ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ СТАТЬЯ
https://doi.org/10.31063/AlterEconomics/2025.22-2.9
УДК 338.46, 519.86
JEL C43, I14

CC BY 4.0
OPEN ACCESS

Пространственное моделирование инфраструктурной доступности медицинских услуг (кейс Свердловской области)[1]

Светлана В. БЕГИЧЕВА
Уральский государственный экономический университет, г. Екатеринбург, Российская Федерация

Для цитирования: Бегичева, С. В. (2025). Пространственное моделирование инфраструктурной доступности медицинских услуг (кейс Свердловской области). *AlterEconomics, 22*(2), 340–361. https://doi.org/10.31063/AlterEconomics/2025.22-2.9

Аннотация. Оценка пространственной доступности медицинской помощи остается одной из приоритетных задач регионального здравоохранения, особенно в условиях выраженной территориальной неоднородности. В статье предложена вероятностная модель выбора медицинской организации, учитывающая территориальное поведение пациентов, ограниченность доступных альтернатив и неполноту исходных данных. Предметом исследования является выбор жителями Свердловской области места обращения за амбулаторной медицинской помощью. Целью работы является разработка и валидация модели, способной воспроизводить межмуниципальные потоки пациентов на основе агрегированной статистики. Модель построена на гравитационном подходе, согласно которому пациенты с большей вероятностью обращаются в близко расположенные медицинские организации, а влияние удаленных учреждений уменьшается с увеличением времени в пути. В отличие от существующих решений, она дополнена механизмом формирования ограниченного набора альтернатив с помощью пространственной кластеризации и учитывает лояльность пациентов к медицинским учреждениям по месту жительства. Для валидации модели используется коэффициент ранговой корреляции между предсказанным и фактическим числом посещений медучреждений. Результаты демонстрируют достаточно высокую точность модели и выявляют значительные территориальные различия в сценариях обращения за медицинской помощью. Модель адаптирована к работе с агрегированными данными, что позволяет применять ее в других регионах с аналогичными ограничениями. Практическая значимость модели заключается в том, что она может поддерживать принятие управленческих решений, таких как планирование маршрутизации, размещение мобильных бригад и оптимизация сети медицинских учреждений. Среди ограничений модели — невозможность учета индивидуального поведения пациентов. Перспективы дальнейших исследований включают интеграцию социально-экономических факторов и расширение модели на другие уровни системы медицинской помощи.

Ключевые слова: пространственная доступность, медицинская помощь, вероятностная модель, гравитационный подход, кластеризация DBSCAN, территориальное планирование в здравоохранении

[1] © Бегичева С. В. Текст. 2025.

RESEARCH ARTICLE

Spatial Modeling of Healthcare Accessibility Using Probabilistic Methods: A Case Study of Sverdlovsk Oblast

Svetlana V. BEGICHEVA
Ural State University of Economics, Ekaterinburg, Russian Federation

For citation: Begicheva, S. V. (2025). Spatial Modeling of Healthcare Accessibility Using Probabilistic Methods: A Case Study of Sverdlovsk Oblast. *AlterEconomics, 22*(2), 340–361. https://doi.org/10.31063/AlterEconomics/2025.22-2.9

Abstract. Assessing spatial accessibility to healthcare remains a key challenge for regional health systems, particularly in areas with pronounced territorial disparities. This study proposes a probabilistic model of healthcare provider choice that accounts for patients' spatial behavior, limited availability of alternatives, and incomplete input data. The research focuses on outpatient care provider selection by residents of Sverdlovsk Oblast. The goal is to develop and validate a model that reproduces inter-municipal patient flows using aggregated statistics. The model is based on a gravity-based approach, where patients are more likely to seek care from nearby facilities, and the influence of more distant providers decreases as travel time increases. Unlike traditional models, it includes a mechanism to generate a limited choice set through spatial clustering and factors in patients' loyalty to providers within their own municipality. Validation using the rank correlation coefficient between predicted and observed visit counts shows high predictive accuracy and reveals substantial spatial variation in healthcare utilization patterns.Designed to work with aggregated data, the model can be applied to other regions facing similar data constraints. It could help improve decision-making in planning routes, deploying mobile health teams, and optimizing healthcare networks. A noted limitation is its inability to capture individual-level decision-making. Future research could incorporate socio-economic factors and expand the model to other levels of the healthcare system.

Keywords: spatial accessibility, healthcare services, probabilistic model, gravity-based approach, DBSCAN clustering, territorial healthcare planning

1. Введение

Обеспечение пространственной доступности медицинской помощи является одним из важных условий устойчивого социально-экономического развития регионов. Уровень доступности медицинских услуг непосредственно влияет на качество жизни населения, демографические показатели и экономическую активность территорий. В регионах с обширной площадью, сложной структурой расселения и неоднородной медицинской инфраструктурой обеспечение равного доступа к медицинским услугам становится особенно сложной задачей (Шартова и др., 2019; Калининская, Баянова, 2020).

Так, в Свердловской области на территориальную доступность медицинской помощи воздействуют такие факторы, как большая площадь региона, депопуляция в малых муниципальных образованиях и дефицит ресурсов маломощных лечебных учреждений. Указанные негативные тенденции отражены в Стратегии развития здравоохранения Свердловской области до 2035 г.[1]

Таким образом, разработка методов оценки доступности медицинской помощи, учитывающих реальное поведение пациентов, представляет собой актуальную научную и практическую задачу.

Отметим, что классические модели оценки пространственной доступности, такие как гравитационные модели и модели поиска ближайших соседей, базируются на предположении, что выбор пациента полностью определяется расстоя-

[1] Официальный интернет-портал правовой информации Свердловской области. https://www.pravo.gov66.ru/media/pravo/574-%D0%9F%D0%9F_vtQeNqN.pdf (дата обращения: 03.05.2025).

янием до медицинского учреждения или объемом медицинских услуг (Stacherl & Sauzet, 2023). Однако фактический выбор пациента зависит от множества факторов, включая качество услуг, наличие специалистов, рекомендации врачей и пациентов, индивидуальные предпочтения и т. п. Кроме того, в реальных условиях пациенты часто выбирают среди ограниченного круга альтернатив.

Игнорирование этих особенностей приводит к искажению оценок доступности и неэффективному планированию сети учреждений здравоохранения. В связи с этим возникает необходимость разработки моделей, способных отражать поведенческую логику выбора пациента с учетом доступных альтернатив и характеристик медицинских учреждений (Jang, 2021).

В статье предлагается вероятностная модель выбора медицинской организации, учитывающая ограничение числа рассматриваемых альтернатив и характеристики привлекательности медицинских учреждений, такие как набор предоставляемых услуг и обеспеченность ресурсами. Данная модель калибруется на основе эмпирических данных, отражающих территориальную привязанность пациентов.

Практическая значимость модели заключается в возможности ее использования для оптимизации территориальной структуры здравоохранения и повышения доступности медицинской помощи.

Цель исследования — разработать и апробировать вероятностную модель выбора медицинской организации, отражающую особенности пространственного поведения пациентов в условиях ограниченного числа доступных альтернатив. Для достижения цели решаются следующие задачи:

— проанализировать существующие подходы к моделированию пространственной доступности медицинской помощи и выявить их ограничения;

— разработать алгоритм формирования множества альтернатив для выбора лечебного учреждения;

— построить вероятностную модель выбора с учетом характеристик медицинских организаций и расстояния до них;

— откалибровать модель на основе данных о территориальной привязанности пациентов;

— провести пространственный анализ полученных результатов на примере Свердловской области.

2. Обзор литературы

2.1. Классические модели оценки пространственной доступности медицинской помощи

Исследование пространственной доступности медицинских услуг началось с моделей, основанных на измерении физического расстояния между пациентом и медицинской организацией. Одним из первых подходов стали модели поиска ближайших соседей (k-Nearest Neighbors, k-NN), где доступность определяется расстоянием до ближайшего медицинского учреждения. В дальнейшем получили развитие гравитационные модели (Huff, 1963; Joseph, 1973), согласно которым вероятность того, что пациент обратится в определенное учреждение, зависит от его привлекательности (например, численности врачебного персонала) и уменьшается с увеличением расстояния или времени в пути.

Позднее были разработаны модификации гравитационных моделей, учитывающие особенности медицинской инфраструктуры. Одним из наиболее известных

подходов является метод двухступенчатой оценки пространственной доступности (Two-Step Floating Catchment Area Method, 2SFCA), предложенный У. Луо и Ф. Ван (Luo & Wang, 2003). Этот метод оценивает доступность в два этапа: сначала определяется уровень обеспеченности ресурсами в пределах радиуса доступности каждого медицинского учреждения, а затем проводится суммирование полученных показателей для каждой жилой зоны.

Наряду с гравитационными и зональными моделями, в ряде исследований используются подходы, опирающиеся на сетевую структуру (Парфенова, Фалейчик, 2020; Шартова и др., 2023; Закиева, 2024).

Классические модели продолжают активно использоваться в научных и практических исследованиях благодаря относительной простоте и доступности расчетов. Тем не менее основным ограничением этих моделей является допущение, что все пациенты одинаково информированы обо всех медицинских учреждениях и что индивидуальные различия в выборе отсутствуют (Beks et al., 2023).

2.2. Развитие моделей оценки доступности медицинских услуг с учетом поведенческих факторов

С середины 2000-х гг. в научной литературе начало формироваться новое направление, акцентирующее внимание на необходимости учета реального поведенческого выбора пациентов. Как отмечено в работах (Guagliardo, 2004; Liu et al., 2021), при выборе медицинской организации пациенты учитывают не только расстояние до нее, но и такие факторы, как качество предоставляемых услуг, наличие высококвалифицированных специалистов, репутация учреждения, удобство транспортной доступности и собственный уровень благосостояния.

В связи с этим исследователи стали применять вероятностные модели выбора, в частности логит- и пробит-модели (Ben-Akiva & Lerman, 1985). Эти модели позволяют описать вероятность выбора определенной альтернативы в зависимости от набора ее характеристик, расстояния и индивидуальных факторов, свойственных пациенту (Labban et al., 2023).

Кроме того, появились подходы, учитывающие ограниченность множества доступных альтернатив. В реальных условиях пациенты не рассматривают все возможные учреждения, а ограничиваются несколькими ближайшими или наиболее привлекательными вариантами (Jang, 2021). Учет ограниченности множества альтернатив стал важным направлением в развитии моделей выбора учреждений здравоохранения (Páez et al., 2012; Донченко, 2023).

2.3. Эмпирические подходы к моделированию выбора медицинской организации

В современных исследованиях всё чаще применяются данные о реальных потоках пациентов для калибровки моделей выбора медицинских организаций. Работы (Delamater, 2013; Sun et al., 2024) демонстрируют, что использование фактических данных позволяет значительно повысить точность оценок пространственной доступности.

Эмпирическая калибровка моделей дает возможность учитывать локальные особенности, такие как различия в паттернах выбора учреждений в городских и сельских районах, влияние качества дорог, наличие общественного транспорта и социально-экономические характеристики населения (Tian et al., 2025).

Кроме того, наблюдается тенденция к интеграции пространственных моделей с данными медицинских реестров. Это позволяет дополнительно учитывать сложность заболеваний и фактические маршруты обращения пациентов за медицинской помощью (Shaun et al., 2022; Xing et al., 2024).

2.4. Проблематика оценки доступности в условиях малых населенных пунктов

Особое внимание в научной литературе уделяется проблеме оценки доступности медицинских услуг в условиях малых населенных пунктов и территорий с низкой плотностью населения. В таких регионах особенно остро стоит проблема ограниченности альтернатив и недостаточной обеспеченности инфраструктурой (McGrail & Humphreys, 2014; Шартова и др., 2023). Традиционные модели в этих условиях особенно подвержены ошибкам, поскольку фактический выбор пациентов может быть сильно ограничен как физическим расстоянием, так и недостатком информации о существующих вариантах.

В ответ на эти вызовы предлагаются адаптивные методы формирования множества альтернатив и дифференцированные модели выбора, учитывающие минимальное количество доступных учреждений и специфические барьеры для обращения за медицинской помощью (Neutens, 2015; Tian et al., 2025).

2.5. Основные направления дальнейшего развития моделей оценки пространственной доступности медицинской помощи

Анализ научных публикаций демонстрирует, что эволюция моделей оценки пространственной доступности медицинской помощи ориентирована на несколько приоритетных направлений:

— учет ограниченного множества альтернатив, фактически доступных для пациента;

— интеграция параметров привлекательности медицинских учреждений;

— применение вероятностных моделей выбора, основанных на эмпирических данных;

— адаптация моделей к специфике территорий с низкой плотностью населения;

— совершенствование методов валидации моделей с использованием данных о реальных посещениях.

Исходя из выявленных направлений развития моделей, в настоящем исследовании разработана вероятностная модель выбора медицинской организации, учитывающая ограниченное множество альтернатив и характеристику их привлекательности. Далее мы привели описание метода.

3. Методология исследования

3.1. Этапы построения модели

В рамках исследования был реализован поэтапный подход к моделированию выбора медицинской организации с учетом пространственных характеристик. Методология включала следующие ключевые этапы:

1) сбор и подготовка данных, включающих численность населения, характеристики муниципальных образований, статистику посещаемости медицинских организаций и матрицу времени в пути между ними;

2) формирование ограниченного набора альтернативных вариантов обращения за медицинской помощью для каждого муниципального образования с использованием пространственной кластеризации и правил отбора альтернатив;

3) оценка привлекательности территорий с помощью регрессионной модели, основанной на наблюдаемой частоте обращений;

4) построение вероятностной модели выбора медицинской организации, учитывающей привлекательность, расстояние и коэффициент лояльности к территориальной медицинской организации;

5) калибровка и валидация модели на основе агрегированных данных о потоках пациентов;

6) анализ пространственных различий в доле обращений по месту жительства и факторов, влияющих на ограниченность выбора медицинских организаций.

Обработка данных и их визуализация были выполнены в программной среде R.

3.2. Данные

В процессе проведения данного исследования были задействованы данные, полученные из нескольких источников. Среди них:

— Федеральная служба государственной статистики;

— статистический отчет «Состояние здоровья населения и показатели деятельности системы здравоохранения Свердловской области» за 2021 г., подготовленный Министерством здравоохранения Свердловской области;

— сервис NextGis.

Стоит отметить, что в данных, предоставленных Министерством здравоохранения Свердловской области, содержались значения показателей по 65 из 94 муниципальных образований региона.

Демографические данные

Для анализа потребности в медицинских услугах были использованы агрегированные данные о численности постоянного населения муниципальных образований Свердловской области.

Из-за отсутствия информации о распределении населения и медицинских учреждений внутри муниципалитетов все расчеты проводились на уровне муниципальных образований. Пространственные оценки базировались на центроидах, рассчитанных с учетом численности населения методом средневзвешенного значения. Таким образом, центроиды рассматривались как точки спроса и предложения медицинских услуг одновременно.

Данные о медицинских организациях

При моделировании в качестве единиц анализа использовались агрегированные характеристики муниципальных образований, включающие расположенные на их территории лечебные учреждения. Для каждого муниципалитета учитывалось наличие межмуниципального медицинского центра (ММЦ) общего или детского профиля, оказывающего специализированную медицинскую помощь.

Несмотря на то, что существуют официальные схемы закрепления населения за ММЦ, в модели маршрут пациентов определялся исходя из территориальной близости и привлекательности доступных медицинских центров, а не нормативных направлений. Это позволило изучить вероятные сценарии выбора, включая отклонения от формально установленных маршрутов.

Данные о посещаемости медицинских организаций

Для валидации модели и оценки привлекательности муниципальных образований в качестве мест получения медицинской помощи использовались статистические данные о частоте посещений врачей на одного жителя по каждому муниципальному образованию. Эти показатели рассматривались как индикаторы совокупной привлекательности муниципалитета для получения медицинских услуг.

Данные о времени в пути

Для каждой пары муниципальных образований — одного как места жительства пациента (точки спроса), другого как территории, где оказываются медицинские услуги (точки предложения) — было рассчитано минимальное время в пути на автомобиле. Этот показатель обеспечивает сопоставимость между территориями и отражает общую транспортную связанность, несмотря на то что не учитывает особенности поездок на общественном транспорте. Расчеты проводились с использованием OSRM на основе дорожной сети OpenStreetMap. При вычислениях учитывалась реальная транспортная инфраструктура, включая улично-дорожную сеть и ограничения скорости.

Результатом стал симметричный матричный массив пространственных затрат, который используется при моделировании выбора медицинской организации.

3.3. Формирование ограниченного набора альтернатив

Для моделирования процесса выбора учреждения необходимо корректно определять набор альтернатив, доступных пациенту. Учитывая различия в плотности населения и разветвленности медицинской инфраструктуры в разных частях региона, формирование набора альтернатив проводилось в два этапа: сначала осуществлялась кластеризация муниципалитетов по пространственной близости, а затем проводился отбор релевантных территорий:

— если пациент проживает в Екатеринбурге, то в качестве альтернативы рассматривался только Екатеринбург;

— если в муниципальном образовании функционирует ММЦ общего или детского профиля, то список включал сам муниципалитет и Екатеринбург. При отсутствии детского ММЦ добавлялся ближайший муниципалитет с таковым;

— если в муниципальном образовании ММЦ отсутствует, список альтернатив включал: (1) собственное муниципальное образование; (2) опорное муниципальное образование из ближайшего по времени в пути кластера; (3) два ближайших по времени в пути муниципальных образования вне кластера; (4) Екатеринбург; (5) ближайшие муниципальные образования с ММЦ общего и детского профиля (до двух каждого типа). Из сформированного набора отбирались пять направлений с наибольшей привлекательностью. При недостаточном числе альтернатив список дополнялся муниципальными образованиями с высоким значением привлекательности, не вошедшими ранее.

3.4. Вероятностная модель выбора медицинской организации

Оценка привлекательности медицинских организаций муниципального образования

Привлекательность лечебных учреждений, расположенных в конкретном муниципальном образовании, оценивалась с помощью множественной линейной регрессии. В качестве зависимой переменной использовалось среднее количество обращений за медицинской помощью на одного жителя. Независимыми перемен-

ными выступали: наличие ММЦ общего профиля, наличие детского ММЦ, а также принадлежность муниципального образования к Екатеринбургу.

Полученные предсказанные значения интерпретировались как индикаторы территориальной привлекательности с точки зрения потенциального спроса на медицинские услуги.

Выбор факторов был обусловлен требованиями агрегированной модели. Использовались только те переменные, которые доступны по всем муниципальным образованиям и отражают институциональные различия в медицинской инфраструктуре.

Вероятностная модель выбора

Для моделирования выбора пациентом одного из доступных направлений медицинской помощи мы предлагаем следующую вероятностную модель, основанную на гравитационном подходе.

Предполагается, что вероятность выбора конкретного направления рассчитывается как отношение привлекательности учреждения, скорректированной на экспоненциальное затухание с увеличением времени в пути, к сумме аналогичных величин по всем альтернативам (1):

$$P_{ij} = \frac{M_j \cdot e^{-T_{ij}/\lambda}}{\sum_{k \in C_i} M_k \cdot e^{-T_{ik}/\lambda}}, \quad (1)$$

где P_{ij} — вероятность того, что пациент из муниципального образования i выберет направление j; M_j — характеристика привлекательности медицинских организаций в муниципальном образовании j, определенная, например, через прогнозируемое число обращений; T_{ij} — время в пути от муниципалитета i до j; λ — параметр чувствительности к расстоянию (масштаб затухания); C_i — ограниченный набор альтернатив, доступный пациенту из муниципального образования i.

Такой подход позволяет гибко моделировать компромисс между качеством и доступностью медицинской помощи: чем выше привлекательность и ближе учреждение, тем выше вероятность его выбора.

Введение коэффициента лояльности к территориальной медицинской организации

В рамках модели также учитывается эффект лояльности пациентов к территориальной медицинской организации. Согласно эмпирическим данным, пациенты часто предпочитают обращаться в медицинские учреждения по месту жительства, даже если есть более привлекательные альтернативы.

Для учета склонности обращаться в территориальное медучреждение приписывался повышающий коэффициент лояльности $L > 1$. Формула расчета модифицированной привлекательности учреждения j для пациента из муниципалитета i имеет следующий вид (2):

$$P_{ij} = \frac{L_{ij} \cdot M_j \cdot e^{-T_{ij}/\lambda}}{\sum_{k \in C_i} L_{ik} \cdot M_k \cdot e^{-T_{ik}/\lambda}}, \quad (2)$$

где $L_{ij} = L > 1$, если $i = j$ (т. е. пациент выбирает свое муниципальное образование), и $L_{ij} = 1$ в остальных случаях.

Расчет ожидаемых потоков пациентов

Для оценки ожидаемой нагрузки на каждую медицинскую организацию были рассчитано суммарное прогнозируемое количество обращений пациентов. На ос-

нове вероятностного распределения P_{ij}, отражающего вероятность выбора пациентом из населенного пункта *i* учреждения муниципального образования *j*, и численности населения пункта N_i общий ожидаемый поток пациентов в муниципальное образование *j* определялся по формуле (3):

$$F_j = \sum_i N_i \cdot P_{ij}. \quad (3)$$

Таким образом, распределение населения каждого муниципалитета по медицинским организациям происходит в соответствии с рассчитанными вероятностями выбора, что формирует ожидаемый поток пациентов в каждом направлении.

Полученные значения F_j сравнивались с фактическими данными о посещаемости и использовались для оценки качества модели.

3.5. Калибровка и валидация модели

Для обеспечения реалистичности вероятностной модели был проведен подбор параметров, определяющих чувствительность выбора пациентов к удаленности медицинской организации и приверженности учреждениям по месту жительства. Калибровка включала несколько этапов.

Подбор параметров λ *и* L

Параметры модели — коэффициент чувствительности к расстоянию λ и коэффициент лояльности к медицинской организации по месту жительства L — были подобраны эмпирическим путем. Целью калибровки было достижение оптимального баланса между качеством воспроизведения фактического количества обращений ко врачам и реалистичной долей посещений местных медучреждений.

Подбор параметров осуществлялся методом перебора по сетке: коэффициент λ изменялся от 5 до 120 минут с нерегулярным шагом, а L — от 1,0 до 1,5 с шагом 0,05. Для каждой пары значений рассчитывались прогнозируемые потоки обращений пациентов, на основе которых оценивался коэффициент корреляции Спирмена между предсказанным и фактическим числом посещений медицинских организаций муниципального образования. Одновременно контролировалась доля визитов в медучреждения по месту жительства, которая не должна быть ниже 70 %, что соответствует наблюдаемым тенденциям в разных районах.

Наиболее приемлемыми считались параметры, которые обеспечивали высокую точность модели при максимальном значении коэффициента корреляции Спирмена и соблюдении заданного порога территориальных посещений.

Валидация модели

Для валидации модели использовался коэффициент ранговой корреляции Спирмена между предсказанными и фактическими потоками пациентов по муниципальным образованиям. Этот показатель был выбран по ряду причин. Во-первых, модель ориентирована не на количественную точность, а на корректную ранжировку предпочтительных направлений обращения за медицинской помощью. Во-вторых, ранговая корреляция менее чувствительна к масштабным отклонениям и выбросам, что особенно актуально в условиях значительной пространственной неоднородности потоков. Таким образом, выбор метрики валидации соответствует целям и структуре модели. В-третьих, в нашем распоряжении не было данных о количестве посещений отдельных пациентов. Для калибровки была использована агрегированная статистика общего числа посещений медицинских ор-

ганизаций, в то время как модель предполагает, что каждый житель региона совершает в среднем одно обращение в год.

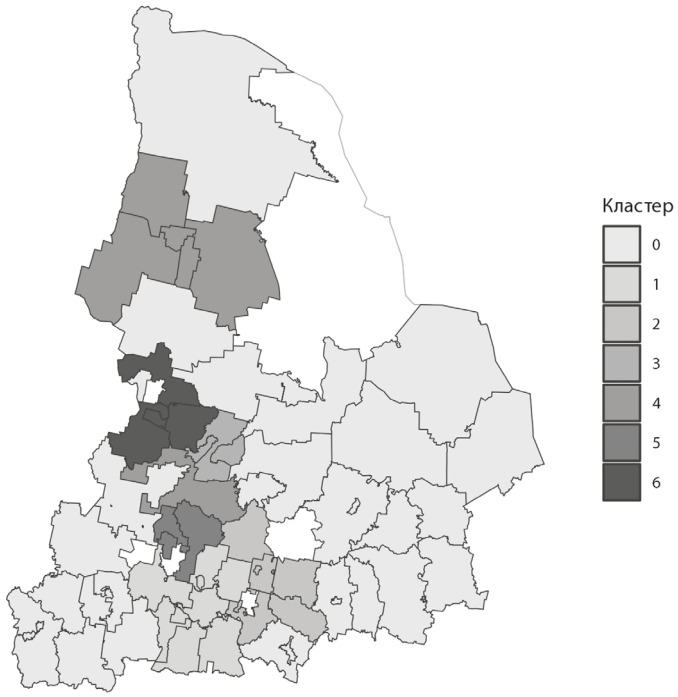
Для оценки качества модели дополнительно рассчитывались ошибки рангов (разности позиций муниципальных образований в предсказанном и фактическом ранжировании) по отдельным группам муниципальных образований: муниципальные образования с ММЦ, прочие муниципальные образования и пр. Это позволило оценить, насколько точно модель воспроизводит предпочтения пациентов в различных территориальных и институциональных условиях.

4. Результаты

4.1. Кластеризация муниципальных образований

На первом этапе была выполнена кластеризация муниципальных образований методом DBSCAN. На карте (рис. 1) представлено результирующее распределение кластеров. В каждом из них было определено опорное муниципальное образование, характеризующееся наличием медицинских организаций с максимальной прогнозируемой привлекательностью. Это муниципальное образование затем включалось в ограниченный набор альтернатив при моделировании выбора пациентов.

На рисунке 1 муниципальные образования, которые не вошли ни в один кластер, отнесены к категории «шум». Как правило, это единичные объекты, расположенные на значительном расстоянии от остальных.



Примечание: белые области на карте соответствуют муниципальным образованиям, по которым отсутствуют данные

Рис. 1. *Результаты кластеризации муниципальных образований методом DBSCAN (источник: сост. автором)*

Fig. 1. *Results of Clustering of Municipalities by DBSCAN Method*

4.2. Оптимальное значение параметров λ *и L*

Калибровка модели проводилась по двум основным параметрам: коэффициенту чувствительности к расстоянию λ и коэффициенту лояльности к территориальной медицинской организации *L*. Оценка качества модели осуществлялась на основе трех метрик: доли посещений по месту жительства в общем количестве обращений, коэффициента ранговой корреляции Спирмена и средней ошибки рангов.

Оптимальное значение коэффициента лояльности к территориальной медицинской организации (L = 3.5) обеспечивало реалистичную долю местных визитов (не ниже 70 % в среднем по области) и соответствовало эмпирическим паттернам мобильности.

На рисунке 2 представлен график изменения метрик качества модели в зависимости от параметра λ, на рисунке 3 — график зависимости доли посещений учреждений по месту жительства от того же параметра.

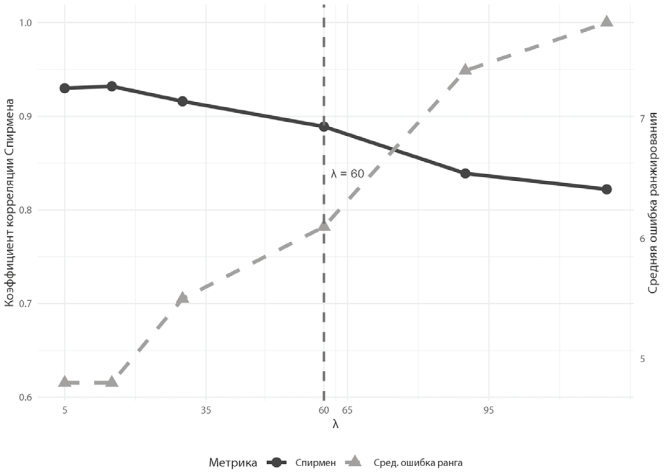


Рис. 2. *Метрики качества модели в зависимости от параметра λ (источник: сост. автором)*
Fig. 2. *Metrics of Model Quality Depending on the Parameter λ*

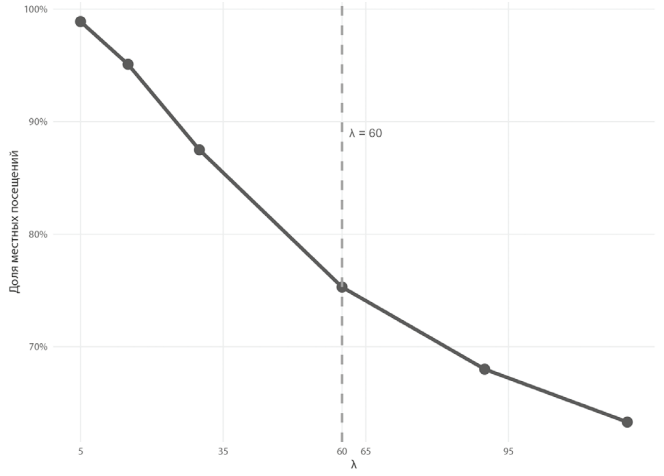


Рис. 3. *Зависимость доли посещений местных медицинских учреждений от параметра λ (источник: сост. автором)*
Fig. 3. *Dependence of the Share of Visits to Local Medical Centres on the Parameter λ*

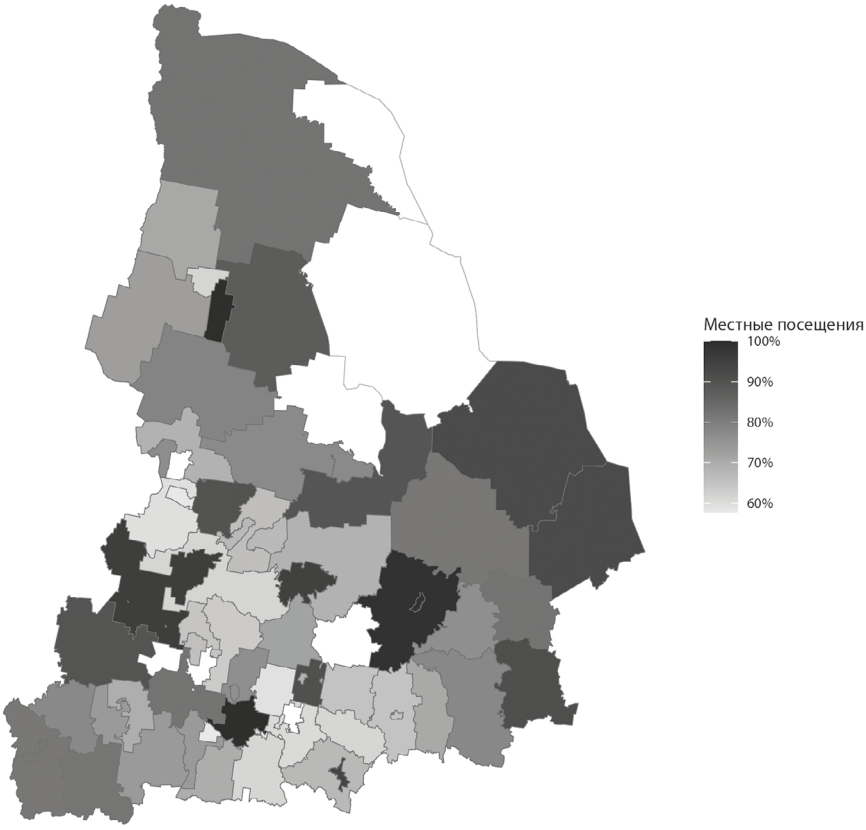
При изменении значения коэффициента чувствительности к расстоянию λ в диапазоне от 5 до 120 минут анализ показал, что слишком низкие значения λ приводят к избыточной локализации потоков, а высокие — к переоценке межмуниципальной мобильности. Оптимальный диапазон составил 30–60 минут.

Для основного анализа было выбрано значение λ = 60 минут, т. к. оно обеспечивало сбалансированный компромисс между реалистичной структурой и точностью предсказаний.

4.3. Пространственные различия в доле местных посещений

С помощью вероятностной модели и заранее подготовленного ограниченного набора альтернатив по формуле (2) были рассчитаны вероятности того, что пациенты из различных муниципальных образований выберут определенные территории для получения медицинской помощи. Воспользовавшись формулой (3), на основе полученных вероятностей мы вычислили оценки ожидаемых потоков пациентов.

Анализ результатов расчетов показал значительное территориальное различие в доле обращений по месту жительства (рис. 4). В северных, восточных и отдельных западных муниципальных образований доля местных обращений достигает 80–100 %, а в пригородной зоне Екатеринбурга этот показатель снижается до 60–70 %.



Примечание: белые области на карте соответствуют муниципальным образованиям, по которым отсутствуют данные

Рис. 4. *Доля посещений медицинских учреждений по месту жительства (источник: сост. автором)*
Fig. 4. *Proportion of Visits to Health Care Facilities by Place of Residence*

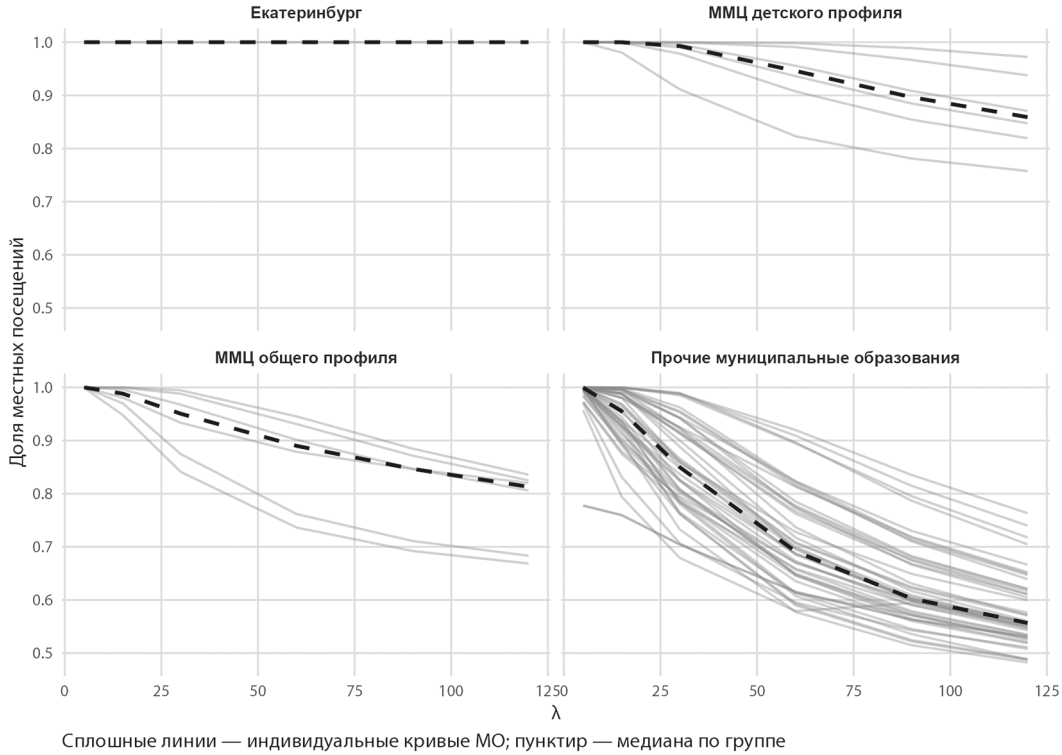


Рис. 5. *Зависимость доли местных посещений от параметра λ для различных групп муниципальных образований (источник: сост. автором)*

Fig. 5. *Dependence of the Share of Local Visits on the Parameter λ for Different Groups of Municipalities*

Также была проанализирована чувствительность доли посещений по месту жительства к изменению параметра λ. На рисунке 5 представлены индивидуальные и усредненные зависимости для различных типов муниципальных образований.

Муниципальные образования с ММЦ как общего, так и детского профиля демонстрируют умеренный уровень мобильности пациентов: часть обращений приходится на другие территории, однако основная доля визитов всё же остается местной. В то же время прочие муниципальные образования характеризуются большей зависимостью от расстояния.

4.4. Пространственное распределение межмуниципальных потоков

Визуализация наиболее крупных потоков пациентов между муниципальными образованиями (рис. 6) позволила определить основные направления межтерриториальной мобильности.

Наибольший объем потоков зафиксирован в центральной части Свердловской области. Перемещения преимущественно направлены в Екатеринбург — крупнейший медицинский центр региона. Пациенты из соседних муниципальных образований проявляют выраженную тенденцию к поездкам в крупнейший город области, что свидетельствует о высокой привлекательности городских медицинских учреждений и хорошей транспортной доступности.

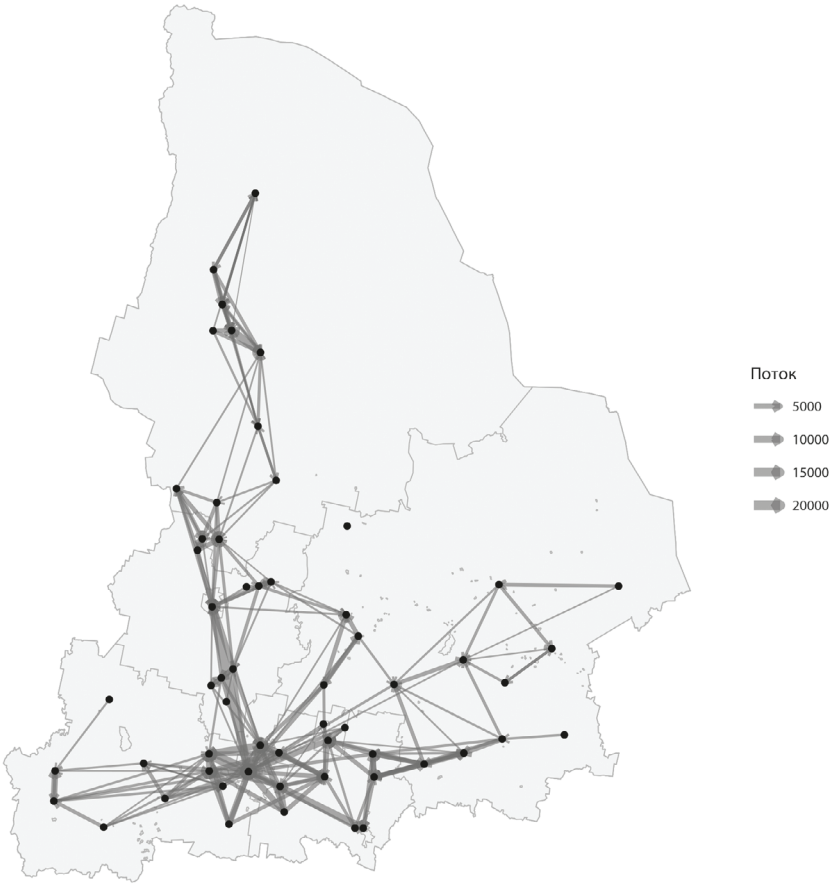


Рис. 6. *Основные направления межмуниципальных потоков пациентов (источник: сост. автором)*
Fig. 6. *Main Directions of Inter-Municipal Patient Flows*

В отдаленных районах межмуниципальная мобильность носит более локальный характер: потоки преимущественно ориентированы на ближайшие муниципальные образования с развитыми медицинскими учреждениями. Это подтверждает наличие кластерных систем медицинского обслуживания, ранее выделенных с помощью алгоритма DBSCAN.

Напомним, что визуализированные на карте потоки пациентов — это результат моделирования вероятностного выбора медицинских организаций на основе пространственной доступности и привлекательности учреждений, без привязки к регламентированным схемам маршрутизации. Такой подход позволяет выявить потенциальные сценарии поведения пациентов, включая возможные спонтанные потоки, которые возникают в условиях высокой мобильности или недостаточной доступности учреждений по месту жительства.

4.5. Анализ ошибок модели

Качество модели оценивалось с использованием ранговых метрик. При значении параметра $\lambda = 60$ коэффициент Спирмена между фактическими и предсказанными рангами потоков обращений ко врачам составил 0,889.

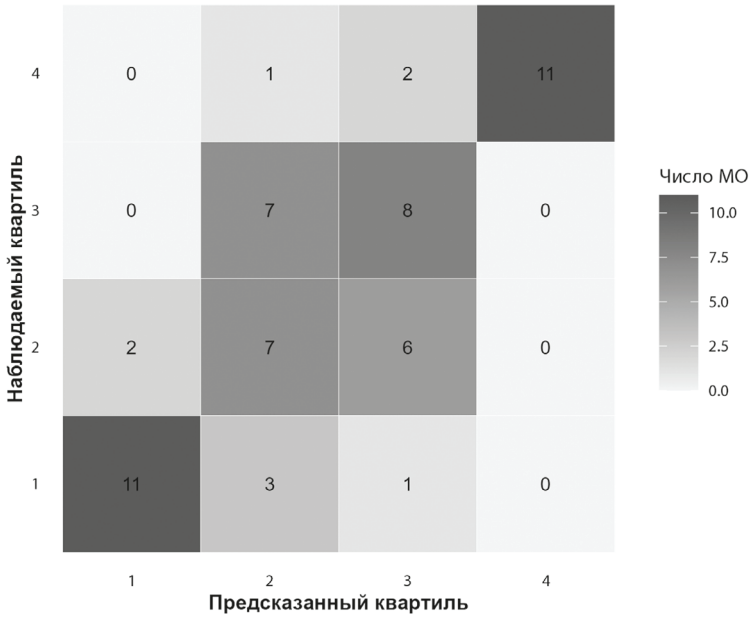


Рис. 7. *Распределение ошибок ранга по квартилям потока обращений (источник: сост. автором)*
Fig. 7. *Distribution of Ranking Errors by Quartiles of the Flow of Visits*

Для анализа ошибок ранга муниципальные образования были распределены по квартилям наблюдаемых значений. Согласованность предсказанных и наблюдаемых квартилей потока обращений показана на рисунке 7. В первом и четвертом квартилях, которые соответствуют крайним значениям потока обращений, модель правильно определила квартиль для 73–79 % наблюдений и допустила лишь единичные ошибки в соседний квартиль. Для второго и третьего квартилей доля точных совпадений составила 43–53 %, при этом большинство отклонений также приходилось на соседние квартильные группы.

В целом модель демонстрирует приемлемую точность для проведения пространственного анализа доступности медицинской помощи и позволяет воспроизвести ключевые особенности потоков между муниципальными образованиями.

5. Обсуждение

5.1. Пространственная структура и сценарии выбора

Полученные результаты подтверждают, что предложенная вероятностная модель выбора медицинской организации с ограниченным набором альтернатив адекватно описывает пространственное поведение пациентов даже при использовании агрегированных данных. Высокий коэффициент ранговой корреляции между наблюдаемыми и моделируемыми потоками обращений ($\rho = 0{,}889$) свидетельствует о том, что модель корректно отражает структуру межмуниципальных потоков в системе здравоохранения.

Результаты моделирования показывают, что наименьшая мобильность пациентов наблюдается в северных, восточных и западных районах Свердловской области, где более 80 % обращений за медицинской помощью происходят по месту жительства.

Отметим, что пространственная локализация посещений в отдаленных районах — не столько следствие предпочтений, сколько результат ограниченного выбора. Анализ состава альтернатив, выявленных при моделировании, показал, что для значительной части населения этих районов перечень потенциальных направлений для получения медицинской помощи ограничен тремя муниципальными образованиями или менее, включая собственное муниципальное образование. Это подтверждает гипотезу, что территориальная изолированность и низкая плотность инфраструктуры ограничивают возможности пациентов в выборе медицинских учреждений, в соответствии с работой (Hwang et al., 2017). Подобные закономерности согласуются с выводами в работе (Ouma et al., 2021), где отмечается значение пространственной доступности для регионов с низкой плотностью населения.

В то же время в центральной части региона, в муниципальных образованиях, прилегающих к Екатеринбургу, доля обращений в пределах собственного муниципального образования значительно ниже. Это связано как с географической близостью, так и с высоким уровнем оснащенности медицинских организаций Екатеринбурга. Эти закономерности также визуализированы на карте направлений межмуниципальных потоков пациентов (рис. 6). На ней отчетливо прослеживается роль Екатеринбурга как ключевого центра притяжения. Основные потоки формируются из близлежащих муниципальных образований в сторону административного центра, что дополнительно подтверждает выявленные модели мобильности. Наблюдаемое поведение пациентов соответствует результатам предыдущих исследований, которые подчеркивают: в урбанизированных районах мобильность пациентов возрастает благодаря лучшей информированности, более развитой транспортной системе и большему числу альтернатив (Hwang et al., 2017).

Особый интерес представляет поведение пациентов в муниципальных образованиях с ММЦ. Здесь наблюдается смешанный сценарий: с одной стороны, наличие крупного центра повышает привлекательность собственного муниципального образования, с другой — сохраняется определенный уровень мобильности, особенно в части получения специализированной помощи. Это согласуется с выводами, что в муниципальном образовании с расширенной инфраструктурой происходит частичное «задерживание» потоков (Khashoggi & Murad, 2021).

Таким образом, пространственное поведение пациентов в Свердловской области варьируется от почти полной локальной привязанности до высокой мобильности. Эти различия обусловлены сочетанием географических, инфраструктурных и институциональных факторов. Для эффективного планирования медицинской сети необходимо учитывать выявленные типы территорий (изолированные районы, территории с ММЦ и высокомобильные агломерации) и разрабатывать адаптированные сценарии распределения ресурсов.

5.2. Преимущества предлагаемого подхода

Разработанная модель имеет ряд особенностей, которые обеспечивают ее применимость в условиях ограниченной доступности данных и высокой пространственной неоднородности.

Во-первых, модель адаптирована для агрегированного уровня анализа: расчеты проводились на уровне муниципальных образований, что позволило учесть территориальные различия при отсутствии детализированных данных о перемещениях отдельных пациентов. Такой подход обеспечивает реалистичное прибли-

жение к анализу пространственного поведения, особенно в ситуациях, когда данные о маршрутах пациентов или координатах отдельных медицинских учреждений недоступны. Подобные методы агрегированного моделирования успешно применялись и ранее в условиях ограниченной статистики (McGrail, 2012).

Во-вторых, применение метода кластеризации DBSCAN для отбора альтернатив позволило учесть пространственную концентрацию медицинских учреждений и сократить количество доступных опций до реалистичного числа. Это снижает вычислительную нагрузку при расчетах и делает модель более соответствующей реальному поведению пациентов: люди обычно не рассматривают десятки учреждений, а выбирают из ограниченного круга доступных и значимых вариантов. Такой подход особенно актуален в условиях значительной территориальной дифференциации региона. Дополнительным преимуществом использования DBSCAN является возможность адаптации модели под разные сценарии.

В-третьих, использование коэффициента лояльности к местной медицинской организации позволило отразить эффект территориальной привязанности пациентов. Эмпирически откалиброванный параметр лояльности согласовал модельные оценки с фактической долей обращений по месту жительства, тем самым повысив поведенческую реалистичность модели. Аналогичные корректировки используются и в других моделях выбора в условиях территориальных ограничений (Wan et al., 2012).

Таким образом, предлагаемая модель сочетает в себе концептуальную строгость и практическую адаптивность, что делает ее применимой для оценки пространственной доступности в различных регионах с разным уровнем статистической обеспеченности и инфраструктурной развитости.

5.3. Ограничения и направления развития модели

Несмотря на достигнутые результаты, предложенный подход имеет ряд ограничений, которые важно учитывать при интерпретации выводов и планировании дальнейших исследований.

Во-первых, модель построена на агрегированных данных по муниципальным образованиям. Это позволяет охватить всю территорию региона, но снижает точность пространственных оценок, особенно для крупных и внутренне неоднородных территорий. Использование центроидов вместо реального распределения населения и медицинских организаций может искажать расчет расстояний, особенно в муниципальных образованиях с большой площадью или неравномерным размещением инфраструктуры. Этот компромисс был вызван ограничениями в доступности детальных данных и требует уточнения при наличии более высокой пространственной детализации.

Во-вторых, модель не учитывает нормативную маршрутизацию пациентов, установленную приказами Минздрава Свердловской области. В данном исследовании выбор направлений моделировался на основе близости и привлекательности, а не по официальным схемам закрепления пациентов. Такой подход позволяет выявить потенциальные отклонения от регламентированных маршрутов и отразить вероятное поведение пациентов в реальных условиях, однако он не подходит для задач нормативного планирования без дополнительной адаптации.

В-третьих, расчет привлекательности медицинских организаций осуществлялся на основе простой регрессионной модели, которая не включает множе-

ство потенциально значимых факторов, таких как профиль оказываемой помощи, загруженность учреждений, качество обслуживания, транспортная доступность и другие. Модель отражает усредненные поведенческие паттерны, но не охватывает всего спектра мотиваций, влияющих на выбор пациентов.

Будущие исследования могут быть направлены:

— на переход к микроданным на уровне пациентов или учреждений, что повысит точность пространственного моделирования;

— интеграцию дополнительной информации о маршрутизации, транспортной доступности, специализации и качестве медицинских организаций;

— адаптацию модели для анализа специализированной помощи (стационар, высокотехнологичная помощь и т. п.);

— пространственное уточнение моделей с учетом внутримуниципального распределения населения;

— дополнение модели индикаторами качества медицинской помощи, такими как рейтинги учреждений, отзывы пациентов, наличие высококвалифицированных специалистов, позволит учесть не только территориальные, но и качественные аспекты доступности.

6. Заключение

В данной статье представлена вероятностная модель выбора медицинской организации, разработанная с учетом пространственного поведения пациентов и ограниченности доступных альтернатив. Модель адаптирована для работы с агрегированными данными на уровне муниципальных образований и калибрована с использованием статистики посещаемости по месту жительства.

Проведенный анализ подтвердил достаточно высокую точность модели при оценке потоков пациентов: коэффициент ранговой корреляции между предсказанными и фактическими данными составил 0,889, а средняя ошибка ранга оказалась умеренной. Введенные в модель элементы — ограниченный набор альтернатив, рассчитанный с использованием кластеризации DBSCAN, и коэффициент лояльности к территориальным медицинским организациям — обеспечили баланс между реалистичностью и вычислительной устойчивостью.

Результаты моделирования выявили значительные различия в территориальных моделях обращения за медицинской помощью. В удаленных и малонаселенных муниципальных образованиях пациенты в основном ориентированы на местные учреждения, что связано с ограниченной доступностью альтернатив. В урбанизированных районах, особенно в зоне влияния Екатеринбурга, наблюдается высокая мобильность пациентов и выраженная конкуренция между медицинскими организациями.

Предложенная модель имеет как теоретическую значимость, так и прикладной потенциал. Благодаря гибкому подходу к формированию множества альтернатив и использованию агрегированных данных модель может быть применена при недостатке статистических данных и детализированной информации о потоках пациентов. Это делает ее особенно полезной для регионов, где отсутствуют индивидуальные данные о маршрутах обращения за медицинской помощью.

С практической точки зрения модель может быть использована органами здравоохранения для решения следующих задач:

— планирования маршрутизации пациентов и оценки транспортной доступности;

— оценки потребностей в развитии инфраструктуры: выявление муниципалитетов с наибольшей долей вынужденной мобильности населения может служить основанием для размещения дополнительных медицинских ресурсов;

— обоснования распределения выездных и мобильных медицинских бригад в малонаселенных и изолированных районах;

— анализа сценариев территориальной реорганизации сети учреждений.

Модель легко адаптируется к другим регионам при наличии аналогичных агрегированных данных: численности населения, времени в пути между муниципальными образованиями, показателями обращаемости и характеристики медицинских учреждений. Это открывает перспективы для масштабирования и внедрения модели в рамках национальных или межрегиональных программ по оценке доступности медицинской помощи.

Список источников

Донченко, В. В. (2023). Доступность и методы ее оценки в процессах планирования городских транспортных систем. *Автомобиль. Дорога. Инфраструктура,* (1(35)), 19.

Закиева, Л. Ф. (2024). Особенности размещения медицинских учреждений в пространственной структуре г. Казань. *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова,* (6), 52–61. https://doi.org/10.34031/2071-7318-2024-9-6-52-61

Калининская, А. А., Баянова, Н. А. (2020). Научное обоснование оценки территориальной доступности первичной врачебной медико-санитарной помощи сельскому населению. *Казанский медицинский журнал, 101* (6), 890–896. https://doi.org/10.17816/KMJ2020-890

Парфенова, К. В., Фалейчик, Л. М. (2020). Оценка транспортной доступности межрайонных медицинских центров Забайкальского края. *Социальные аспекты здоровья населения, 66* (4), 8. https://doi.org/10.21045/2071-5021-2020-66-4-8

Шартова, Н. В., Грищенко, М. Ю., Ватлина, Т. В. (2023). Территориальная доступность медицинских учреждений для жителей севера России. *Вестник Московского университета. Серия 5. География, 78* (5), 104–114. https://doi.org/10.55959/MSU0579-9414.5.78.5.10

Шартова, Н. В., Грищенко, М. Ю., Ревич, Б. А. (2019). Оценка территориальной доступности медицинских учреждений по открытым данным на примере Архангельской области. *Социальные аспекты здоровья населения, 65* (6).

Beks, H., Wood, S. M., Clark, R. A., & Vincent, V. L. (2023). Spatial methods for measuring access to health care. *European Journal of Cardiovascular Nursing, 22* (8), 832–840. https://doi.org/10.1093/eurjcn/zvad086

Ben-Akiva, M. E., & Lerman, S. R. (1985). *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand.* The MIT Press.

Grannis, S. J., Williams, J. L., Kasthuri, S., Murray, M., & Xu, H. (2022). Evaluation of real-world referential and probabilistic patient matching to advance patient identification strategy. *Journal of the American Medical Informatics Association, 29* (8), 1409–1415. https://doi.org/10.1093/jamia/ocac068

Guagliardo, M. F. (2004). Spatial accessibility of primary care: Concepts, methods and challenges. *International Journal of Health Geographics, 3* (1), 3. https://doi.org/10.1186/1476-072X-3-3

Huff, D. L. (1963). A probabilistic analysis of shopping center trade areas. *Land Economics, 39* (1), 81–90. https://doi.org/10.2307/3144521

Hwang, K., Jang, H., Lee, T., Kim, M., Shin, H., & Lee, T. (2017). A choice model for estimating realized accessibility: Case study for obstetrics care in Korea. In P. Cappanera, J. Li, A. Matta, E. Sahin, N. Vandaele, F. Visintin (Eds.), *Health Care Systems Engineering: HCSE, Florence, Italy, May 2017 3* (pp. 73–85). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-66146-9_7

Jang, H. (2021). A model for measuring healthcare accessibility using the behavior of demand: A conditional logit model-based floating catchment area method. *BMC Health Services Research, 21* (1), 660. https://doi.org/10.1186/s12913-021-06654-3

Joseph, A. E., & Phillips, D. R. (1984). *Accessibility and utilization: Geographical perspectives on health care delivery.* Harper & Row.

Khashoggi, B. F., & Murad, A. (2021). Use of 2SFCA method to identify and analyze spatial access disparities to healthcare in Jeddah, Saudi Arabia. *Applied Sciences, 11* (20), 9537. https://doi.org/10.3390/app11209537

Labban, M., Chen, C.-R., Frego, N., Nguyen, D., Lipsitz, S. R., Reich, A. J., Rebbeck, T. R., Choueiri, T. K., Kibel, A. S., Iyer, H. S., & Trinh, Q. (2023). Disparities in travel-related barriers to accessing health care from the 2017 National Household Travel Survey. *JAMA Network Open, 6* (7), e2325291. https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2023.25291

Liu, X., Lin, Z., Huang, J., Gao, H., & Shi, W. (2021). Evaluating the inequality of medical service accessibility using smart card data. International *Journal of Environmental Research and Public Health, 18* (5), 2711. https://doi.org/10.3390/ijerph18052711

Luo, W., & Wang, F. (2003). Measures of spatial accessibility to healthcare in a GIS environment: Synthesis and a case study in Chicago region. *Environment and Planning B: Planning and Design, 30* (6), 865–884. https://doi.org/10.1068/b29120

McGrail, M. R. (2012). Spatial accessibility of primary health care utilising the two step floating catchment area method: An assessment of recent improvements. *International Journal of Health Geographics, 11* (1), 50. https://doi.org/10.1186/1476-072X-11-50

McGrail, M., & Humphreys, J. (2014). Measuring spatial accessibility to primary health care services: Utilising dynamic catchment sizes. *Applied Geography, 54,* 182–188. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.08.005

Ouma, P., Macharia, P. M., Okiro, E., & Alegana, V. (2021). Methods of measuring spatial accessibility to health care in Uganda. In P. T. Makanga (Ed.), *Practicing Health Geography* (pp. 87–105). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-63471-1_6

Páez, A., Scott, D. M., & Morency, C. (2012). Measuring accessibility: Positive and normative implementations of various accessibility indicators. *Journal of Transport Geography, 25* (C), 141–153. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2012.03.016

Stacherl, B., & Sauzet, O. (2023). Gravity models for potential spatial healthcare access measurement: A systematic methodological review. *International Journal of Health Geographics, 22* (1), 34. https://doi.org/10.1186/s12942-023-00358-z

Sun, S., Sun, Q., Zhang, F., & Ma, J. (2024). A spatial accessibility study of public hospitals: A multi-mode gravity-based two-step floating catchment area method. *Applied Sciences, 14* (17), 7713. https://doi.org/10.3390/app14177713

Tian, F., Lu, S., Yang, Z., Zhao, T., Li, P., & Zhang, H. (2025). Spatial analysis of prehospital emergency medical services accessibility: A comparative evaluation of the GAUSS-probability two-step floating catchment area model in Handan City. *Frontiers in Public Health, 13,* 1548462. https://doi.org/10.3389/fpubh.2025.1548462

Wan, N., Zou, B., & Sternberg, T. (2012). A three-step floating catchment area method for analyzing spatial access to health services. *International Journal of Geographical Information Science, 26* (6), 1073–1089. https://doi.org/10.1080/13658816.2011.624987

Xing, L., Chen, Q., Liu, Y., & He, H. (2024). Evaluating the accessibility and equity of urban health resources based on multi-source big data in high-density city. *Sustainable Cities and Society, 100,* 105049. https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.105049

References

Beks, H., Wood, S. M., Clark, R. A., & Vincent, V. L. (2023). Spatial methods for measuring access to health care. *European Journal of Cardiovascular Nursing, 22* (8), 832–840. https://doi.org/10.1093/eurjcn/zvad086

Ben-Akiva, M. E., & Lerman, S. R. (1985). *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand.* The MIT Press.

Donchenko, V. V. (2023). Accessibility and methods of its assessment in urban transport systems planning. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura,* (1(35)), 19. (In Russ.)

Grannis, S. J., Williams, J. L., Kasthuri, S., Murray, M., & Xu, H. (2022). Evaluation of real-world referential and probabilistic patient matching to advance patient identification strategy. *Journal of the American Medical Informatics Association, 29* (8), 1409–1415. https://doi.org/10.1093/jamia/ocac068

Guagliardo, M. F. (2004). Spatial accessibility of primary care: Concepts, methods and challenges. *International Journal of Health Geographics, 3* (1), 3. https://doi.org/10.1186/1476-072X-3-3

Huff, D. L. (1963). A probabilistic analysis of shopping center trade areas. *Land Economics, 39* (1), 81–90. https://doi.org/10.2307/3144521

Hwang, K., Jang, H., Lee, T., Kim, M., Shin, H., & Lee, T. (2017). A choice model for estimating realized accessibility: Case study for obstetrics care in Korea. In P. Cappanera, J. Li, A. Matta, E. Sahin, N. Vandaele, F. Visintin (Eds.), *Health Care Systems Engineering: HCSE, Florence, Italy, May 2017 3* (pp. 73–85). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-66146-9_7

Jang, H. (2021). A model for measuring healthcare accessibility using the behavior of demand: A conditional logit model-based floating catchment area method. *BMC Health Services Research, 21* (1), 660. https://doi.org/10.1186/s12913-021-06654-3

Joseph, A. E., & Phillips, D. R. (1984). *Accessibility and utilization: Geographical perspectives on health care delivery.* Harper & Row.

Kalininskaya, A. A., & Bayanova, N. A. (2020). Scientific substantiation of the assessment of the territorial availability of primary medical health care to the rural population. *Kazanskiy meditsinskiy zhurnal [Kazan medical journal], 101* (6), 890–896. https://doi.org/10.17816/KMJ2020-890 (In Russ.)

Khashoggi, B. F., & Murad, A. (2021). Use of 2SFCA method to identify and analyze spatial access disparities to healthcare in Jeddah, Saudi Arabia. *Applied Sciences, 11* (20), 9537. https://doi.org/10.3390/app11209537

Labban, M., Chen, C.-R., Frego, N., Nguyen, D., Lipsitz, S. R., Reich, A. J., Rebbeck, T. R., Choueiri, T. K., Kibel, A. S., Iyer, H. S., & Trinh, Q. (2023). Disparities in travel-related barriers to accessing health care from the 2017 National Household Travel Survey. *JAMA Network Open, 6* (7), e2325291. https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2023.25291

Liu, X., Lin, Z., Huang, J., Gao, H., & Shi, W. (2021). Evaluating the inequality of medical service accessibility using smart card data. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 18* (5), 2711. https://doi.org/10.3390/ijerph18052711

Luo, W., & Wang, F. (2003). Measures of spatial accessibility to healthcare in a GIS environment: Synthesis and a case study in Chicago region. *Environment and Planning B: Planning and Design, 30* (6), 865–884. https://doi.org/10.1068/b29120

McGrail, M. R. (2012). Spatial accessibility of primary health care utilising the two step floating catchment area method: An assessment of recent improvements. *International Journal of Health Geographics, 11* (1), 50. https://doi.org/10.1186/1476-072X-11-50

McGrail, M., & Humphreys, J. (2014). Measuring spatial accessibility to primary health care services: Utilising dynamic catchment sizes. *Applied Geography, 54,* 182–188. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.08.005

Ouma, P., Macharia, P. M., Okiro, E., & Alegana, V. (2021). Methods of measuring spatial accessibility to health care in Uganda. In P. T. Makanga (Ed.), *Practicing Health Geography* (pp. 87–105). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-63471-1_6

Páez, A., Scott, D. M., & Morency, C. (2012). Measuring accessibility: Positive and normative implementations of various accessibility indicators. *Journal of Transport Geography, 25* (C), 141–153. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2012.03.016

Parfenova, K. V., & Faleychik, L. M. (2020). Evaluation of transportation availability of the inter-district health centers in the Transbaikal territory. *Social'nye aspekty zdorov'ya naseleniya [Social aspects of population health], 66* (4), 8. https://doi.org/10.21045/2071-5021-2020-66-4-8 (In Russ.)

Shartova, N. V., Grischenko, M. Yu., & Revich, B. A. (2019). Geographical accessibility of health services based on open data in the Arkhangelsk region. *Social'nye aspekty zdorov'ya naselenia [Social aspects of population health], 65*(6). (In Russ.)

Shartova, N. V., Grishchenko, M. Yu., & Vatlina, T. V. (2023). Territorial accessibility of medical institutions for the residents of the North of Russia. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya [Lomonosov Geography Journal], 78*(5), 104–114. https://doi.org/10.55959/MSU0579-9414.5.78.5.10 (In Russ.)

Stacherl, B., & Sauzet, O. (2023). Gravity models for potential spatial healthcare access measurement: A systematic methodological review. *International Journal of Health Geographics, 22*(1), 34. https://doi.org/10.1186/s12942-023-00358-z

Sun, S., Sun, Q., Zhang, F., & Ma, J. (2024). A spatial accessibility study of public hospitals: A multi-mode gravity-based two-step floating catchment area method. *Applied Sciences, 14*(17), 7713. https://doi.org/10.3390/app14177713

Tian, F., Lu, S., Yang, Z., Zhao, T., Li, P., & Zhang, H. (2025). Spatial analysis of prehospital emergency medical services accessibility: A comparative evaluation of the GAUSS-probability two-step floating catchment area model in Handan City. *Frontiers in Public Health, 13,* 1548462. https://doi.org/10.3389/fpubh.2025.1548462

Wan, N., Zou, B., & Sternberg, T. (2012). A three-step floating catchment area method for analyzing spatial access to health services. *International Journal of Geographical Information Science, 26*(6), 1073–1089. https://doi.org/10.1080/13658816.2011.624987

Xing, L., Chen, Q., Liu, Y., & He, H. (2024). Evaluating the accessibility and equity of urban health resources based on multi-source big data in high-density city. *Sustainable Cities and Society, 100,* 105049. https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.105049

Zakieva, L. F. (2024) The features of medical institutions placement in the spatial structure of Kazan. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. SHuhova [Bulletin of Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov],* (6), 52–61. https://doi.org/10.34031/2071-7318-2024-9-6-52-61 (In Russ.)

Информация об авторе

Бегичева Светлана Викторовна — кандидат экономических наук, доцент кафедры бизнес-информатики, Уральский государственный экономический университет; https://orcid.org/0000-0002-0551-1622 (Российская Федерация, 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, д. 62; e-mail: begichevas@mail.ru).

About the author

Svetlana V. Begicheva — Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor, Department of Business Informatics, Ural State University of Economics; https://orcid.org/0000-0002-0551-1622 (62, 8 Marta St., Ekaterinburg, 620144, Russian Federation; e-mail: begichevas@mail.ru).

Дата поступления рукописи: 02.04.2025.
Прошла рецензирование: 16.04.2025.
Принято решение о публикации: 02.06.2025.
Received: 02 Apr 2025.
Reviewed: 16 Apr 2025.
Accepted: 02 Jun 2025.