструменты (кроме РИНЦ) предоставляют доступ к метаданным англоязычных научно-технических документов из широкого спектра источников, среди которых публикации российских журналов представлены достаточно слабо. Для восполнения пробелов в данных о научных исследованиях российских авторов была создана информационная база на русском языке. Эта база включала коллекции открытых полнотекстовых документов российских научных журналов, сформированные с применением *российской интеллектуальной цифровой платформы агрегации и анализа научно-технической информации SciApp*¹, и использовалась для выделения научных заделов организаций-лидеров в области моделирования демографических процессов. Информационная база документов на русском языке включала 62 научные статьи, опубликованные в период с 2011 по 2025 годы.

В отличие от классических описательных подходов, наш метод объединяет наукометрию и вычислительный метаанализ: алгоритмы обработки больших данных позволяют анализировать миллионы публикаций, а статистические модели верифицируют гипотезы о развитии научных направлений. Вычислительный метаанализ включает алгоритмы текстовой аналитики и машинного обучения для систематизации и обобщения результатов множества исследований. Это даёт возможность не только описать, но и объяснить структурные изменения в тематике и методах исследований.

При разработке цифрового двойника населения России авторы использовали агент-ориентированное моделирование (АОМ), которое представляет собой перспективный методологический подход к созданию цифровых двойников социально-экономических систем. В рамках АОМ искусственное общество формируется как совокупность автономных агентов с заданными характеристиками и правилами поведения, взаимодействие которых воспроизводит макродинамику демографических процессов.

Основными преимуществами АОМ для построения цифровых двойников населения являются:

- Каждый агент моделирует отдельного индивида или домохозяйство с уникальным набором атрибутов (возраст, пол, образование, доход, место жительства, репродуктивные установки и т.д.), что позволяет воспроизвести реальную структуру населения и учитывать различия между социально-демографическими группами.
- Возможна имитация индивидуального принятия решений, которое задаются агентам через поведенческие правила, основанные на эмпирических данных (результаты опросов, статистика, принципы поведенческой экономики).
- В модели агенты взаимодействуют друг с другом, что позволяет изучать сложные нелинейные процессы, характерные для реальных демографических систем.
- Агентные модели могут включать географическую привязку к конкретным городам/регионам, учитываются локальные факторы (доступность школ, больниц, рабочих мест)
- Агенты могут менять свои характеристики и правила поведения со временем (взросление, обучение, адаптация к новым законам, изменение установок под влиянием СМИ или социальных сетей), что позволяет моделировать долгосрочные демографические процессы.
- Возможность интеграции разнородных данных в рамках АОМ.

Цифровой двойник на основе АОМ может стать инструментом для тестирования сценариев демографической политики.

¹ <https://ritech.ru/content/sciapp>

Результаты исследования

При разработке подхода к анализу для такой предметной области как демографические процессы, авторами работы были проанализированы наиболее полные и содержательные обзоры научных публикаций по тематике исследования за последние годы. На наш взгляд, исключительный интерес представляет научный обзор демографических моделей за 75 лет, выполненный исследователями из Оксфордского Университета, приуроченный к юбилею старейшего авторитетного журнала «Population Studies» (Демографические исследования). Авторы исследования [1] разработали специальные модули, которые извлекают данные из четырёх API-интерфейсов Scopus: поиска Scopus, получения аннотаций, PlumX Metrics и получения информации об авторах и провели кропотливый анализ всех статей (1901 научных документов) за исследуемый период. По результатам анализа основной областью исследований была рождаемость, за которой следовали смертность, семья, брак и миграция. Рождаемость зачастую изучалась в контексте снижения рождаемости, различий в показателях рождаемости, тенденций и возраста наступления фертильности. Брак изучался в основном в контексте возраста вступления в брак и в связи с рождаемостью. В топ-10 наиболее часто встречающихся ключевых слов вошли «фертильность» (83), «смертность» (46), «образование» (25), «Китай» (23), «брак» (23), «историческая демография» (22), «миграция» (19), «младенческая смертность» (18), «ожидаемая продолжительность жизни» (17) и «старение» (16).

В рамках нашей работы по результатам построения научного ландшафта по тематике «Моделирование демографических процессов» была проведена оценка публикационной активности, выделены направления исследований и ключевая лексика. Динамика публикационной активности по анализируемой тематике в разрезе различных видов публикаций представлена на Рис. 1. Необходимо отметить значительный всплеск интереса исследователей к построению и анализу демографических моделей в 2021-2022 годах.

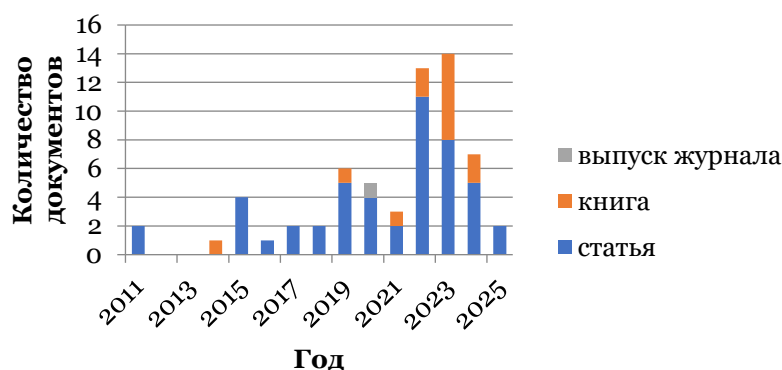


Рис. 1. Динамика публикационной активности отечественных исследовательских групп по тематике «демографические модели»

Ключевая лексика анализируемой тематики (Рис. 2) указывает на преобладание подходов агентного моделирования при построении демографических моделей. Детальная информация о направлениях проводимых исследований была получена с применением инструментов кластерного анализа (Рис. 3).



Рис. 2. Ключевая лексика (слова и словосочетания) по тематике «демографические модели»

В результате анализа основных направлений исследований выявлены группы работ, посвященных агент-ориентированному моделированию демографии регионов (ЦЭМИ РАН), созданию цифровых двойников населения (ЦЭМИ РАН и Северный Федеральный университет), динамическому моделированию демографической ситуации (МГУ им. М.В. Ломоносова).



Рис. 3. Ключевая лексика основных направлений исследований по тематике «демографические модели» в РФ. Красный – группа ЦЭМИ РАН, синий – МГУ им. М.В. Ломоносова, сиреневый – Северный Федеральный университет, зеленый – ВолНЦ РАН, Институт демографических исследований ФНИСЦ РАН

По результатам проведенного авторами анализа значительного объема публикаций по демографическим процессам были выделены ряд проблем и ограничений использования новых цифровых данных.

Проблемы использования новых цифровых данных

Первой проблемой является разнообразие форматов и объемов массивов данных, которые могут содержать миллионы записей, часто требует применения вычислительных методов для управления, извлечения и анализа данных, которые пока не являются частью стандартного обучения в области демографии. Исследователи отмечают в работе [6], что существующая система подготовки демографов не успевает адаптироваться к цифровой трансформации отрасли и требует включения в образовательные программы курсов по анализу больших данных, обучения работе с инструментами машинного обучения и геоинформационными системами; развития компетенций по интеграции разнородных цифровых источников.

Вторая проблема связана с отсутствием информированного согласия. Цифровые следы (геолокация, поисковые запросы, активность в социальных сетях) генерируются пользователями

определённых сервисов или технологий, которые не давали явного согласия на использование этих данных в исследовательских целях. Использование данных без явного согласия может привести к риску нарушения приватности и вероятностью идентификации индивидов в массивах, формально считающихся обезличенными, а также вызывает потребность в разработке прозрачных правил сбора и использования данных.

Третья проблема связана с предвзятостью и репрезентативностью данных. Несмотря на значительный рост использования цифровых технологий, существует вероятность того, что выборка будет смещена в сторону тех, кто использует определённые технологии, устройства или платформы, что ограничивает возможность экстраполяции этих источников данных на всю совокупность. Так, например, выборки могут быть смещены в сторону: активных пользователей конкретных платформ (молодёжь чаще представлена в социальных сетях и мессенджерах); обладателей определённых типов устройств (смартфоны или кнопочные телефоны); жителей урбанизированных территорий (более полное интернет-покрытие и более высокая скорость интернета). Цифровые данные подвержены специфическим ошибкам и искажениям, на них может влиять алгоритмическая предвзятость,

Четвертой серьёзной проблемой, на которой мы остановимся немного подробнее, является цифровое неравенство. Следует отметить, что проблема цифрового неравенства сохраняет свою актуальность, как на глобальном уровне, так и в рамках отдельных государств, в том числе в Российской Федерации. По данным Аналитического центра при Правительстве РФ, в 2025 году только 70% территории России охвачено стабильным высокоскоростным интернетом. Цифровое неравенство рассматривается не только через призму физической возможности подключения к цифровым ресурсам, но возможности получения цифровых навыков и информационной грамотности.

На наш взгляд можно выделить четыре основных уровня цифрового неравенства.

Уровень 1. Доступ к технологиям (базовый). Ключевой вопрос: «Есть ли у человека физическая возможность подключиться к цифровым ресурсам?» Данный уровень включает: наличие устройств (доступ к смартфонам, компьютерам, планшетам и другим гаджетам, позволяющим выходить в интернет); стабильное интернет-соединение с достаточной скоростью и надёжностью (мобильный интернет, Wi-Fi, проводной доступ); географическая доступность инфраструктуры (покрытие сети в месте проживания).

Уровень 2. Цифровые навыки (функциональный). Ключевой вопрос: «Умеет ли человек эффективно использовать имеющиеся технологии?». Даже при наличии устройств (смартфонов, компьютеров, планшетов) и доступа к стабильному интернет-соединению пользователи могут столкнуться с недостаточным уровнем компетенций в этой области: недостаточные навыки работы с устройствами и приложениями, отсутствие навыков использования цифровых сервисов (электронная почта, мессенджеры, госуслуги, банковские приложения) и навыков обеспечения цифровой безопасности (защита паролей, безопасное поведение в сети).

Уровень 3. Информационная грамотность и продуктивное использование (стратегический). Ключевой вопрос: «Способен ли человек использовать цифровые ресурсы для достижения значимых жизненных целей?». Этот уровень определяет, насколько человек способен извлекать реальную пользу из цифровых ресурсов, а именно умение формулировать запросы, фильтровать результаты, находить достоверные источники; критическая оценка информации в сети (способность отличать факты от мнений, распознавать дезинформацию, проверять данные); использование цифровых ресурсов для образования, работы, саморазвития, принятия решений.

Уровень 4. Институциональное цифровое неравенство (системный). Этот уровень отражает неравенство, формируемое на уровне правил, алгоритмов и политик крупных цифровых платформ и регуляторов и влияет на все предыдущие уровни через скрытые механизмы. Ключевой вопрос на данном уровне цифрового неравенства можно выразить как «Имеют ли люди равные возможности в цифровой среде с учётом правил, установленных платформами и регуляторами?». В качестве примеров можно привести алгоритмическую дискриминацию (алгоритмы рекомендаций могут ограничивать доступ к информации или возможностям на основе геолокации, половой принадлежности или истории поиска), проводимую политику конкретной платформы (правила модерации, монетизации, ранжирования контента по-разному влияют на пользователей из разных регионов и социальных групп) и другие.

В рамках данного исследования на рисунке 4 авторами представлен алгоритм взаимодействия между уровнями цифрового неравенства и возможности его преодоления посредством участия в государственных программах.

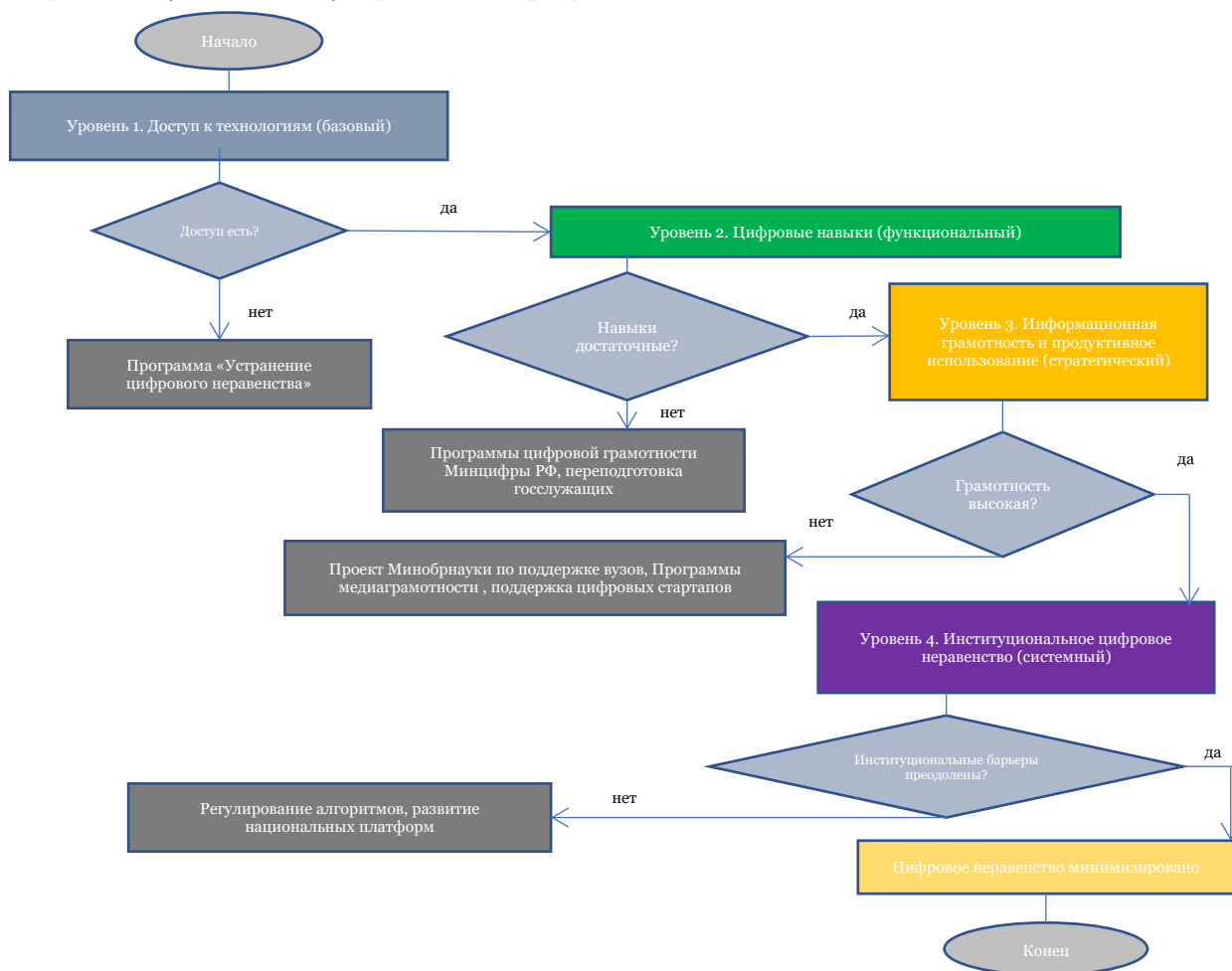


Рис. 4. Алгоритм взаимодействия между уровнями цифрового неравенства

Уровни цифрового неравенства образуют иерархическую систему, где каждый последующий уровень зависит от преодоления барьеров предыдущего. В России действуют различные программы, направленные на нивелирование цифрового неравенства: Программа Минцифры «Устранение цифрового неравенства» (УЦН) в России, Программы цифровой грамотности в России, Программы по медиаграмотности и критическому мышлению, реализуемые в школах и вузах; Льготные тарифы для социально незащищённых групп; развитие инфраструктуры общественных точек доступа (библиотеки, МФЦ, коворкинги). Цифровое неравенство создаёт системные искажения в данных, используемых для демографических исследований. Без учёта всех уровней неравенства (от доступа к технологиям до алгоритмических барьеров) цифровые данные будут оставаться неполными и необъективными, а демографические прогнозы могут быть ошибочными, что может привести к неэффективным решениям.

В результате проведенного анализа публикаций авторами были выявлены ключевые аспекты происходящей трансформации демографических исследований в условиях появления новых типов данных, методов и моделей, используемых для их изучения.

Основные аспекты трансформации демографических исследований

1. Изменение типов данных для проведения демографических исследований (традиционные данные и цифровые следы).

За последние годы глобальная цифровизация благодаря развитию мобильных технологий, распространению интернета и цифровых сервисов привела к фундаментальным изменениям в структуре, объёме и способах получения демографических данных. С 2000 года идет взрывной

рост общедоступности записей индивидуального уровня из "старых" источников больших данных, которые традиционно использовались в демографических исследованиях, такие как переписи населения, опросы и системы регистрации актов гражданского состояния, отмечается с 2000 года. В работе [2] показано, что произошел резкий рост доступности больших микроданных для демографических исследований, при этом если в 2000 году исследовательскому сообществу было доступно около 100 миллионов записей данных на уровне индивида, то к 2018 году этот показатель по оценкам превышает 2 миллиарда и охватывает более 100 стран. Доступность крупномасштабных, даже полностью переписных оцифрованных выборок, обеспечили новые технологии в области хранения, обработки и извлечения больших данных, которые обеспечила цифровая революция.

В связи с цифровизацией появился новый тип данных, включающий данные о деятельности, взаимодействии и поведении людей, так называемые «цифровые следы» (digital footprints/traces). Накопление большого объема цифровых следов происходит как в результате стремительного распространения интернета и мобильных технологий в жизни общества, так и вследствие того, различные типы информации, в том числе о нецифровых или офлайн-процессах, стали храниться в цифровом виде как цифровые записи о деятельности людей.

Таким образом, все цифровые пространства, связанные с электронной почтой, Интернет-поисковиками, социальными сетями, приложениями в мобильном телефоне приводят к появлению огромных объемов цифровых записей и потоков данных, которые регулярно собираются и являются неотъемлемой частью бизнес-моделей частных компаний, предоставляющих услуги мобильной связи и цифровыми сервисами. Все способствовало созданию хранилищ для давно существующих источников данных о населении, в том числе для баз данных оцифрованных бумажных документов, например результатов исторических переписей населения.

2. Появление новой области исследования «Цифровая демография».

В последние годы все чаще используются цифровые источники данных для исследований в области демографии или с применением демографических подходов, что открывает путь к развитию **цифровой демографии** [3]. Исследователи сходятся к тому, что цифровая демография является новой областью исследований, изучающая демографические процессы с использованием новых цифровых технологий и источников данных, возникших в результате распространения интернета и цифровизации общества. О росте интереса в мире к этой области знаний свидетельствует регулярное проведение секций, посвященных большим данным, на международных конференциях по демографии, а также создание специальных комиссий Международного союза по научным исследованиям в области народонаселения (IUSSP): «Большие данные и демографические процессы» (2015–2018) и «Цифровая демография» (2018–2021) [4], а также устойчивый рост публикационной активности в мире (Рис. 5): в период с 2011 по 2025 годы было опубликовано более 2,8 тыс. публикаций по этой теме. Необходимо отметить, что лишь небольшая часть таких исследований в рамках этой перспективной области знаний публикуется в демографических журналах, а основная часть представлена в рецензируемых сборниках материалов конференций по компьютерным наукам по таким активно развивающимся направлениям, как социальные вычисления, вычислительные социальные науки и социальная информатика [5].

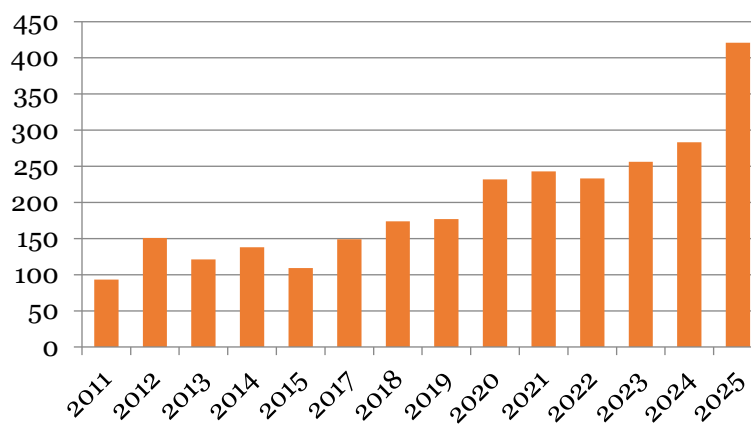


Рис. 5. Динамика публикационной активности в мире по тематике «цифровая демография» по данным *Dimensions.ai*

В последние годы тема демографии в контексте развития искусственного интеллекта выходит на первый план и в российской общественной и научной повестке. Значимым шагом в развитии этого направления стало создание в Московском государственном университете имени М. В. Ломоносова (МГУ) межфакультетского онлайн-курса «Цифровая демография», также в МГУ регулярно проходят круглые столы и дискуссии, посвящённые цифровой демографии.

Важной вехой стало проведение 20 ноября 2025 года Парламентских слушаний Комитета по защите семьи, вопросам отцовства, материнства и детства на тему «Демографические вызовы и искусственный интеллект». Масштаб мероприятия подчеркнул актуальность темы: в обсуждении приняли участие депутаты Государственной думы, заместители министров здравоохранения, культуры и цифрового развития, директор департамента демографической и семейной политики Министерства труда и социальной защиты РФ, а также ведущие эксперты и учёные из Аналитического центра Москвы, МГУ имени М. В. Ломоносова, Российской академии наук и других авторитетных организаций. Ключевыми вопросами слушаний стали влияние технологий искусственного интеллекта на жизнь современной семьи, трансформация ценностных ориентиров молодого поколения и новые типы моделей для демографического прогнозирования. Авторы данной работы принимали в этих обсуждениях активное участие.

Таким образом, впервые произошел переход тематики цифровой демографии с уровня академических исследований на уровень формирования государственной политики, что наглядно демонстрирует особую значимость дальнейшего развития этой перспективной научной области. При этом важно понимать сложности и особенности использования новых цифровых данных.

3. Изменение тематик демографических исследований с использованием цифровых данных о поведении пользователей.

Первое направление связано с изучением того, как можно использовать цифровые данные о поведении пользователей для оценки демографических показателей и процессов, а также для понимания контекста и паттернов демографического поведения, где сбор подобных данных может быть затруднен. Так, агрегированные поисковые запросы в Google можно рассматривать, как косвенный показатель намерения завести детей и использовались в исследованиях [7] для прогнозирования рождаемости. В работе [8] представлен алгоритм оперативной оценки перспективной динамики рождаемости на основе оценки взаимных корреляций между данными государственной статистики и цифровым следом пользователей.

Второе направление использование цифровых данных с определением портрета пользователя, который пользуется интернетом, а также для понимания демографического поведения (например, в сфере знакомств и поиска партнера) в цифровом пространстве. Онлайн-панели и сбор данных в рамках опросов через социальные сети значительно расширился в виду их экономичности.

Зачастую цифровые следы уже существуют и нуждаются в адаптации для других целей, при этом возможна и реализация перспективной стратегии объединения различных типов данных. Сочетание цифровых следов с крупномасштабными опросами и административными данными повышает точность краткосрочного прогнозирования, поскольку цифровые данные дополняют, а не заменяют традиционные источники. Цифровые следы особенно ценны в изучении чувствительного поведения и скрытых настроений. Так, поисковые запросы фиксируют реальное поведение в вопросах абортов [9], а анализ настроений в социальных сетях указывает на проблемы и неочевидные аспекты родительства [10].

Несмотря на то, что теоретические концепции репродуктивного поведения и демографических переходов акцентируют значимость социальных сетей как канала социального обучения и распространения информации, эмпирическая база для изучения данных процессов в рамках существующих многоцелевых опросов характеризуется существенной ограниченностью.

Тем временем в отсутствие эмпирических данных для изучения влияния социальных сетей на демографические процессы используются агент-ориентированные имитационные модели, например, при изучении репродуктивного поведения, браков и миграции. В более широком смысле агентное моделирование открывает новые возможности для интеграции механизмов социального обучения и механизмов обратной связи, а также для проверки следствий теорий микроуровня на макроуровне и интеграции различных типов данных [11, 12]. В последнее

десятилетие развивается «системный» подход к демографическому моделированию [13], при этом потенциал агент-ориентированного моделирования еще не реализован в полной мере. Агент-ориентированное моделирование представляет собой мощный инструмент для создания виртуальных аналогов сложных социальных систем, так называемых цифровых двойников. В рамках этого подхода моделируется поведение отдельных агентов (индивидов или домохозяйств) с заданными характеристиками и правилами взаимодействия. Совокупность таких агентов формирует искусственное общество, которое воспроизводит ключевые закономерности реальной социально-экономической системы, а цифровой двойник позволяет на базе виртуальной площадки проводить экспериментальные расчеты по выбранным сценариям демографической политики и прогнозировать последствия управленческих решений.

В этих условиях разработки российских исследователей в работах [14, 15] демонстрируют возможности агент-ориентированного моделирования для создания крупномасштабных демографических моделей на уровне страны. Приведенные выше исследования показали, что агент-ориентированные модели позволяют учитывать сложную структуру населения, моделировать разнородные стратегии поведения и воспроизводить нелинейные эффекты, характерные для реальных демографических процессов. Таким образом, разработка подобных моделей становится одним из ключевых направлений в создании цифрового двойника населения страны.

Концепция цифрового двойника - демографической модели России с группами влияния на установки агентов-людей

Исходными условиями при разработке в рамках данной работы концепции демографической модели послужила тревожная демографическая ситуация в России. Так, суммарный коэффициент рождаемости (среднее число рождаемых одной женщиной детей, СКР) в 2025 году составил 1,374 ребенка на одну женщину при том, что для простого воспроизводства необходим минимум в 2,1. С учетом того, что сейчас в репродуктивный возраст вошли малочисленные поколения 1990-х и начала 2000-х годов, для преломления тревожной тенденции депопуляции необходимо существенное увеличение СКР, которое может быть достигнуто только при увеличении доли многодетных семей. При этом проведенное в десяти регионах России масштабное социологическое исследование демографического поведения населения «Демографическое самочувствие России» показало, что пик желаемого числа детей в семье – 41,3% от числа опрошенных – приходится на двоих детей, троих желают иметь 25,8%, а пять и более – только 3,8% [16]. Отдельный блок данного исследования посвящен необходимым мерам социальной помощи и поддержки. В рамках проводимой семейной и демографической политики, как федеральные власти, так и власти регионов приняли ряд экономических мер, направленных на увеличение рождаемости, а также рассматривают множество инициатив, направленных на экономическую и социальную поддержку семей, особенно многодетных. Источником таких инициатив служат, в том числе, пожелания, высказываемые людьми.

Для предварительной оценки результативности тех или иных мер поддержки семей необходим современный модельный инструментарий, которым может стать агент-ориентированная демографическая модель (АОМ) России, в которой будет имитироваться принятие людьми решения о рождении детей. Очевидно, что явным ограничителем рождаемости при такой имитации служит желаемое число детей в семье. Поэтому кроме экономических и социальных мер поддержки надо еще принимать меры, направленные на изменение соответствующих установок людей.

В работе [17], выполненной в рамках первого этапа данного Проекта, предложена общая концепция агент-ориентированной модели, в которой имитируется влияние различных общественных групп на ценностные установки, восприятие действительности и способ действия агентов-людей модели. Концепция предусматривает наличие, как у агентов-людей, так и у агентов-групп влияния (различные сообщества агентов-людей, связанные со своими членами семейными узами и/или общими личными или профессиональными интересами, или же интересами общего места проживания) множества установок и норм, которые определяют восприятие агентами-людьми окружающей их действительности и своего положения в ней, влияют на выбор ими жизненных целей и, в конечном счете, на их поведение. То есть, речь идет о конструировании способов правдоподобной имитации в ходе компьютерного эксперимента

эндогенного изменения установок и норм агентов-людей под влиянием их окружения. Такая структура среды агентов-людей в модели соответствует классу SNPn -моделей (Social Norm Promotion with n Influential Groups) – агент-ориентированных моделей поощрения социальных норм с n группами влияния, где $n \geq 4$ [18]. Влияние оказывается группами через распространение информации («пропаганду»), но значимость этих групп и значимость собственного опыта, так же, как и в жизни, различается у разных агентов. Так, социологическое исследование, проведенное Фондом «Общественное мнение» (ФОМ) в 53 регионах России в феврале 2023 года², выявило ярко выраженную зависимость выбора доверенных источников информации от возраста опрошенных. Например, если для возрастной группы 18-30 лет наиболее значимыми источниками информации являются: 1) новостные сайты в интернете (35%); 2) форумы, блоги, сайты социальных сетей (27,5%) и 3) телевидение (20%), то для более старших возрастных групп значение новостных сайтов и социальных сетей ожидаемо убывало, а значение традиционных СМИ возрастало. В итоге для возрастной группы старше 60 лет получилось: 1) новостные сайты в интернете (13,7%); 2) форумы, блоги, сайты социальных сетей (4,6%) и 3) телевидение (56,9%). Соответственно, и влияние на людей из разных возрастных когорт оказывают разные источники информации и использующие их разные социальные группы-акторы. При этом, поскольку опрос проводился среди взрослых людей, в качестве источника информации не вошла система образования, транслирующая ценности государства как представителя России в целом, а также региональные ценности и традиции и охватывающая все население моложе 18-ти лет. Очевидно также, что значительно более весомым источником информации для этой возрастной категории является семья и разговоры с родственниками.

Подобную конструкцию логично использовать и при создании демографической АОМ России. При этом базой для реализации предлагаемой конструкции АОМ может послужить разработанная ранее авторами демографическая модель России [19]. Таким образом, предлагаемый цифровой двойник населения будет представлять собой большую демографическую АОМ России, которая будет предназначена для апробации различных мер государственной демографической политики и будет учитывать влияние различных социальных групп на поведение (в данном случае, репродуктивное) агентов-людей.

Для достижения поставленной цели следует в первую очередь определить, какие свойства необходимо добавить агентам-людям по сравнению с базовой моделью, как должна быть структурирована среда агентов, а также какими параметрами должен быть снабжен интерфейс модели для постановки соответствующих экспериментов. При этом под параметрами мы будем понимать определенные программные конструкции, названные в базовой модели «проектами», в которых указываются такие характеристики управленческих мер как: собственно вводимая мера/льгота, условия ее получения, сроки начала (и окончания) действия льготы и т.д.

Так, структура среды агентов должна включать группы влияния, рассмотренные в исследовании (Фонд), плюс систему образования для информирования агентов моложе 18 лет:

- Система образования;
- Традиционные СМИ, в т. ч.:
 - Телевидение;
 - Радио;
 - Печатная пресса (газеты, журналы);
- Новостные сайты в интернете;
- Форумы, блоги, сайты социальных сетей;
- Разговоры с родственниками, друзьями, знакомыми.

Каждая группа влияния также снабжается векторами установок и норм, присущих ее членам и пропагандируемых ими.

Интерфейс модели, настроенный на постановку нужных для выбора демографической политики экспериментов, должен состоять из двух блоков – блока, содержащего средства ввода параметров эксперимента (в виде «проектов» разных типов) и блока представления его результатов в наглядном и удобном для анализа виде. Так как выяснилось, что информированность населения о мерах государственной семейной политики, действующих в их регионах, находится на уровне 2,6 по пятибалльной шкале [16], то при планировании экспериментов с моделью следует обеспечить для вводимых мер поддержки их информационное

² Фонд общественного мнения. <https://fom.ru/SMI-i-internet/14835>

сопровождение с учетом значимости различных источников информации для целевой аудитории. Кроме того, для имитации влияния на установки и нормы необходимо ввести в модель новый тип параметров – меры пропаганды, включающие выбор средств ее ведения.

В результате получаем следующий список мер управления («проектов»):

- Меры экономической поддержки;
- Меры социальной поддержки;
- Информационная кампания;
- Пропаганда ценностей (установок);
- Пропаганда новых норм.

Входные параметры интерфейса должны быть настроены на выбор мер демографической политики, а средства анализа результатов модельных экспериментов необходимо связать с критериями оценки эффективности апробируемых в экспериментах мер. Таким образом, к традиционным отслеживаемым демографическим показателям, включающим СКР и распределение рождений по возрасту матери, на наш взгляд, необходимо добавить расчет и агрегирование по возрастным когортам следующих показателей:

- Распределение желаемого числа детей в семье;
- Число рождений на 1000 человек.

Рассмотрим подробнее необходимые изменения в устройстве агентов-людей. К общим характеристикам агентов (пол, возраст, регион, семейные связи и др.) необходимо добавить вектора установок, задающих жизненные приоритеты агентов и соответствующих им нормы, а также списки групп, в которые агенты входят с указанием их индивидуальной значимости. Первой установкой в модели следует принять присущее каждому человеку стремление иметь детей, а в качестве соответствующей общественно поощряемой социальной нормы – число желаемых детей в семье. Конкурирующей по значимости группой установок является стремление агентов-людей к достижениям в общественной жизни, таким как положение в обществе (карьера), уровень жизни (доход), творческая самореализация (личностный рост).

Имитация пересмотра агентами установок и норм под влиянием окружения и обстоятельств в модели будет осуществляться на каждом шаге имитации (шаг соответствует одному году) в соответствии с теорией функциональных систем П. Л. Анохина [20] – систем, которых сам П. Л. Анохин определял как логическую модель искусственного интеллекта. На рисунке 6 представлена схема постановки экспериментов с создаваемой АОМ, где показаны механизмы влияния на установки и нормы агентов различных групп и алгоритм действий агентов. На схеме подчеркнута, что агенты должны получать информацию о вводимых параметрах (мерах) из важных для них источников для того, чтобы эти меры могли повлиять на их установки и нормы (процедура актуализации). Выше мы представили все элементы поведенческого акта из теории функциональных систем П.Л. Анохина, за исключением пускового стимула. Речь идет о процедуре выбора на конкретном шаге между рождением ребенка или же работы над укреплением своего благополучия. Фактически, агент должен решать многокритериальную задачу с учетом значимости для него той или иной установки. Здесь следует отметить особенность функциональных систем по П.К. Анохину: формирование поведенческого акта происходит не путем «взвешивания» различных вариантов, а на основе доминирующей в данный момент эмоции или мотивации [20].

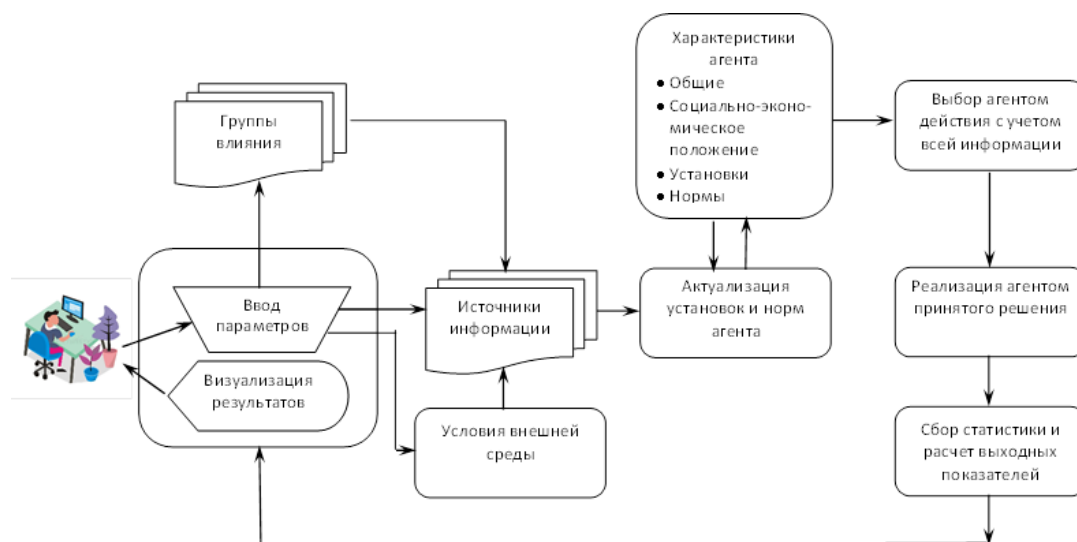


Рис. 6. Общая схема постановки экспериментов с демографической АОМ России, учитывающей установки и нормы людей, и влияние на них различных групп

Заключение

Несмотря на то, что многие ключевые вопросы исследований в области демографии, такие как снижение рождаемости, репродуктивное поведение, увеличение продолжительности жизни и старение населения остались неизменными за анализируемый период 2015-2025 гг. типы данных, методы и модели, используемые для их изучения, претерпели значительные изменения.

Анализ публикаций по моделированию демографических процессов демонстрирует отчётливую тенденцию к междисциплинарным исследованиям, объединяющим методы демографии, компьютерных наук, медицины, экономики и поведенческих исследований. В результате проведенного анализа были получены ключевые аспекты трансформации демографических исследований: изменение типов данных для анализа (традиционные данные и цифровые следы); изменение тематик исследования; появление новой области исследования «Цифровая демография»; расширенные возможности использования больших данных и цифровых двойников в демографических исследованиях; изменение методов прогнозирования.

В результате проведенного исследования авторами была сформирована коллекция (информационная база документов) в области моделирования демографических процессов, включающая более 2,2 тысяч полнотекстовых научно-технических документов (публикации, авторефераты диссертаций) за период 2015–2025 гг. На основе использования современных способов и технологий извлечения информации, семантического поиска и обработки полных текстов авторами был построен публикационный ландшафт по данной тематике.

В современной парадигме демографических исследований наблюдается переход к использованию цифровых данных и усовершенствованных моделей прогнозирования, а интеграция с агент-ориентированным моделированием открывает перспективы для детализации поведенческих паттернов населения и повышения точности прогнозов. Значительно расширение доступных источников данных открыло новые возможности для проведения демографических исследований. Так, на макроуровне выявление эмпирических закономерностей в популяциях становится возможным с помощью методов машинного обучения (применяемых к микроданным переписей и крупномасштабных опросов, цифровых данных); на микроуровне изучение индивидуальных паттернов поведения через анализ цифровых следов. При этом интеграция различных типов данных и разработка обоснованных агент-ориентированных моделей, в которых население рассматривается как система, открывают новые возможности для интеграции микро- и макроуровневой анализа в демографических исследованиях.

В работе представлен цифровой двойник населения - крупномасштабная агент-ориентированная модель России, воспроизводящая влияние различных социальных групп (СМИ, соцсети, семья, образование и др.) на репродуктивные установки агентов-людей. Модель расширяет класс SNPN моделей и базируется на реальных данных социологических исследований. Модель может быть использована для оценки эффективности экономических и социальных мер

поддержки семей; моделирования воздействия информационных кампаний и пропаганды ценностей; прогнозирования СКР и распределения рождений по возрастам; для подбора оптимального сочетания мер для целевых возрастных групп.

Полученные результаты исследования могут быть использованы при определении необходимых мер государственной поддержки института семьи с учетом возможностей современных информационных технологий в области сценарного моделирования демографических процессов и повышения качества экспертизы для принятия эффективных решений в социально-экономической сфере государственного управления.

Благодарности

Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках проекта № 075-15-2024-525 от 23.04.2024.

Литература

1. Merli M. G., Moody J., Verdery A., Yacoub M. Demography's changing intellectual landscape: A bibliometric analysis of the leading anglophone journals, 1950–2020 // *Demography*. – 2023. – Vol. 60. – No. 3. – P. 865-890.
2. Ruggles S. Big microdata for population research // *Demography*. – 2014. – Vol. 51. – No. 1. – P. 287-297. Cesare N., Lee H., McCormick T., Spiro E., Zagheni E. Promises and pitfalls of using digital traces for demographic research // *Demography*. – 2018. – Vol. 55. – No. 5. – P. 1979-1999.
3. USSP 2021. Доступ: <https://iussp.org/en/panel/digitaldemography>.
4. Kashyap R. Has demography witnessed a data revolution? Promises and pitfalls of a changing data ecosystem // *Population Studies*. – 2021. – Vol. 75. – №. sup1. – P. 47-75., DOI: 10.1080/00324728.2021.1969031.
5. Ростовская Т. К., Шабунова А. А., Рычихина Н. С. Профессиональный стандарт «Демограф»: от квалификации специалистов к эффективным решениям в области демографии // *Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз*. – 2025. – Т. 18. – №. 1. – С. 66-79. – DOI 10.15838/esc.2025.1.97.3
6. Wilde J., Chen W., Lohmann S. COVID-19 and the future of US fertility: what can we learn from Google?. – *IZA Discussion Papers*, 2020. – №. 13776.
7. Калабихина И. Е., Банин Е. П., Абдуселимова И. А., и др. Краткосрочное прогнозирование демографических тенденций на основе данных Google trends // *Прикладная информатика*. – 2020. – Т. 15. – №. 6. – С. 91-118.
8. Leone T., Coast E., Correa S., Wenham C. Web-based searching for abortion information during health emergencies: A case study of Brazil during the 2015/2016 Zika Outbreak // *Sexual and Reproductive Health Matters*. – 2021. – Vol. 29. – No. 1. – P. 133-145.
9. Mencarini, Letizia, Delia Irazú Hernández-Farías, Mirko Lai, Viviana Patti, Emilio Sulis, and Daniele Vignoli. 2019. Happy parents' tweets: An exploration of Italian Twitter data using sentiment analysis // *Demographic Research* – 2019. – Vol. 40. – P. 693-724., DOI: 10.4054/DemRes.2019.40.25.
10. Kashyap R., Villavicencio F. The dynamics of son preference, technology diffusion, and fertility decline underlying distorted sex ratios at birth: A simulation approach // *Demography*. – 2016. – Vol. 53. – No. 5. – P. 1261-1281.
11. Willekens F., Bijak J., Klabunde A., Prskawetz A. The science of choice: an introduction // *Population Studies*. – 2017. – Vol. 71(sup1). – P. 1-13., DOI: 10.1080/00324728.2017.1376921.
12. Courgeau D., Bijak J., Franck R., Silverman E. Model-based demography: Towards a research agenda // *Agent-based modelling in population studies: Concepts, methods, and applications*. – 2016. – P. 29-51.
13. Макаров В. Л., Нигматулин Р. И., Ильин Н. И. [и др.] Цифровой двойник (искусственное общество) социально-экономической системы России-платформа для экспериментов в сфере управления демографическими процессами // *Экономические стратегии*. – 2022. – Т. 24. – №. 2 (182). – С. 6-18. – DOI: 10.33917/es-2.182.2022.6-1.
14. Бахтизин А. Р., Макаров В. Л., Сушко Е. Д., Максаков А. А. Демографическая агент-ориентированная модель России и оценка ее применимости для решения практических управленческих задач // *Искусственные общества*. – 2021. – Т. 16. – №. 2. – С. 1-12.

15. Шабунова А.А., Ростовская Т.К. О необходимости разработки модели оптимальных условий для формирования и реализации демографических установок // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. – 2020. – Т. 13. – № 4. – С. 38–57. – DOI: 10.15838/esc.2020.4.70.2.
16. Сушко Е. Д. Имитация влияния памяти на восприятие и поведение людей в рамках агент-ориентированной модели как искусственного общества: постановка задачи // Искусственные общества. – 2024. – Т. 19. – № 4. DOI: 10.18254/S207751800033372-8.
17. Bloomquist К.М. A comparison of agent-based models of income tax evasion // Social Science Computer Review. 2006. Vol. 24. N 4. P. 411-425.
18. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д., Сушко Г.Б. Создание суперкомпьютерной имитации общества с активными агентами разных типов и её апробация // Вестник Российской академии наук, 2022. Том 92, № 5. С. 458-466. DOI: 10.31857/S0869587322050115.
19. Анохин П.К. Избранные труды: Кибернетика функциональных систем. – М.: Медицина. 1998. – 400 с.

TRANSFORMATION OF DEMOGRAPHIC RESEARCH: THE ROLE OF BIG DATA AND POPULATION DIGITAL TWINS

Otmakhova, Yulia Sergeevna

Ph. D. in economics

*Central Economic and Mathematics Institute RAS, Laboratory of computer modeling of socio-economic processes, leading researcher
Moscow, Russian Federation
otmakhovajs@yandex.ru*

Devyatkin, Dmitry Alexeevich

Ph. D. in computer science

*Federal Research Center "Computer Science and Control" RAS, Department of intelligent technologies and systems, head of laboratory
Moscow, Russian Federation
devyatkin@isa.ru*

Sushko, Elena Davidovna

Ph. D. in economics

*Central Economic and Mathematics Institute RAS, Laboratory of computer modeling of socio-economic processes, leading researcher.
Moscow, Russian Federation
sushko_e@mail.ru*

Abstract

The paper analyses more than 2,800 scientific publications for the period 2015-2025 to identify key aspects of the modern demographic research transformation. These aspects include changing data types for analysis (traditional data and digital traces), the challenges in their use, and the emergence of a new "Digital Demography" research field. The paper also discusses the expanded opportunities with big data and digital twins in demographic research. Besides, we propose a conceptual model of a digital twin of the Russian population. The model considers the planned state support measures aimed at increasing the Russian population. Namely, it can model the consequences of various reproductive strategies in the case of those measures. The study's results can be used to determine the necessary measures of state support for the institution of the family, considering the capabilities of modern information technologies in scenario modeling of demographic processes, as well as to enhance the quality of expertise in decision support for public administration to solve social and economic problems.

Keywords

digital technologies; demographic processes, digital twin, big data, digital footprints, agent-based modeling, reproductive strategies, values

References

1. Merli M. G., Moody J., Verdery A., Yacoub M. Demography's changing intellectual landscape: A bibliometric analysis of the leading anglophone journals, 1950-2020 //Demography. – 2023. – Vol. 60. – No. 3. – P. 865-890.
2. Ruggles S. Big microdata for population research //Demography. – 2014. – Vol. 51. – No. 1. – P. 287-297.
3. Cesare N., Lee H., McCormick T., Spiro E., Zagheni E. Promises and pitfalls of using digital traces for demographic research //Demography. – 2018. – Vol. 55. – No. 5. – P. 1979-1999.
4. USSP 2021. Available at: <https://iussp.org/en/panel/digitaldemography>.
5. Kashyap R. Has demography witnessed a data revolution? Promises and pitfalls of a changing data ecosystem //Population Studies. – 2021. – Vol. 75. – №. sup1. – P. 47-75., DOI: 10.1080/00324728.2021.1969031.
6. Rostovskaya T. K., Shabunova A. A., Rychikhina N. S. Professional'nyj standart «Demograf»: ot kvalifikacii specialistov k jeffektivnym reshenijam v oblasti demografii //Jekonomicheskie i

- social'nye peremeny: fakty, tendencii, prognoz. – 2025. – Vol. 18. – No. 1. – pp. 66-79. – DOI 10.15838/esc.2025.1.97.3 (in Russian).
7. Wilde J., Chen W., Lohmann S. COVID-19 and the future of US fertility: what can we learn from Google?. – IZA Discussion Papers, 2020. – No. 13776.
 8. Kalabihina I. E., Banin E. P., Abduselimova I. A., i dr. Kratkosrochnoe prognozirovanie demograficheskikh tendencij na osnove dannyh Google trends //Prikladnaja informatika. – 2020. – Vol. 15. – No. 6. – pp. 91-118 (in Russian).
 9. Leone T., Coast E., Correa S., Wenham C. Web-based searching for abortion information during health emergencies: A case study of Brazil during the 2015/2016 Zika Outbreak //Sexual and Reproductive Health Matters. – 2021. – Vol. 29. – No. 1. – P. 133-145.
 10. Mencarini, Letizia, Delia Irazú Hernández-Farías, Mirko Lai, Viviana Patti, Emilio Sulis, and Daniele Vignoli. 2019. Happy parents' tweets: An exploration of Italian Twitter data using sentiment analysis // Demographic Research – 2019. – Vol. 40. – P. 693-724., DOI: 10.4054/DemRes.2019.40.25.
 11. Kashyap R., Villavicencio F. The dynamics of son preference, technology diffusion, and fertility decline underlying distorted sex ratios at birth: A simulation approach //Demography. – 2016. – Vol. 53. – No. 5. – P. 1261-1281.
 12. Willekens F., Bijak J., Klabunde A., Prskawetz A. The science of choice: an introduction //Population Studies. – 2017. – Vol. 71(sup1). – P. 1-13., DOI: 10.1080/00324728.2017.1376921.
 13. Courgeau D., Bijak J., Franck R., Silverman E. Model-based demography: Towards a research agenda //Agent-based modelling in population studies: Concepts, methods, and applications. – 2016. – P. 29-51.
 14. Makarov V. L., Nigmatulin R. I., Il'in N. I. [et al.] Cifrovoj dvojniki (iskusstvennoe obshhestvo) social'no-jekonomicheskoy sistemy Rossii-platfoma dlja jeksperimentov v sfere upravlenija demograficheskimi processami //Jekonomicheskie strategii. – 2022. – Vol. 24. – No. 2 (182). – pp. 6-18. – DOI: 10.33917/es-2.182.2022.6-1 (in Russian).
 15. Bahtizin A. R., Makarov V. L., Sushko E. D., Maksakov A. A. Demograficheskaja agent-orientirovannaja model' Rossii i ocenka ee primenimosti dlja reshenija prakticheskikh upravlencheskikh zadach //Iskusstvennye obshhestva. – 2021. – Vol. 16. – No. 2. – pp. 1-12 (in Russian).
 16. Shabunova A.A., Rostovskaya T.K. O neobhodimosti razrabotki modeli optimal'nyh uslovij dlja formirovanija i realizacii demograficheskikh ustanovok // Jekonomicheskie i social'nye peremeny: fakty, tendencii, prognoz. – 2020. – Vol. 13. – No. 4. – pp. 38-57. – DOI: 10.15838/esc.2020.4.70.2 (in Russian).
 17. Sushko E. D. Imitacija vlijanija pamjati na vosprijatie i povedenie ljudej v ramkah agent-orientirovannoj modeli kak iskusstvennogo obshhestva: postanovka zadachi // Iskusstvennye obshhestva. – 2024. – Vol. 19. – No. 4. DOI: 10.18254/S207751800033372-8 (in Russian).
 18. Bloomquist K.M. A comparison of agent-based models of income tax evasion // Social Science Computer Review. 2006. Vol. 24. N 4. P. 411-425.
 19. Makarov V.L., Bahtizin A.R., Sushko E.D., Sushko G.B. Sozdanie superkomp'juternoj imitacii obshhestva s aktivnymi agentami raznyh tipov i ejo aprobacija // Vestnik Rossijskoj akademii nauk, 2022. Vol. 92, No. 5. pp. 458-466. DOI: 10.31857/S0869587322050115 (in Russian).
 20. Anohin P.K. Izbrannye trudy: Kibernetika funkcional'nyh sistem. – M.: Medicina. 1998. – 400 p. (in Russian).