

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ИССЛЕДОВАНИЮ СОЦИАЛЬНОГО ПРОСТРАНСТВА

DOI: 10.15838/sa.2024.4.44.1

УДК 303.094.7 | ББК 87.256.631.0

© Нацун Л.Н., Алферьев Д.А., Ригин В.А., Дианов Д.С.

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ СХЕМА АГЕНТ-ОРИЕНТИРОВАННОЙ МОДЕЛИ РЕГИОНАЛЬНОГО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ



ЛЕЙЛА НАТИГОВНА НАЦУН

Вологодский научный центр Российской академии наук
Вологда, Российская Федерация

e-mail: leyla.natsun@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-9829-8866; ResearcherID: I-8415-2016



ДМИТРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ АЛФЕРЬЕВ

Вологодский научный центр Российской академии наук
Вологда, Российская Федерация

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Санкт-Петербург, Российская Федерация

e-mail: alferev_1991@mail.ru

ORCID: 0000-0003-3511-7228; ResearcherID: I-8333-2016



ВАСИЛИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ РИГИН

Вологодский научный центр Российской академии наук
Вологда, Российская Федерация

e-mail: var@vscc.ac.ru

ORCID: 0000-0001-6359-1192



ДАНИИЛ СЕРГЕЕВИЧ ДИАНОВ

Вологодский научный центр Российской академии наук
Вологодский государственный университет

Вологда, Российская Федерация

e-mail: daniil.dianov@gmail.com

ORCID: 0000-0003-4766-8801; ResearcherID: ADK-8080-2022

В условиях растущего спроса на медицинские услуги со стороны населения и ограниченности имеющихся ресурсов регионального здравоохранения особую актуальность приобретает разработка инструментов, позволяющих проводить безрисковую апробацию управленческих решений в данной сфере. Одним из современных подходов к решению этой задачи служит агент-ориентированное моделирование. Несмотря на то, что в отечественных и зарубежных исследованиях неоднократно предлагались варианты моделей отдельных компонентов системы здравоохранения, комплексного решения, применимого на уровне региона, разработано не было. Цель исследования – обоснование концептуальной схемы агент-ориентированной модели регионального здравоохранения (на примере Вологодской области). Представлены ключевые характеристики агентов модели, ее структура, допущения и ограничения, обоснован выбор исходных данных для построения модели и программной среды для ее реализации. Обозначены преимущества предлагаемой модели, в частности ее применимость для апробации управленческих решений в рамках различных подсистем регионального здравоохранения. Практическая значимость результатов исследования состоит в том, что выходные параметры модели (показатели удовлетворенности населения медицинской помощью, уровня нагрузки на врачей, посещаемости медицинских организаций, уровня смертности населения по отдельным классам болезней), рассчитанные в рамках экспериментов, будут использоваться для оценки эффективности региональной системы здравоохранения наряду с показателями затрат ресурсов на ее функционирование. Это позволит сравнивать итоги принимаемых управленческих решений и выбирать оптимальные сценарии (оптимизация нагрузки на врачей, выбор схемы пространственного размещения объектов медицинской инфраструктуры, корректировка объемов финансирования медицинских организаций и т. д.).

Агент-ориентированное моделирование, медицинская помощь, медицинская активность населения, эффективность регионального здравоохранения.

Благодарность

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-28-01783 (<https://rscf.ru/project/24-28-01783/>).

Введение

Спецификой современного этапа развития российской системы здравоохранения является нарастание противоречий между существующим подходом к финансированию здравоохранения и интересами пространственного развития регионов. Одним из следствий этого конфликта становится усиление неравенства в доступности медицинских услуг для населения (Шабунова, Нацун, 2023). Особенно актуальной данная проблема становится для жителей малых городов и сельских населенных пунктов. Дополнительный ряд проблем формируется под влиянием особенностей современной демографической ситуации и неудовлетворительного состояния общественного здоровья в регионах России.

Наиболее серьезными вызовами, стоящими перед здравоохранением, на сегодняшний день выступают демографическое старение; высокий уровень преждевременной смертности российского населения; существенный разрыв между величиной показателей ожидаемой продолжительности жизни (ОПЖ) и ожидаемой продолжительности здоровой жизни (ОПЗЖ), отражающий накапливающееся в старших когортах населения бремя болезней; вынужденное использование платных медицинских услуг населением ввиду нехватки ресурсов для предоставления бесплатной медицинской помощи в государственной системе здравоохранения (Морозова и др., 2022); дефицит финансирования территориальных программ государственных гарантий оказания

бесплатной медицинской помощи населению (Гришин и др., 2021).

Перечисленные вызовы приводят к нарастанию конкуренции за ограниченные ресурсы между разными видами, формами и профилями оказания медицинской помощи. В связи с этим на первый план выходит проблема повышения эффективности функционирования системы здравоохранения. От ее успешного решения зависит возможность наиболее полного удовлетворения спроса на медицинскую помощь со стороны населения, а соответственно, в значительной мере и показатели общественного здоровья.

Существуют различные подходы к оценке эффективности регионального здравоохранения. Так, системный подход предполагает рассмотрение регионального здравоохранения как системы, включающей ряд подсистем. Непосредственными результатами, которые могут быть получены в рамках данного подхода, выступают построение моделей всей системы и ее отдельных подсистем, построение информационных и структурно-функциональных моделей, моделей взаимодействия, управления системой, моделей оптимизации системы, распределения ресурсов, создание программ реализации и совершенствования системы, обоснование принимаемых управленческих решений. Проведение системного анализа предполагает использование показателей, характеризующих здоровье населения, деятельность учреждений здравоохранения, а также их ресурсное обеспечение (Лебедев, 2007).

Оценка эффективности регионального здравоохранения по методу «затраты – результативность» позволяет перейти от планирования затрат к планированию конкретных результатов при формировании региональных и местных бюджетов. При использовании метода «затраты – результативность» в качестве результирующих показателей работы здравоохранения используются объемные показатели предоставленных населению медицинских услуг, первичная заболеваемость, болезненность, первичная

инвалидность, смертность, заболеваемость с временной утратой трудоспособности, количество жалоб населения на качество оказанных медицинских услуг (Ильин и др., 2006). Преимуществами данного подхода к оценке эффективности регионального здравоохранения с точки зрения управления являются его высокая информативность и наглядность получаемых выводов.

В целом для анализа экономического эффекта управленческих решений в сфере здравоохранения достаточно применения упоминавшегося выше метода «затраты – результативность». Однако он не позволяет напрямую выявить ключевые социальные факторы, которые определяют заболеваемость и преждевременную смертность населения и не поддаются регулированию со стороны системы здравоохранения. Поэтому интерпретировать результаты такого анализа следует только в совокупности с данными о распространенности основных социальных рисков. Также используемые в рамках рассматриваемого подхода показатели финансирования здравоохранения и статистические данные о смертности и заболеваемости сами по себе не позволяют выявить проблемные моменты во взаимодействии системы здравоохранения с населением. Для восполнения указанных пробелов удачным решением могут служить имитационные модели здравоохранения.

Применение имитационного моделирования при исследовании функционирования сложных социально-экономических систем – активно развивающееся направление в зарубежной и отечественной науке (Макаров, 2013; Brajnik, Lines, 1998; Pyka, Werker, 2009; Edmonds, 2010). Данный инструмент успешно используется для решения масштабных задач в области социально-экономических исследований (Макаров, Бахтизин, 2013; Окрепилов и др., 2015; Okrepilov et al., 2015; Makarov et al., 2018). В демографии примером такой задачи выступает создание цифрового двойника региона (Калачикова и др., 2024).

Практический смысл создания имитационных моделей заключается в поддерж-

ке управленческих решений, поскольку они позволяют произвести безрисковую апробацию новых механизмов управления (Россошанская и др., 2022), оценить эффект от изменений в параметрах финансирования или пространственного размещения объектов инфраструктуры (Дианов и др., 2021; Швецов и др., 2023). Их частным случаем выступает агент-ориентированный подход, достоверность которого определяется, в том числе, качественным описанием характеристик агентов и правилами их взаимодействия.

Применение агент-ориентированных моделей возможно на уровне системы здравоохранения в целом, на уровне ее отдельных подсистем (например, по профильным медицинским службам) и медицинских организаций (Tracy et al., 2018). В исследованиях зарубежных авторов представлены решения и подходы, использующие имитационные модели для решения проблем очередей в профилактическом звене здравоохранения, в стационарах и отделениях неотложной помощи. Показано, что имитационное моделирование применимо для решения задач по оптимизации процессов маршрутизации пациентов («clinical pathways» – «клинических путей») и ведения их лечения (Aspland et al., 2019). Так, применение дискретно-событийного моделирования позволило выявить пути сокращения времени на лечение пациентов, страдающих раком легких. В частности, благодаря высокой точности предсказаний модели были найдены сценарии, при которых для пациентов время от первого визита к врачу и установления предварительного диагноза до получения необходимого лечения сокращалось до 40 дней при целевом значении показателя, равном 62 дням (England et al., 2021).

В отечественной практике исследования, направленные на построение моделей регионального здравоохранения, встречаются относительно редко (Шаганина и др., 2023). Недостаточно работ, нацеленных на решение задач, связанных с оптимизацией затрат ресурсов отрасли и повышением результативности ее функционирования. На

основе данных по Вологодской области в ряде публикаций были представлены подходы и программные решения, применимые для моделирования отдельных блоков и подсистем регионального здравоохранения (Дианов и др., 2020; Дианов и др., 2021; Дианов и др., 2022; Швецов и др., 2023). В то же время окончательное концептуальное видение процесса функционирования отрасли и способов его описания в среде агент-ориентированного моделирования на сегодняшний день не сложилось. Это обуславливает актуальность продолжения исследований в данном направлении.

Перечисленные обстоятельства определили выбор цели и задач настоящего исследования. Цель работы – обоснование концептуальной схемы агент-ориентированной модели регионального здравоохранения. Задачи исследования:

- 1) проанализировать динамику целевых показателей развития здравоохранения Вологодской области за период с 2020 по 2023 год;
- 2) провести обзор отечественного и зарубежного опыта, связанного с моделированием функционирования системы здравоохранения;
- 3) раскрыть концепцию предлагаемой модели регионального здравоохранения;
- 4) представить структуру модели, а также основные параметры ее программной реализации (типы агентов, их характеристики, допущения модели).

Материалы и методы

Имитационное моделирование, в частности агент-ориентированное моделирование, является одним из современных методов поддержки управления сложными системами, к которым можно отнести и отрасль здравоохранения (Makarov et al., 2022). Данное направление получило стимул к росту в связи с развитием вычислительных устройств и искусства программирования (Макаров и др., 2019; Bandini et al., 2009).

Основные преимущества агент-ориентированного моделирования могут быть охарактеризованы следующим: простота

построения логики взаимодействия моделируемых объектов, возможность реализации гибридного подхода в моделировании. Однако поскольку АОМ в полной мере может считаться эвристикой, оно имеет те же самые недостатки, связанные с отсутствием абсолютного понимания механизмов работы и устройства модели. Также в связи с разнообразием используемых в АОМ математических и инструментальных средств возникает проблема корректного и доступного описания моделируемой конструкции. Есть варианты ее решения, представленные протоколом ODD, спецификациями DREAM и Template Software, которые хорошо разобраны в диссертации PhD (информатика) М.А.Х. Ниязи (Niazi, 2011), но они не являются в полной мере исчерпывающими и общепринятыми в научном сообществе. Вышеперечисленное определяет высокую значимость качественной проработки концепции строящейся модели и требует от исследователей внимательной интерпретации получаемых результатов моделирования.

Существует большое разнообразие программных продуктов для построения имитационных моделей (Брагин и др., 2022; Wrona et al., 2023), значительная часть которых ориентирована на работу посредством подключения суперкомпьютеров (Макаров и др., 2011). В отечественной практике основным инструментом реализации агентных моделей можно назвать программное обеспечение и сервисы AnyLogic. Характерными плюсами данного ПО являются локализация на русский язык, обширный графический интерфейс, техническая поддержка и обновление предоставляемых разработчиками программных продуктов. Преимуществом выступает и возможность интеграции модели с ГИС-картами (Хроль и др., 2023).

В рамках настоящего исследования для наполнения агент-ориентированной модели регионального здравоохранения эмпирическими данными используются данные Федеральной службы государственной

статистики, ее территориального отдела по Вологодской области.

При рассмотрении вопросов эффективности регионального здравоохранения использованы данные медицинской статистики, а также официальная государственная статистика, размещенная в ЕМИСС. Для решения задач моделирования поведения населения учтены данные социологического мониторинга физического здоровья за 2020, 2022 и 2024 гг. Метод проведения мониторинга – социологический опрос населения в возрасте 18 лет и старше, проживающего на территории Вологодской области. На каждом этапе проведения мониторинга объем выборки составлял не менее 1500 человек. Выборка целенаправленная, квотная. Территория проведения опроса: города Вологда и Череповец, восемь муниципальных округов Вологодской области (Бабаевский, Великоустюгский, Вожегодский, Грязовецкий, Кирилловский, Никольский, Тарногский, Шекснинский). Репрезентативность выборки обеспечивается соблюдением пропорций между городским и сельским населением, пропорций половозрастной структуры взрослого населения, пропорций между жителями населенных пунктов различных типов (сельские поселения, малые и средние города). Ошибка выборки не более 4%.

Результаты

Ключевые параметры функционирования первичного звена регионального здравоохранения (на примере Вологодской области)

Задача обеспечения доступности медицинской помощи для граждан остается на повестке дня в рамках реализации государственной социальной политики. Так, развитие системы оказания первичной медико-социальной помощи было одним из приоритетов завершающегося национального проекта «Здравоохранение»¹.

В программе «Развитие здравоохранения Вологодской области» в число целевых

¹ Федеральный проект «Развитие системы оказания первичной медико-санитарной помощи» // Министерство здравоохранения Российской Федерации. URL: <https://minzdrav.gov.ru/poleznye-resursy/natsproektzdravoohranenie/pervichka>

индикаторов выполнения задачи по повышению эффективности оказания медицинской помощи включены такие показатели, как смертность от всех причин (на 1000 чел. населения), смертность от болезней системы кровообращения (на 100 тыс. чел. населения), от злокачественных новообразований (на 100 тыс. чел. населения), дорожно-транспортных происшествий, туберкулеза, материнская и младенческая смертность, ожидаемая продолжительность жизни при рождении, охват пациентов медицинской реабилитацией, удовлетворение потребности граждан, имеющих право на бесплатное получение лекарственных препаратов, в необходимых лекарственных препаратах, обеспеченность населения врачами, работающими в государственных медицинских организациях, удовлетворенность населения качеством медицинской помощи. Опираясь на доступные статистические данные, рассмотрим, как менялись значения некоторых целевых индикаторов в период с 2020 по 2023 год (табл. 1).

По состоянию на 2023 год практически по всем целевым индикаторам не были

достигнуты установленные плановые значения. Исключение составил показатель смертности населения от всех причин. Нельзя однозначно оценить индикатор «смертность населения от злокачественных новообразований», поскольку по этому показателю данные в государственной статистике отсутствуют, а наиболее актуальные региональные сведения датируются 2021 годом. Однако уже по состоянию на 2021 год уровень рассматриваемого индикатора был ниже целевого значения на 2023 год.

Статистические данные не содержат показателей, позволяющих определить удовлетворенность населения качеством медицинской помощи. Этот пробел заполняют данные социологических опросов населения. Так, данные опроса населения Вологодской области, проведенного ВолНЦ РАН в 2022 году, свидетельствуют, что среди респондентов, которые в течение года, предшествовавшего опросу, обращались в государственные медицинские организации, 6% считают уровень качества оказанной им медицинской помощи высоким,

Таблица 1. Значения целевых индикаторов региональной государственной программы «Развитие здравоохранения Вологодской области» в 2020–2023 гг.

Показатель	Год				
	2020	2021	2022	2023	2023, целевой
Смертность от всех причин*	15,7	18,4	14,5	13,8	15,5
Смертность от болезней системы кровообращения**	808,9	860,9	773,9	786,8	694,9
Смертность населения от злокачественных новообразований**	209,0	210,6	н/д	н/д	211,7
Смертность от дорожно-транспортных происшествий**	6,5	7,9	10,2	9,4	6,8
Смертность от туберкулеза**	1,6	1,1	1,1	1,0	1,4
Ожидаемая продолжительность жизни при рождении	70,68	69,06	71,56	71,7	72,37
Материнская смертность, случаев на 100 тыс. родившихся живыми	9,3	67,5	10,8	33,9	12,8
Младенческая смертность (на 1000 родившихся живыми)	5,5	5,3	3,6	6,0	5,3
Обеспеченность населения врачами, работающими в государственных медицинских организациях, чел. на 10 тыс. населения	30,2	31,9	29,1	31,04	34,7
* На 1000 чел. населения ** На 100 тыс. чел. населения.					
Источники: ЕМИСС: государственная статистика. URL: https://fedstat.ru ; Основные показатели деятельности учреждений здравоохранения Вологодской области за 2021 год // Департамент здравоохранения Вологодской области. Медицинский информационно-аналитический центр. С. 76.					

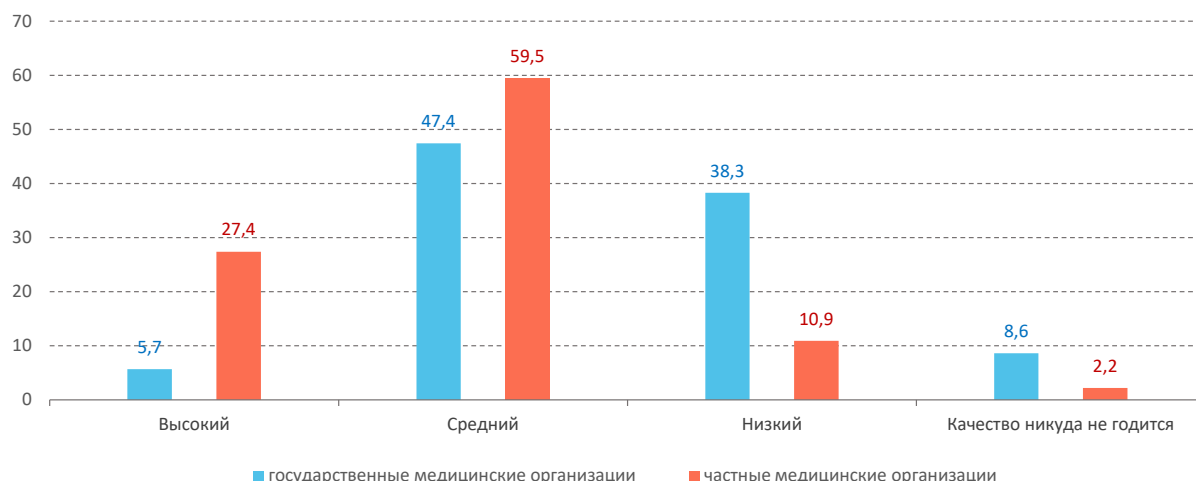


Рис. 1. Распределение ответов респондентов на вопрос «Как Вы в целом оцениваете уровень качества медицинской помощи, оказываемой в государственных учреждениях (поликлиниках, больницах и т. д.) и частных медицинских организациях?», % от числа тех, кто обращался за медицинской помощью в течение года

Источник: данные социологического опроса населения Вологодской области «Изучение здоровья населения и определяющих его факторов», 2022 год.

47% – средним, 38% – низким, еще 9% ответили, что качество услуг «никуда не годится». Для сравнения, частные медицинские организации получили более высокие оценки. Из числа респондентов, которые имели опыт обращения в них в течение года, уровень качества медицинских услуг назвали высоким 27%, средним – 60%, низким – 11%, только 2% отметили, что качество услуг «никуда не годится» (рис. 1).

Удовлетворенность населения качеством оказанной медицинской помощи во многом зависит не только от результативности обращения, но и от скорости получения медицинских услуг. Так, в выступлении О.С. Забраловой, сенатора Российской Федерации, в рамках ПМЭФ в 2022 году было отмечено, что в ходе проекта по исследованию удовлетворенности медицинской помощью в Московской области в поликлиниках пациенты чаще всего жаловались на сложность записи на прием к врачу и необходимость регулярного посещения. В ходе этого исследования также было выявлено, что около 10% всех посещений по-

ликлиник связаны с получением справок, выдачей направлений, получением рецепта и информации².

Для того чтобы улучшить доступность медицинских услуг для населения, реализуется целый ряд мероприятий в рамках национального проекта «Здравоохранение», среди которых важная роль принадлежит мероприятиям федерального проекта «Создание единого цифрового контура в здравоохранении на основе единой государственной информационной системы в сфере здравоохранения (ЕГИСЗ)». Данный проект направлен на обеспечение доступности для граждан цифровых сервисов посредством внедрения электронного документооборота, телемедицинских технологий, электронной записи к врачу, электронных рецептов, а также на повышение эффективности функционирования системы здравоохранения путем создания механизмов взаимодействия медицинских организаций на основе ЕГИСЗ, внедрения цифровых технологий и платформенных решений,

² Удовлетворенность населения медицинской помощью – комплексный, сложный и субъективный показатель // ЦНИИОИЗ. URL: <https://mednet.ru/novosti/udovletvorennost-naseleniya-meditsinskoj-pomoshhyu-kompleksnyj-slozhnyj-i-subektivnyj-pokazatel>

Таблица 2. Статистические показатели, характеризующие процесс цифровизации здравоохранения в Вологодской области в 2021–2024 гг., %

Показатель	2021 год	2022 год	2023 год	2024 год	Темп прироста
Доля записей на прием к врачу, совершенных гражданами дистанционно	2,0	2,9	6,3	10,6	81,1
Доля граждан, являющихся пользователями Единого портала государственных и муниципальных услуг (функций), которым доступны электронные медицинские документы в Личном кабинете пациента «Мое здоровье» по факту оказания медицинской помощи за период	0,07	11,9	46,2	76,3	99,9
Доля медицинских организаций государственной и муниципальной систем здравоохранения, использующих медицинские информационные системы для организации и оказания медицинской помощи гражданам, обеспечивающих информационное взаимодействие с ЕГИСЗ	62,8	97,0	94,8	98,96	36,5
Доля медицинских организаций государственной и муниципальной систем здравоохранения, подключенных к централизованным подсистемам государственных информационных систем в сфере здравоохранения субъектов Российской Федерации	26,9	98,7	100	100	73,1

Источник: ЕМИСС. URL: <https://fedstat.ru>

формирующих единый цифровой контур здравоохранения³.

В статистике данные, отражающие результаты выполнения отдельных индикаторов, цифровизации здравоохранения, представлены начиная с 2021 года. Так, за период с 2021 по 2024 год выросла доля дистанционных записей к врачу, увеличилась доля пользователей Единого портала государственных услуг, где в личном кабинете пациента доступны электронные медицинские документы по результатам обращений за медицинской помощью. Возросла доля медицинских организаций, использующих информационные системы для оказания медицинской помощи гражданам и взаимодействия с ЕГИСЗ. По состоянию на июль 2024 года все государственные и муниципальные медицинские организации региона были подключены к ЕГИСЗ (табл. 2).

Формирование цифрового контура здравоохранения в перспективе позволит существенно упростить маршрутизацию пациентов и ускорит получение необходимой медицинской помощи. В то же время использование информационных систем

сможет повысить эффективность управленческих воздействий только тогда, когда будет сопровождаться комплексным анализом параметров, характеризующих отклик на них самой системы здравоохранения, а также отклик показателей общественного здоровья.

Моделирование медицинской активности населения в контексте построения агент-ориентированной модели

Проблема выбора поставщика медицинских услуг детально рассматривается в обзорных исследованиях зарубежных авторов (Victoor, 2012). На основе обобщения выводов многочисленных исследований установлено, что гипотеза о рациональности выбора, который совершает пациент, не выдерживает проверку на практике. Для осуществления рационального выбора пациентам нужна полная информация о поставщиках услуг, неограниченные когнитивные способности, устойчивые предпочтения, сила воли и способность предвидеть свои потребности (Victoor, 2012). Но в действительности эти условия выполняются редко. Установлено, что не все пациенты делают выбор активно, то есть специально

³ Федеральный проект «Создание единого цифрового контура в здравоохранении на основе единой государственной информационной системы в сфере здравоохранения (ЕГИСЗ)» // Министерство здравоохранения Российской Федерации. URL: <https://minzdrav.gov.ru/poleznye-resursy/natsproektzdravooхранenie/tcifra>

ищут информацию о поставщиках услуг, проводят ее анализ и сравнивают качество услуг (Robertson, Burge, 2011). Так, в одном из исследований показано, что только 10% пациентов ищут альтернативу своей местной больнице при проведении операции; в основном полагаются на рекомендации лечащего врача, собственный положительный опыт взаимодействия с конкретным поставщиком услуг, поддаются социальному влиянию (репутация поставщика услуг, отзывы и рекомендации друзей и знакомых) или выбирают ближайшего поставщика услуг (Schwartz et al., 2005). Причинами служит то, что не все пациенты считают выбор важным, степень выбора для некоторых пациентов ограничена, а доступной информации недостаточно или она не подходит для принятия решения. При выборе поставщика медицинских услуг пациенты в первую очередь обращают внимание на характеристики процесса предоставления услуг, а не на качественные показатели их результата. В то же время авторы обзора (Victoor et al., 2012) указывают на нехватку работ, изучающих выбор поставщиков медицинских услуг пациентами в реальной жизненной ситуации, а не в рамках экспериментов, что искажает представления о предмете исследования.

В исследованиях российских авторов отмечалась связь между медицинской активностью населения и доступностью услуг здравоохранения, в том числе обусловленной удаленностью медицинских организаций от потенциальных пациентов. Обосновано и то, что уровень медицинской активности выше у лиц пенсионного возраста (Полянская, 2024). В работе А.В. Абрамова медицинскую активность предложено рассматривать, с одной стороны, как критерий формирования здоровья пациентов, а с другой – как критерий эффективности работы врачей (Абрамов и др., 2018). Следовательно, в такой интерпретации медицинская активность становится не только характеристикой поведения населения в отношении здоровья, но и непосредственно характеризует саму систему здравоохранения. Этот посыл полностью соответствует

приведенным выше данным о наличии связи между медицинской активностью населения и доступностью услуг здравоохранения. В то же время решение об обращении за медицинской помощью принимают именно индивиды, то есть медицинская активность прежде всего характеризует их выбор, тогда как доступность услуг здравоохранения является лишь одним из факторов, которые на него влияют.

Использование параметров медицинской активности населения в качестве характеристик агентов в модели регионального здравоохранения позволяет сформировать более точные правила взаимодействия между ними и типом агентов «медицинские организации», в частности более точно оценить вероятность обращений граждан за медицинской помощью в разрезе ее различных видов (первичная медико-санитарная, специализированная, в том числе высокотехнологичная, скорая, паллиативная медицинская помощь), форм (плановая, неотложная, экстренная) и условий оказания (вне медицинской организации, амбулаторно, в условиях дневного или круглосуточного стационара).

Среди населения региона существует множество вариантов медицинской активности. Для каждого индивида параметры поведения в этой сфере определяются объективными причинами (место проживания, состояние здоровья, наличие ограничений жизнедеятельности) и субъективными характеристиками (ценности, установки, предпочтения, привычки, предшествующий жизненный опыт). Данные репрезентативного социологического опроса населения Вологодской области позволили выделить несколько наиболее распространенных типовых моделей медицинской активности. Для решения этой задачи были использованы три вопроса: о наличии опыта обращений за медицинской помощью, опыта профилактического посещения врача, а также о готовности обращаться за медицинской помощью в случае существенного ухудшения самочувствия. С применением метода «дерево решений» были выделены

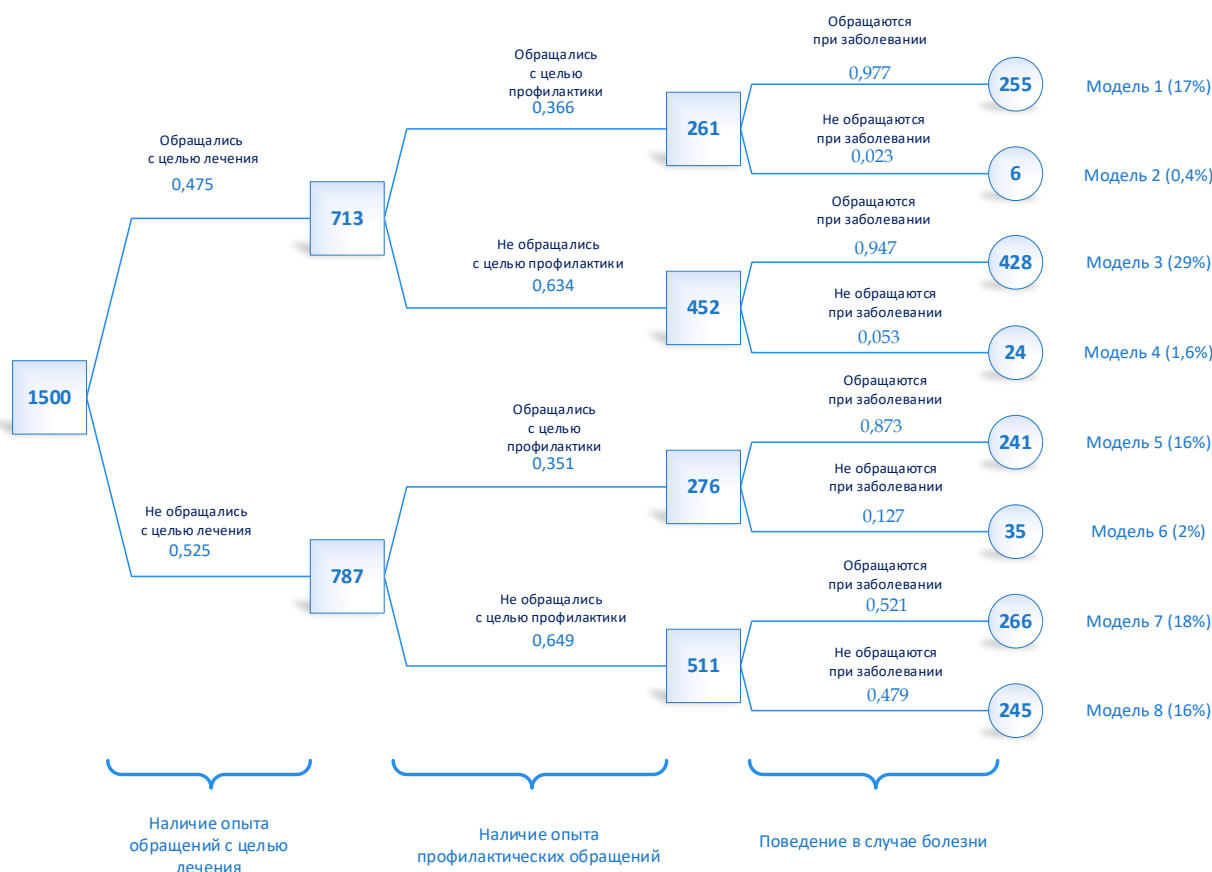


Рис. 2. Модели медицинской активности населения Вологодской области

Примечание: внутри фигур на схеме указано количество респондентов, которые приняли соответствующие решения.

Источник: составлено авторами.

восемь моделей, но не все из них получили распространение на территории региона (рис. 2). На основе полученной типологии для целей настоящего исследования агентам модели типа «население» присваивается значение переменной, содержащее вероятность того, что они будут придерживаться одной из выделенных моделей медицинской активности.

В разрезе всех рассмотренных социально-демографических характеристик наибольший удельный вес респондентов приходился на типовую модель медицинской активности № 3 (29% опрошенных). Эта модель характеризуется тем, что человек обращался к врачу по поводу лечения, но не совершал профилактические визиты, а в случае болезни обычно обращается за медицинской помощью. То есть у таких респондентов не сформирована привычка к

профилактике нарушений здоровья, они приходят к врачу только тогда, когда заболевают.

При сравнении социально-демографических характеристик у респондентов с разными моделями медицинской активности были рассмотрены их пол, возраст, местность проживания, уровень образования, тип занятости, самооценка здоровья, наличие хронических болезней, наличие инвалидности. В группу населения с третьей моделью медицинской активности вошли 34% от всех опрошенных женщин, 42% лиц пенсионного возраста, 30% от всех лиц с высшим образованием, 64% лиц с низкой самооценкой здоровья, 24% от всех лиц с хроническими болезнями, 47% от всех инвалидов, 40% от всех лиц с низкой самооценкой дохода, 34% респондентов, проживающих в сельской местности (табл. 3).

Таблица 3. Социально-демографические характеристики респондентов с разными моделями медицинской активности*

Модель медицинской активности	1	2	3	4	5	6	7	8
№ 1	20,6	18,9	19,0	13,5	15,3	39,2	20,3	15,3
№ 2	0,2	0,0	0,2	3,8	0,2	0,0	0,3	0,2
№ 3	33,8	42,2	30,4	64,4	23,8	47,1	40,7	33,6
№ 4	1,7	0,9	2,9	0,0	1,8	0,0	2,5	0,7
№ 5	17,0	11,5	13,3	7,7	17,0	5,9	9,6	16,7
№ 6	2,0	0,6	2,4	0,9	2,7	0,0	1,9	1,4
№ 7	14,5	17,6	17,3	6,7	20,4	3,9	13,2	16,9
№ 8	10,1	8,3	15,1	2,9	18,8	3,9	11,5	15,1

Обозначения: 1 – доля от всех женщин, %; 2 – доля от всех лиц старше трудоспособного возраста; 3 – доля от всех лиц с высшим образованием, %; 4 – доля от всех лиц с низкой самооценкой здоровья, %; 5 – доля от всех лиц с хроническими болезнями, %; 6 – доля от всех инвалидов, %; 7 – доля от всех лиц с низкой самооценкой дохода; 8 – доля от всех лиц, проживающих в сельской местности, %.

* 100% – по столбцам.

Источник: составлено авторами.

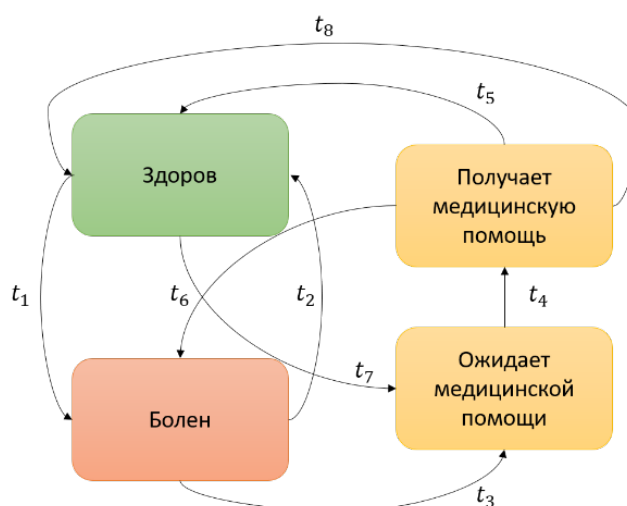


Рис. 3. Диаграмма состояний агентов типа «население»

Обозначения: t_1 – время, в течение которого агент здоров; t_2 – время естественного выздоровления; t_3 – время, затраченное на поиск и ожидание медицинской помощи; t_4 – время, затраченное на регистрацию, первичную диагностику и перенаправление к специалисту (при необходимости); t_5 – время лечения до выздоровления; t_6 – время лечения до снятия или облегчения симптомов хронического заболевания; t_7 – время, затраченное на поиск и ожидание профилактической медицинской помощи; t_8 – время, затраченное на получение профилактической медицинской помощи.

Источник: составлено авторами.

Диаграмма состояний агентов типа «население»

Для решения задачи моделирования взаимодействий между населением и медицинскими организациями построены диаграммы состояний соответствующих агентов. В качестве ключевых характеристик агентов типа «население» помимо модели медицинской активности использованы территория проживания, пол, возраст, самооценка здоровья, наличие хронических заболеваний, группа инвалидности, статус на рынке труда, семейное положение, наличие детей, уровень дохода, наличие опыта госпитализации (плановой или экстренной) в течение года, количество случаев заболеваний в течение года. Агент типа «население» обладает несколькими возможными состояниями, для каждого из которых прописаны свои параметры взаимодействия с агентами типа «медицинские организации» (рис. 3).

ческих заболеваний, группа инвалидности, статус на рынке труда, семейное положение, наличие детей, уровень дохода, наличие опыта госпитализации (плановой или экстренной) в течение года, количество случаев заболеваний в течение года. Агент типа «население» обладает несколькими возможными состояниями, для каждого из которых прописаны свои параметры взаимодействия с агентами типа «медицинские организации» (рис. 3).

Для агентов, которые изначально имеют хронические заболевания, в модели устанавливается статус «болен». После смены их состояний по схеме «болен – ожидает медицинской помощи – получает медицинскую помощь» им снова устанавливается статус «болен», поскольку при наличии хронического заболевания окончательного излечения не происходит. Переход «здоров – болен – здоров» отражает ситуацию, когда агент решает перенести заболевание без обращения за медицинской помощью. Ситуация обращения за профилактической медицинской помощью описывается переходом «здоров – ожидает медицинской помощи – получает медицинскую помощь – здоров». Агенты типа «население», прошедшие цикл из состояний «здоров – болен – ожидает помощи – получает медицинскую помощь – здоров» приобретают дополнительные характеристики опыта обращения за медицинской помощью с целью лечения: запоминают длительность ожидания получения медицинской помощи, а также приобретают мнение о ее качестве (степень удовлетворенности медицинской помощью). Для агентов, которые обращались в частные медицинские организации, дополнительно добавляется параметр удовлетворенности ценой на оказанные им медицинские услуги. В модели агенты типа «население» могут обмениваться своим опытом обращения в медицинские организации. На основе распределения частот полученных от них оценок каждой медицинской организации будет присваиваться усредненная оценка качества медицинской помощи по соответствующим видам медицинских услуг. На основе этих значений, а также критерия удаленности от места проживания агенты типа «население», находящиеся в состоянии «болен», будут осуществлять выбор места для получения необходимого лечения. Исследования, проведенные ранее на примере Вологодской области, показали, что доступность медицинской помощи оказывает влияние на медицинскую активность населения (Короленко, 2021). Поскольку доступность медицинской помощи во многом определяется параметрами пространственного размещения объектов здравоохранения, удаленность расположения медицинских орга-

низаций вводится нами в качестве предиктора поведения агентов. Кроме того, существуют эмпирические подтверждения наличия ее взаимосвязи с обращаемостью населения за медицинской помощью в случае болезни, а также с приверженностью назначенному лечению (Полянская, 2024).

В отношении агентов типа «население» требуется также решить задачу моделирования их пространственного перемещения от места проживания к месту получения медицинских услуг. В модели принято допущение о рациональном поведении агентов. Исходя из этого заданы два критерия выбора медицинской организации – ее удаленность и средняя оценка качества предоставляемых в ней медицинских услуг. Значимость обоих критериев по умолчанию принимается равной. Однако этот параметр можно менять, если этого требуют условия эксперимента (например, при необходимости проверить влияние общественного мнения на выручку частных клиник). Согласно сформулированному правилу, вероятность обращения в медицинскую организацию тем выше, чем ближе она к месту проживания агента и чем выше средняя оценка качества предоставляемых в ней медицинских услуг, которые ищет агент типа «население».

Описание поведения агентов типа «население», ищущих место получения медицинских услуг, предполагается осуществить с применением основной формулы муравьиного алгоритма (1), параметры которой адаптированы для решения поставленной задачи. В общих чертах она моделирует прокладку условно-оптимального маршрута колонией муравьев до источника их пропитания (Штовба, 2005). Развитием такого подхода может послужить работа (Бекларян, Акопов, 2015).

$$P_i = \frac{\tau_i^\alpha \eta_i^\beta}{\sum_{j \ni i} \tau_j^\alpha \eta_j^\beta}, \quad (1)$$

где:

P_i – вероятность выбора i -й медицинской организации;

τ – средняя оценка качества предоставляемых медицинской организацией услуг;

η – обратная величина пути до медицинской организации;

α, β – параметры значимости для пациента качества медицинских услуг и расстояния маршрута до медицинской организации.

Агенты типа «медицинские организации» стационарны, в отличие от агентов типа «население». Этот тип агентов будет выступать местом локализации медицинских услуг (сервисов). Единственное исключение из приведенного правила составляют агенты «скорая помощь», которые будут двигаться по пространству модели в соответствии с заданными условиями.

Поскольку в модели не ставится задача детализировать взаимодействие между населением и медицинским персоналом, то этот тип агентов в ней не вводится. Существенные для формирования модели мезоуровня характеристики подобного взаимодействия в достаточной степени представлены в данных региональной медицинской статистики. Это обстоятельство позволяет несколько абстрагироваться от частных случаев взаимодействия «врач – пациент» и сосредоточиться на общих закономерностях.

В качестве ключевых характеристик агентов типа «медицинские организации» будут использоваться мощность, количество врачей по специальностям, число посещений в расчете на 10000 чел. населения. Также в свойствах каждого из агентов данного типа будут указаны его форма собственности (частная или государственная медицинская организация) и спектр медицинских услуг, которые он предоставляет.

У агента типа «медицинская организация» могут быть только два состояния: «сервис доступен» и «сервис недоступен». Первый вариант реализуется, если сервис есть в перечне услуг, которые оказывает медицинская организация, если у нее есть свободные мощности (оборудование, койки, лаборатория, выездные бригады медработников), свободные в данный момент специалисты (терапевты, врачи-специалисты, средний медперсонал). Если хотя бы одно из существенных условий не выполнено, то сервис недоступен до тех пор, пока статус

такого условия не изменится на противоположный.

Концептуальная схема системы регионального здравоохранения

Модель регионального здравоохранения будет включать несколько функциональных модулей: первичная медицинская помощь; специализированная медицинская помощь в амбулаторных условиях (профили – кардиология, онкология, акушерство и гинекология, гериатрия), специализированная медицинская помощь в условиях круглосуточного стационара (по отдельным профилям), экстренная медицинская помощь.

Программную реализацию предполагается начать с моделирования функционирования модуля «первичная медицинская помощь в амбулаторных условиях» на данных одного из муниципальных округов Вологодской области.

В агент-ориентированной модели регионального здравоохранения агентами первого уровня выступают население и медицинские организации государственной, муниципальной и частной форм собственности. Агентом второго уровня являются Департамент здравоохранения региона и Территориальный фонд обязательного медицинского страхования. Агентом третьего уровня выступает регион. На поведение агентов оказывают влияние условия внешней среды, факторы различной природы, а также характер взаимодействий агентов между собой (рис. 4).

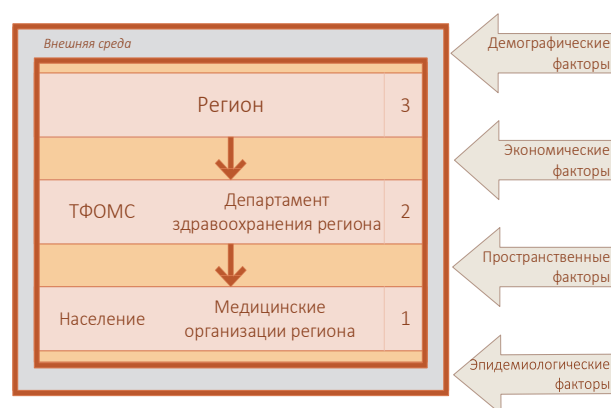


Рис. 4. Структурная схема агент-ориентированной модели регионального здравоохранения

Источник: составлено авторами.

**Таблица 4. Характеристики агентов типа «население»
в агент-ориентированной модели регионального здравоохранения**

Характеристика	Диапазон значений
Индивидуальный номер	От 1 до 1500
Пол	мужской – 1, женский – 2
Возраст	18 – 100
Уровень дохода	высокий – 3, средний – 2, низкий – 3
Уровень образования	высшее и послевузовское – 4, среднее профессиональное – 3, среднее полное или среднее общее – 2, нет среднего образования – 1
Статус занятости	работающий – 1, учащийся/студент – 2, пенсионер по возрасту – 3, неработающий по состоянию здоровья – 4, добровольно незанятый – 5
Семейное положение	в зарегистрированном браке – 1, в незарегистрированном союзе – 2, одинокий – 3
Наличие несовершеннолетних детей	есть дети – 1, нет детей – 2
Наличие взрослых иждивенцев в семье	есть – 1, нет – 2
Самооценка здоровья	очень хорошее – 5, хорошее – 4, удовлетворительное – 3, плохое – 2, очень плохое – 1
Хронические заболевания	нет – 0, есть – от 1 до 17 (в соответствии со списком*)
Наличие инвалидности	1 группа, 2 группа, 3 группа, в процессе оформления, нет
Наличие ограничений жизнедеятельности	ограничения по зрению – 1, ограничения по слуху, – 2, ограничения подвижности – 3, ограничения по самообслуживанию – 4, нет – 5
Место проживания	г. Вологда – 1, г. Череповец – 2, муниципальные округа региона: 3 – Бабаевский, 4 – Великоустюгский, 5 – Вожегодский, 6 – Грязовецкий, 7 – Кирилловский, 8 – Никольский, 9 – Тарногский, 10 – Шекснинский
Поликлиника / амбулатория по месту жительства	значение будет указано для каждого агента индивидуально
Привычный способ добираться до врача / фельдшера (поликлиника, ЦРБ, ФАП)	индивидуальный автотранспорт – 3, общественный транспорт – 2, пешком – 1
Время, которое обычно уходит на дорогу до врача	до 30 минут – 1, от 30 мин до 1 часа – 2, от 1 до 2 часов – 3, более 2 часов – 4
Обращения с профилактической целью в течение последних 12 месяцев	да – 1, нет – 2
Обращения с целью лечения в течение последних 12 месяцев	да – 1, нет – 2
Обращения с целью получения справок, выписок, рецептов в течение последних 12 месяцев	да – 1, нет – 2
Обращения за экстренной медицинской помощью в течение последних 12 месяцев	да – 1, нет – 2
Оценка уровня качества оказанной медицинской помощи в государственных медицинских организациях	высокий – 3, средний – 2, низкий – 1
Оценка уровня качества оказанной медицинской помощи в частных медицинских организациях	высокий – 3, средний – 2, низкий – 1
Оценка уровня доступности медицинской помощи в государственных медицинских организациях	высокий – 3, средний – 2, низкий – 1
Оценка уровня доступности медицинской помощи в частных медицинских организациях	высокий – 3, средний – 2, низкий – 1
Модель медицинской активности	от 1 до 8
Приверженность правилам ЗОЖ	высокая – 3, средняя – 2, низкая – 1
Курение	курит – 1, не курит – 2
Употребление алкоголя	да – 1, нет – 2
Проводит в сидячем положении более 8 часов в день	да – 1, нет – 2
Записывается ли на прием к врачу через сеть Интернет	да – 2, нет – 1

* Хронические заболевания: 1 – гипертоническая болезнь и/или ишемическая болезнь сердца, 2 – частые головные боли, 3 – поражение суставов (артрит), 4 – остеопороз и/или остеохондроз, 5 – аллергия, 6 – диабет, 7 – инсульт, кровоизлияние в мозг, 8 – патология щитовидной железы, 9 – язва желудка и/или 12-перстной кишки, 10 – астма, 11 – хронический бронхит, эмфизема, 12 – хроническая тревога или депрессия, 13 – мочекаменная болезнь, 14 – катаракта, 15 – холецистит, 16 – злокачественные новообразования, 17 – другие заболевания.
Источник: составлено авторами.

Параметры, которые будут использоваться для характеристики агентов типа «население», представлены в *табл. 4*. Изначально популяция агентов данного типа будет создана в соответствии с частотой встречаемости приведенных характеристик среди населения Вологодской области. Исходными данными будут служить результаты репрезентативных социологических опросов населения, проводимых в регионе Вологодским научным центром РАН. Агенты типа «население» появляются в модели в рамках исходного формирования популяции, а удаляются в результате смерти. Когда в модели проходит год, популяция агентов типа «население» полностью обновляется: задаются новые параметры в соответствии с данными статистики и репрезентативных выборочных наблюдений.

Параметры, которые будут использоваться для характеристики агентов типа «медицинские организации», представлены в *табл. 5*. Исходными данными для характеристики агентов этого типа будут служить открытые статистические данные, а также сведения, представленные на официальных интернет-сайтах медицинских организаций региона.

Как было отмечено выше, пространственное расположение объектов здравоохранения оказывает влияние на медицинскую активность населения, поэтому при создании модели региональной системы здравоохранения будет реализована ее интеграция с ГИС-картами. Все медицинские

организации будут иметь собственные пространственные координаты и отображаться на карте региона. С применением возможностей ГИС-технологий будут проводиться расчеты времени прибытия пациента к месту получения медицинской помощи, а также времени приезда скорой к пациенту (при моделировании работы экстренной медицинской помощи).

Включение в модель и Территориального фонда ОМС, и Департамента здравоохранения в качестве агентов второго уровня обусловлено тем, что такое решение позволит проводить более точные вычислительные эксперименты по сценарию «что, если» для случаев дифференцированного изменения объемов финансирования медицинских организаций области из этих источников.

Время в модели измеряется в календарных днях, шаг моделирования – 1 час. В разрабатываемой агент-ориентированной модели регионального здравоохранения приняты следующие допущения. Во-первых, в модели не учитывается влияние миграции агентов типа «население» на уровень загруженности мощностей медицинских организаций, поскольку нам достоверно неизвестны количественные характеристики обрабатываемости пациентов из других регионов в медицинские организации Вологодской области. Во-вторых, в модели принимается, что агенты «население» в состоянии «болен» запрашивают и получают необходимую медицинскую помощь в течение промежутка

Таблица 5. Характеристики амбулаторно-поликлинических учреждений здравоохранения региона

Характеристика	Значение
Форма собственности	Государственная/муниципальная/частная
Местоположение	г. Вологда – 1, г. Череповец – 2, муниципальные округа региона – от 3 до 11*
Тип учреждения	Поликлиника ЦРБ ФАП Клиника
Число посещений в смену на 10 тыс. чел. населения	Количество посещений
Число врачей общей практики	Человек
Число участковых терапевтов	Человек
* Обозначения муниципальных округов: 3 – Бабаевский, 4 – Великоустюгский, 5 – Вожегодский, 6 – Грязовецкий, 7 – Кирилловский, 8 – Никольский, 9 – Тарногский, 10 – Шекснинский. Источник: составлено авторами.	

времени, вычисленного с учетом расстояния до медицинской организации, нагрузки на врачей-терапевтов в этой организации, а также длительности самого приема. В модели изначально не учитываются возможные задержки в получении медицинской помощи, связанные с ситуацией на дорогах, очередями, а также превышением регламентированной длительности приема у врача. Однако эти поправки могут вводиться при реализации вычислительных экспериментов по сценарию «что, если». В-третьих, частота заболеваемости каждого агента типа «население» задается на основе вычисленной функции риска, аргументами которой выступают характеристики здоровья агента, его пол, возраст и род занятий. Поскольку эта функция вероятностная, ее индивидуальные значения не будут совпадать с реальными характеристиками пациентов. В то же время результат ее вычисления для всей существующей популяции агентов будет отражать интенсивность обращений населения за медицинской помощью в конкретный момент времени. Четвертое допущение модели касается моделирования численности агентов «население». Согласно прогнозу Росстата, в среднесрочной перспективе рождаемость не сможет компенсировать смертность населения⁴, поэтому в модели численность агентов типа «население» постепенно убывает. Вероятность смерти агентов определяется параметрами дожития. Источником данных для расчета служит статистика смертности населения региона (смертность по возрастам). Поскольку результат работы модели – показатели эффективности работы системы регионального здравоохранения за определенный год, то для повышения точности расчетов популяция агентов типа «население» полностью обновляется каждый раз, когда по времени модели проходит один год.

Заключение

Предлагаемая модель регионального здравоохранения позволит проводить вы-

числительные эксперименты, направленные на решение задач по оптимизации размещения объектов здравоохранения, финансирования отрасли, повышения показателей доступности медицинской помощи для населения, а также удовлетворенности населения медицинскими услугами. Преимущества предлагаемой модели связаны с ее модульной организацией, что позволяет детализировать проводимые эксперименты для разных подсистем регионального здравоохранения. Помимо модуля медицинской помощи в амбулаторных условиях в модели предполагается создать модули, отражающие функционирование экстренной медицинской помощи, а также работу стационаров (по нескольким специализациям – кардиологии, онкологии, акушерству и гинекологии). Выходными параметрами модели будут служить рассчитанные в рамках проводимых экспериментов показатели удовлетворенности населения медицинской помощью, уровня нагрузки на врачей, посещаемости медицинских организаций, уровня смертности населения по отдельным классам болезней. В совокупности эти параметры при их сопоставлении с затратами ресурсов позволят оценить эффективность региональной системы здравоохранения. Достоверность результатов вычислений обеспечивается тем, что исходными данными для работы модели служат статистические данные, характеризующие состояние медицинских организаций региона, а также данные социологического мониторинга физического здоровья населения Вологодской области. Привязка расположения медицинских организаций в модели к географическим координатам реальных объектов медицинской инфраструктуры региона обеспечит более точные расчеты времени, которое пациенты затрачивают на путь до медицинских организаций, а также времени, которое затрачивают на путь до пациентов бригады службы экстренной медицинской помощи.

На следующих этапах реализации научного проекта будет продолжена работа

⁴ Демографический прогноз. Демография // Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/12781>

по программной реализации модели, выполнено ее графическое описание, отладка, корректировка расчетов, проведены различные типы вычислительных экспериментов. Практическая значимость разработки агент-ориентированной модели заключа-

ется в создании инструмента поддержки управленческих решений, корректно отражающего, с одной стороны, существующие параметры здравоохранения Вологодской области, с другой – реальные поведенческие практики населения региона.

ЛИТЕРАТУРА

- Абрамов А.Ю., Кича Д.И., Рукодашный О.В. (2018). Медицинская активность и удовлетворение потребности населения в медицинской помощи // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. Т. 26. № 5. С. 266–270. DOI: 10.32687/0869-866X-2018-26-5-266-270
- Бекларян А.Л., Акопов А.С. (2015). Моделирование поведения толпы на основе интеллектуальной динамики взаимодействия агентов // Бизнес-информатика. № 1 (31). С. 69–77.
- Брагин А.В., Бахтизин А.Р., Макаров В.Л. (2022). Современные программные средства агент-ориентированного моделирования // Искусственные общества. Т. 17. № 4. DOI: 10.18254/S207751800023501-0
- Гришин В.В., Рагозин А.В., Ицелев А.А., Глазунова С.А. (2021). Финансирование Программы государственных гарантий бесплатной медицинской помощи: как решить проблему дефицита? // Здравоохранение Российской Федерации. № 65 (6). С. 514–521. URL: <https://doi.org/10.47470/0044-197X-2021-65-6-514-521>
- Дианов С.В., Калашников К.Н., Ригин В.А. (2020). Имитационная модель системы скорой медицинской помощи (на примере г. Сокола и Сокольского муниципального района Вологодской области) // Управление городом: теория и практика. № 3 (37). С. 47–54.
- Дианов С.В., Калашников К.Н., Ригин В.А. (2021). Поиск путей оптимального пространственного размещения объектов инфраструктуры здравоохранения: обзор методического инструментария // Проблемы развития территории. Т. 25. № 2. С. 108–127. DOI: 10.15838/ptd.2021.2.112.7
- Дианов С.В., Калашников К.Н., Ригин В.А. (2022). Агент-ориентированное моделирование регионального здравоохранения: решение задачи формализации медицинской активности жителей // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. Т. 15. № 1. С. 55–73. DOI: 10.15838/esc.2022.1.79.3
- Ильин В.А., Колинько А.А., Дуганов М.Д., Гулин К.А. Эффективность здравоохранения региона. Вологда: ВНКЦ ЦЭМИ РАН, 2006. 192 с.
- Калачикова О.Н., Короленко А.В., Дианов Д.С. (2024). Концепция агент-ориентированной модели «Цифровой демографический двойник Вологодской области» // Социальное пространство. Т. 10. № 1. DOI: 10.15838/sa.2024.1.41.1
- Короленко А.В. (2021). Медицинская активность как фактор здоровья населения (на примере Вологодской области) // Парадигмы и модели демографического развития: сб. статей XII Уральского демогр. форума, Междунар. науч.-практ. конф. (г. Екатеринбург, 3–4 июня 2021 г.) / ред. О.А. Козлова [и др.]. Т. II. Екатеринбург: Институт экономики Уральского отделения РАН. С. 131–140. DOI: 10.17059/udf-2021-4-11
- Лебедев Н.В. (2007). Использование методов системного анализа и моделирования для оптимизации функционирования региональной системы здравоохранения и многопрофильного ЛПУ // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. Т. 6. № 2. С. 533–536.
- Макаров В.Л. (2013). Социальное моделирование набирает обороты // Экономика и математические методы. Т. 49. № 4. С. 5–17.
- Макаров В.Л., Бахтизин А.Р. (2013) Применение суперкомпьютерных технологий в общественных науках // Экономика и математические методы. Т. 49. № 4. С. 18–32.
- Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Бекларян Г.Л., Акопов А.С. (2019). Разработка программной платформы для крупномасштабного агент-ориентированного моделирования сложных систем // Программная инженерия. Т. 10. № 4. С. 167–177. DOI: 10.17587/prin.10.167-177
- Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Васенин В.А., Роганов В.А., Трифонов И.А. (2011). Средства суперкомпьютерных систем для работы с агент-ориентированными моделями // Программная инженерия. № 3. С. 2–14.

- Морозова Т.В., Белая Р.В., Козырева Г.Б. (2022). Дифференциация потребительского поведения населения Карелии на рынке платных социально значимых услуг // *Народонаселение*. Т. 25. № 2. С. 52–65. DOI: 10.19181/population.2022.25.2.5
- Окрепиллов В.В., Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Кузьмина С.Н. (2015). Применение суперкомпьютерных технологий для моделирования социально-экономических систем // *Экономика региона*. № 2 (42). С. 301–313. DOI: 10.17059/2015-2-24
- Полянская Е.В. (2024). Особенности медицинской активности населения Амурской области // *ДЕМИС. Демографические исследования*. Т. 4. № 2. С. 58–73. DOI: 10.19181/demis.2024.4.2.4
- Россошанская Е.А., Дорошенко Т.А., Самсонова Н.А. [и др.] (2022). Агент-ориентированная демографическая модель Дальнего Востока как инструмент поддержки принятия управленческих решений // *Государственное управление. Электронный вестник*. Вып. № 94. DOI: 10.24412/2070-1381-2094-203-2
- Хроль Е.В., Уварова А.Г., Кужильный А.В. (2023). Разработка имитационных моделей с помощью AnyLogic // *Современные инновации, системы и технологии – Modern Innovations, Systems and Technologies*. № 3 (4). С. 0119–0131. URL: <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2023-3-4-0119-0130>
- Шабунова А.А., Нацун Л.Н. (2023). Доступность платных медицинских услуг и особенности социально-демографического портрета их пользователей // *Бюллетень Нац. науч.-иссл. ин-та общественного здоровья им. Н.А. Семашко*. № 4. С. 115–122. DOI: 10.25742/NRIPH.2023.04.019
- Шаганина А.А., Рапаков Г.Г., Абдалов К.А., Банщиков Г.Т. (2023). Функциональное моделирование деятельности стационарного отделения лечебно-профилактического учреждения // *Интеллектуально-информационные технологии и интеллектуальный бизнес (ИНФОС-2023): мат-лы Четырнадцатой Междунар. науч.-техн. конф. (г. Вологда, 29–30 июня 2023 г.)*. Вологда: ВоГУ. С. 111–115.
- Швецов А.Н., Дианов С.В., Дианов Д.С., Сидоренко Е.Э., Зорин Д.А. (2023). Сервис-ориентированный подход к проектированию агент-ориентированных моделей оптимального пространственного размещения объектов инфраструктуры здравоохранения // *Вестник Череповецкого гос. ун-та*. № 1 (112). С. 79–99. DOI: 10.23859/1994-0637-2023-1-112-6
- Штовба С.Д. (2005). Муравьиные алгоритмы: теория и применение // *Программирование*. Т. 31. № 4. С. 3–18.
- Aspland E., Gartner D., Harper P. (2019). Clinical pathway modelling: A literature review. *Health Systems*, 10 (1), 1–23. Available at: <https://doi.org/10.1080/20476965.2019.1652547>
- Bandini S., Manzoni A., Vizzari G. (2009). Agent based modeling and simulation: An informatics perspective. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 12 (4).
- Brajnik G., Lines M. (1998). Qualitative modeling and simulation of socio-economic phenomena. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 1 (1).
- Edmonds B. (2010). Bootstrapping knowledge about social phenomena using simulation models. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 13 (1). DOI: 10.18564/jasss.1523
- England T., Harper P., Crosby T. [et al.] (2021). Modelling lung cancer diagnostic pathways using discrete event simulation. *Journal of Simulation*, 17 (1), 94–104. Available at: <https://doi.org/10.1080/17477778.2021.1956866>
- Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Epstein J.M. (2022). Agent-based modeling for a complex world: Part 1. *Economics and Mathematical Methods*, 58 (1), 5–26. DOI: 10.31857/S042473880018970-6
- Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Epstein J.M. (2022). Agent-based modeling for a complex world: Part 2. *Economics and Mathematical Methods*, 58 (2), 7–21. DOI: 10.31857/S042473880020009-8
- Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Sushko E.D., Sushko G.B. (2018). Supercomputer simulation of social processes: New technologies. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 88 (3), 200–209. DOI: 10.1134/S1019331618030139
- Niazi M.A.Kh. (2011). Towards a novel unified framework for developing formal, network and validated agent-based simulation models of complex adaptive systems. *arXiv, Stirling: University of Stirling*. DOI: 10.48550/arXiv.1708.02357
- Okrepilov V.V., Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Kuzmina S.N. (2015). Application of supercomputer technologies for simulation of socio-economic systems. *R-Economy*, 1 (2), 340–350. DOI: 10.15826/recon.2015.2.016
- Pyka A., Werker C. (2009). The methodology of simulation models: Chances and risks. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 12 (4).

- Robertson R., Burge P. (2011). The impact of patient choice of provider on equity: Analysis of a patient survey. *Journal of Health Services Research & Policy*, 16 (1), 22–28. Available at: <https://doi.org/10.1258/jhsrp.2010.010084>
- Schwartz L.M., Woloshin S., Birkmeyer J.D. (2005). How do elderly patients decide where to go for major surgery? Telephone interview survey. *BMJ (Clinical research ed.)*, 331 (7520), 821. Available at: <https://doi.org/10.1136/bmj.38614.449016.DE>
- Tracy M., Cerdá M., Keyes K.M. (2018). Agent-based modeling in public health: Current applications and future directions. *Annual Review of Public Health*, 39, 77–94. Available at: <https://doi.org/10.1146/annurevpublhealth-040617-014317>
- Victoor A., Delnoij D.M., Friele R.D. [et al.] (2012). Determinants of patient choice of healthcare providers: A scoping review. *BMC Health Services Research*, 12, 272. Available at: <https://doi.org/10.1186/1472-6963-12-272>
- Wrona Z., Buchwald W., Ganzha M.[et al.] (2023). Overview of software agent platforms available in 2023. *Information*, 14 (6), 348. DOI: 10.3390/info14060348

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Лейла Натиговна Нацун – кандидат экономических наук, старший научный сотрудник, Вологодский научный центр Российской академии наук (Российская Федерация, 160014, г. Вологда, ул. Горького, д. 56а; e-mail: leyla.natsun@yandex.ru)

Дмитрий Александрович Алферьев – кандидат экономических наук, старший научный сотрудник, Вологодский научный центр Российской академии наук (Российская Федерация, 160014, г. Вологда, ул. Горького, д. 56а); доцент, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (Российская Федерация, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29); e-mail: alferev_1991@mail.ru

Василий Александрович Ригин – заведующий лабораторией, Вологодский научный центр Российской академии наук (Российская Федерация, 160014, г. Вологда, ул. Горького, д. 56а; e-mail: var@vscc.ac.ru)

Даниил Сергеевич Дианов – инженер, Вологодский научный центр Российской академии наук (Российская Федерация, 160014, г. Вологда, ул. Горького, д. 56а); старший преподаватель, Вологодский государственный университет (Российская Федерация, 160000, Вологда, ул. Ленина, д. 15); e-mail: daniil.dianov@gmail.com

Natsun L.N., Alfer'ev D.A., Rigin V.A., Dianov D.S.

CONCEPTUAL SCHEME OF AN AGENT-BASED MODEL OF REGIONAL HEALTH CARE

In the context of growing demand for medical services on the part of the population and limited available resources of regional health care, the development of tools that allow risk-free testing of management decisions in this area is of particular relevance. One of the modern approaches to solving this problem is agent-based modeling. Despite the fact that Russian and foreign studies have repeatedly proposed variants of models of individual components of the health care system, no comprehensive solution applicable at the regional level has been developed. The aim of the study is to substantiate the conceptual scheme of the agent-based model of regional health care (case study of the Vologda Region). We present the key characteristics of the model agents, its structure, assumptions and limitations, and justify the choice of input data for model construction and software environment for its realization. We outline the advantages of the proposed model, in particular, its

applicability for testing management decisions in various subsystems of regional health care. The practical significance of the research results is that the output parameters of the model (indicators of population satisfaction with medical care, the level of workload on doctors, attendance of medical organizations, the mortality rate in certain classes of diseases), calculated within the framework of experiments, will be used to assess the effectiveness of the regional health care system along with the indicators of resource costs for its functioning. This will make it possible to compare the results of management decisions and choose optimal scenarios (optimizing the load on doctors, choosing a scheme of spatial location of medical infrastructure facilities, adjusting the volume of financing of medical organizations, etc.).

Agent-based modeling, medical care, medical activity of the population, efficiency of regional health care.

REFERENCES

- Abramov A.Yu., Kicha D.I., Rukodainyi O.V. (2018). Medical activity and meeting the population's need for medical care. *Problemy sotsial'noi gigieny, zdravookhraneniya i istorii meditsiny*, 26(5), 266–270. DOI: 10.32687/0869-866X-2018-26-5-266-270 (in Russian).
- Aspland E., Gartner D., Harper P. (2019). Clinical pathway modelling: A literature review. *Health Systems*, 10(1), 1–23. Available at: <https://doi.org/10.1080/20476965.2019.1652547>
- Bandini S., Manzoni A., Vizzari G. (2009). Agent based modeling and simulation: An informatics perspective. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 12(4).
- Beklaryan A.L., Akopov A.S. (2015). Simulation of human crowd behavior based on intellectual dynamics of interacting agents. *Biznes-informatika=Business Informatics*, 1(31), 69–77 (in Russian).
- Bragin A.V., Bakhtizin A.R., Makarov V.L. (2022). Modern software tools for agent-based modeling. *Iskusstvennye obshchestva*, 17(4). DOI: 10.18254/S207751800023501-0 (in Russian).
- Brajnik G., Lines M. (1998). Qualitative modeling and simulation of socio-economic phenomena. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 1(1).
- Dianov S.V., Kalashnikov K.N., Rigin V.A. (2020). A simulation of a system emergency (for example, Sokol and Sokol municipal district of Vologda Region). *Upravlenie gorodom: teoriya i praktika*, 3(37), 47–54 (in Russian).
- Dianov S.V., Kalashnikov K.N., Rigin V.A. (2021). Search for ways of optimal spatial placement of healthcare infrastructure facilities: A review of methodological tools. *Problemy razvitiya territorii=Problems of Territory's Development*, 25(2), 108–127. DOI: 10.15838/ptd.2021.2.112.7 (in Russian).
- Dianov S.V., Kalashnikov K.N., Rigin V.A. (2022). Agent-based modeling of regional healthcare: Addressing the task of formalizing residents' medical activity. *Ekonomicheskie i sotsial'nye peremeny: fakty, tendentsii, prognoz=Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*, 15(1), 55–73. DOI: 10.15838/esc.2022.1.79.3 (in Russian).
- Edmonds B. (2010). Bootstrapping knowledge about social phenomena using simulation models. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 13(1). DOI: 10.18564/jasss.1523
- England T., Harper P., Crosby T. et al. (2021). Modelling lung cancer diagnostic pathways using discrete event simulation. *Journal of Simulation*, 17(1), 94–104. Available at: <https://doi.org/10.1080/17477778.2021.1956866>
- Grishin V.V., Ragozin A.V., Itselev A.A., Glazunova S.A. (2021). Financing of the program of state guarantees of free medical care: How to solve the deficit problem? *Zdravookhranenie Rossiiskoi Federatsii=Health Care of the Russian Federation*, 65(6), 514–521. Available at: <https://doi.org/10.47470/0044-197X-2021-65-6-514-521> (in Russian).
- Ilyin V.A., Kolin'ko A.A., Duganov M.D., Gulin K.A. (2006). *Effektivnost' zdravookhraneniya regiona* [Efficiency of Health Care in the Region]. Vologda: VNKTs TsEMI RAN.
- Kalachikova O.N., Korolenko A.V., Dianov D.S. (2024). Concept of the agent-based model “Digital demographic twin of the Vologda Region). *Sotsial'noe prostranstvo=Social Area*, 10(1). DOI: 10.15838/sa.2024.1.41.1 (in Russian).
- Khrol E.V., Uvarova A.G., Kuzhilny A.V. (2023). Development of simulation models using AnyLogic. *Sovremennye innovatsii, sistemy i tekhnologii=Modern Innovations, Systems and Technologies*, 3(4), 0119–0131. Available at: <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2023-3-4-0119-0130> (in Russian).

- Korolenko A.V. (2021). Medical activity as a factor of population health (on the example of the Vologda Oblast). In: *Paradigmy i modeli demograficheskogo razvitiya: sb. statei XII Ural'skogo demogr. foruma, Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (g. Ekaterinburg, 3–4 iyunya 2021 g.). T. II*. [Paradigms and Models of Demographic Development: Collection of Articles of the 12th Ural Demographic Forum, International Scientific and Practical Conference (Yekaterinburg, June 3–4, 2021). Volume 2]. Yekaterinburg: Institut ekonomiki Ural'skogo otdeleniya RAN. DOI: 10.17059/udf-2021-4-11 (in Russian).
- Lebedev N.V. (2007). Use of methods of system analysis and modeling to optimize the functioning of the regional health care system and multidisciplinary health care facilities. *Sistemnyi analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh*, 6(2), 533–536 (in Russian).
- Makarov V.L. (2013). Social modeling is gaining momentum. *Ekonomika i matematicheskie metody*, 49(4), 5–17 (in Russian).
- Makarov V.L., Bakhtizin A.R. (2013) Supercomputer technologies application in social sciences. *Ekonomika i matematicheskie metody*, 49(4), 18–32 (in Russian).
- Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Beklaryan G.L., Akopov A.S. (2019). Development of a software platform for large-scale agent-based modeling of complex systems. *Programmnyaya inzheneriya*, 10(4), 167–177. DOI: 10.17587/prin.10.167-177 (in Russian).
- Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Epstein J.M. (2022). Agent-based modeling for a complex world: Part 1. *Economics and Mathematical Methods*, 58(1), 5–26. DOI: 10.31857/S042473880018970-6
- Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Epstein J.M. (2022). Agent-based modeling for a complex world: Part 2. *Economics and Mathematical Methods*, 58(2), 7–21. DOI: 10.31857/S042473880020009-8
- Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Sushko E.D., Sushko G.B. (2018). Supercomputer simulation of social processes: New technologies. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 88(3), 200–209. DOI: 10.1134/S1019331618030139
- Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Vasenin V.A., Roganov V.A., Trifonov I.A. (2011). Supercomputer system tools for working with agent-based models. *Programmnyaya inzheneriya*, 3, 2–14 (in Russian).
- Morozova T.V., Belaya R.V., Kozyreva G.B. (2022). Differentiation of consumer behavior of the population of the Republic of Karelia in the market of socially significant commercial services. *Narodonaselenie=Population*, 25(2), 52–65. DOI: 10.19181/population.2022.25.2.5 (in Russian).
- Niazi M.A.Kh. (2011). Towards a novel unified framework for developing formal, network and validated agent-based simulation models of complex adaptive systems. *arXiv, Stirling: University of Stirling*. DOI: 10.48550/arXiv.1708.02357
- Okrepilov V.V., Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Kuz'mina S.N. (2015). Application of supercomputer technologies for simulation of socio-economic systems. *Ekonomika regiona=Economy of Regions*, 2(42), 301–313. DOI: 10.17059/2015-2-24 (in Russian).
- Okrepilov V.V., Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Kuzmina S.N. (2015). Application of supercomputer technologies for simulation of socio-economic systems. *R-Economy*, 1(2), 340–350. DOI: 10.15826/recon.2015.2.016
- Polyanskaya E.V. (2024). Features of medical activity of the population of the Amur Region. *DEMIS. Demograficheskie issledovaniya=DEMIS. Demographic Research*, 4(2), 58–73. DOI: 10.19181/demis.2024.4.2.4 (in Russian).
- Pyka A., Werker C. (2009). The methodology of simulation models: Chances and risks. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 12(4).
- Robertson R., Burge P. (2011). The impact of patient choice of provider on equity: Analysis of a patient survey. *Journal of Health Services Research & Policy*, 16(1), 22–28. Available at: <https://doi.org/10.1258/jhsrp.2010.010084>
- Rossoshanskaya E.A., Doroshenko T.A., Samsonova N.A. et al. (2022). Agent-based demographic model of the Far East as a tool to support management decision making. *Gosudarstvennoe upravlenie. Elektronnyi vestnik*, 94. DOI: 10.24412/2070-1381-2094-203-2 (in Russian).
- Schwartz L.M., Woloshin S., Birkmeyer J.D. (2005). How do elderly patients decide where to go for major surgery? Telephone interview survey. *BMJ (Clinical Research Ed.)*, 331(7520), 821. Available at: <https://doi.org/10.1136/bmj.38614.449016.DE>
- Shabunova A.A., Natsun L.N. (2023). Availability of paid medical services and peculiarities of socio-demographic portrait of their users. *Byulleten, Nats. nauch.-issl. in-ta obshchestvennogo zdorov'ya im. N.A. Semashko*, 4, 115–122. DOI: 10.25742/NRIPH.2023.04.019 (in Russian).

- Shaganina A.A., Rapakov G.G., Abdalov K.A., Bانشchikov G.T. (2023). Functional modeling of the activity of the inpatient department of a medical and preventive institution. In: *Intellectual'no-informatsionnye tekhnologii i intellektual'nyi biznes (INFOS-2023): mat-ly Chetyrnadtsatoi Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. (g. Vologda, 29–30 iyunya 2023 g.)* [Intellectual-Information Technologies and Intellectual Business (INFOS-2023): Proceedings of the Fourteenth International Scientific and Technical Conference (Vologda, June 29–30, 2023)]. Vologda: VoGU (in Russian).
- Shtovba S.D. (2005). Ant algorithms: Theory and applications. *Programmirovaniye*, 31(4), 3–18 (in Russian).
- Shvetsov A.N., Dianov S.V., Dianov D.S., Sidorenko E.E., Zorin D.A. (2023). Service-oriented approach to designing agent-based models of optimal spatial placement of healthcare infrastructure facilities. *Vestnik Cherepovetskogo gos. un-ta*. 1(112), 79–99. DOI: 10.23859/1994-0637-2023-1-112-6 (in Russian).
- Tracy M., Cerdá M., Keyes K.M. (2018). Agent-based modeling in public health: Current applications and future directions. *Annual Review of Public Health*, 39, 77–94. Available at: <https://doi.org/10.1146/annurevpubl-health-040617-014317>
- Victoor A., Delnoij D.M., Friele R.D. et al. (2012). Determinants of patient choice of healthcare providers: A scoping review. *BMC Health Services Research*, 12, 272. Available at: <https://doi.org/10.1186/1472-6963-12-272>
- Wrona Z., Buchwald W., Ganzha M. et al. (2023). Overview of software agent platforms available in 2023. *Information*, 14(6), 348. DOI: 10.3390/info14060348

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Leila N. Natsun – Candidate of Sciences (Economics), Senior Researcher, Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences (56A, Gorky Street, Vologda, 160014, Russian Federation; e-mail: leyla.natsun@yandex.ru)

Dmitrii A. Alfer'ev – Candidate of Sciences (Economics), Senior Researcher, Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences (56A, Gorky Street, Vologda, 160014, Russian Federation); Associate Professor, Peter the Great St. Petersburg University (29, Polytechnicheskaya Street, Saint Petersburg, 195251, Russian Federation); e-mail: alferev_1991@mail.ru

Vasilii A. Rigin – Head of Laboratory, Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences (56A, Gorky Street, Vologda, 160014, Russian Federation; e-mail: var@vscc.ac.ru)

Daniil S. Dianov – Engineer, Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences (56A, Gorky Street, Vologda, 160014, Russian Federation); Senior Lecturer, Vologda State University (15, Lenin Street, Vologda, 160000, Russian Federation); e-mail: daniil.dianov@gmail.com