

Модифицированная гравитационная модель оценки доступности медицинских услуг: задача, алгоритм и реализация

С. В. Бегичева^{1*}, А. К. Бегичева²

¹Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия

²Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва, Россия
*begichevas@mail.ru

Аннотация. Территориальное неравенство в доступе к медицинской помощи является актуальной проблемой для системы здравоохранения Российской Федерации. Значительные различия в транспортной доступности, кадровом обеспечении и пространственном распределении медицинских учреждений осложняют процесс принятия обоснованных управленческих решений, особенно в регионах с неравномерной плотностью населения и фрагментированной инфраструктурой. В связи с этим возникает необходимость в разработке формализованных и воспроизводимых подходов к оценке доступности медицинских услуг, адаптированных к региональной специфике и пригодных для цифровой реализации. Целью настоящего исследования является разработка методики оценки потенциальной доступности медицинских учреждений, основанной на модифицированной гравитационной модели и реализуемой в виде алгоритма, учитывающего транспортные затраты, ресурсную емкость учреждений, перекрытие зон обслуживания. В отличие от традиционных моделей, таких как 2SFCA и классических гравитационных моделей, предложенный подход предусматривает возможность калибровки параметров на основе эмпирических данных и учитывает конкуренцию между территориями за ресурсы здравоохранения. Методологическая основа включает экспоненциальную функцию пространственного затухания и двойную нормализацию по совокупному предложению. Новизна методики заключается в интеграции этих компонентов в единый расчетный индекс потенциальной пространственной доступности, пригодный для масштабируемой цифровой реализации. Алгоритм реализован в программной среде R с использованием маршрутизатора OSRM для расчета времени в пути по дорожной сети. Апробирование модели было проведено на примере муниципальных образований Свердловской области. Результаты апробирования (коэффициент детерминации $R^2 = 0,252$, средняя абсолютная процентная ошибка MAPE < 28%) подтвердили интерпретируемость и прикладную значимость модели. Предложенный подход может быть использован для мониторинга доступности медицинских услуг, выявления территорий с дефицитом ресурсов здравоохранения и планирования их пространственного распределения. Кроме того, данный подход может быть адаптирован для применения в других сферах социальной инфраструктуры.

Ключевые слова: пространственный анализ, потенциальная пространственная доступность, гравитационная модель, здравоохранение, индекс доступности, территориальное неравенство

Для цитирования: Бегичева С.В., Бегичева А.К. Модифицированная гравитационная модель оценки доступности медицинских услуг: задача, алгоритм и реализация // Прикладная информатика. 2025. Т. 20. № 5. С. 4–21. DOI: 10.37791/2687-0649-2025-20-5-4-21

© Бегичева С.В., Бегичева А.К., 2025.

Modified gravity model for assessing healthcare accessibility: problem statement, algorithm, and implementation

S. Begicheva¹*, A. Begicheva²

¹Ural State University of Economics, Yekaterinburg, Russia

²HSE University, Moscow, Russia

*begichevas@mail.ru

Abstract. Territorial inequality in access to healthcare remains a pressing issue for the healthcare system of the Russian Federation. Significant disparities in transport accessibility, staffing levels, and the spatial distribution of medical facilities complicate evidence-based decision-making, especially in regions with uneven population density and fragmented infrastructure. This creates the need for formalized and reproducible approaches to assessing healthcare accessibility that are adapted to regional specificities and suitable for digital implementation. The aim of this study is to develop a methodology for assessing the potential accessibility of medical facilities, based on a modified gravity model and implemented as an algorithm that accounts for travel time, facility capacity, and overlapping service areas. Unlike traditional models such as 2SFCA and classical gravity models, the proposed approach allows for parameter calibration based on empirical data and incorporates territorial competition for healthcare resources. The methodological foundation includes an exponential distance-decay function and dual normalization by total service supply. The novelty of the methodology lies in the integration of these components into a unified, computable index of potential spatial accessibility suitable for scalable digital implementation. The algorithm was developed in the R programming environment using the OSRM routing engine to calculate travel times over the road network. The model was tested using data from the municipalities of Sverdlovsk oblast. The results ($R^2 = 0.252$, mean absolute percentage error MAPE < 28%) confirmed the model's interpretability and practical relevance. The proposed approach can be used for monitoring healthcare accessibility, identifying underserved areas, and informing spatial resource allocation. Moreover, the methodology can be adapted for other types of social infrastructure.

Keywords: spatial analysis, potential spatial accessibility, gravity model, healthcare, accessibility index, territorial inequality

For citation: Begicheva S., Begicheva A. Modified gravity model for assessing healthcare accessibility: problem statement, algorithm, and implementation. *Prikladnaya informatika*=Journal of Applied Informatics, 2025, vol.20, no.5, pp.4-21 (in Russian). DOI: 10.37791/2687-0649-2025-20-5-4-21

© Begicheva S., Begicheva A., 2025.

Введение

Территориальное неравенство в доступности медицинской помощи является одной из ключевых проблем в системе здравоохранения Российской Федерации. Актуальность исследования определяется наличием географических различий в доступности медицинских ус-

луг, которые проявляются как между субъектами федерации, так и внутри отдельных регионов [6, 25].

Для повышения результативности территориального планирования и оптимизации распределения ресурсов необходимы инструменты, позволяющие проводить объективную и формализованную оценку