

УДК 519.237.5:004.43:303.7:616.28-008.1-53.9  
https://doi.org/10.18692/1810-4800-2021-6-8-19

## Пространственный кластерный анализ в моделировании доступности медицинской помощи пожилым пациентам с нарушениями слуха

А. А. Корнеев<sup>1</sup>, Е. А. Левина<sup>1</sup>, Е. Э. Вяземская<sup>1</sup>, С. В. Левин<sup>1</sup>, И. Н. Скирпичников<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха, горла, носа и речи, Санкт-Петербург, 190013, Россия

<sup>2</sup> Челябинская областная клиническая больница, Челябинск, 454048, Россия

## Spatial cluster modeling of access of elderly patients with hearing loss to medical services

A. A. Korneenkov<sup>1</sup>, E. A. Levina<sup>1</sup>, E. E. Vyazemskaya<sup>1</sup>, S. V. Levin<sup>1</sup>, I. N. Skirpichnikov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Saint Petersburg Research Institute of Ear, Throat, Nose and Speech, Saint Petersburg, 190013, Russia

<sup>2</sup> Chelyabinsk Regional Clinical Hospital, Chelyabinsk, 454048, Russia

Доступность и качество медицинской помощи обеспечивается организацией оказания медицинской помощи по принципу приближенности к месту жительства. Увеличение количества медицинских учреждений однозначно повысит доступность медицинской помощи, но также повысит и затраты на ее оказание, снизив таким образом в целом эффективность системы здравоохранения. В статье рассматривается решение задачи оптимизации оказания сурдологической помощи пожилым пациентам с нарушением слуха и глухотой путем нахождения оптимального количества медицинских учреждений, оказывающих эту помощь, и их географического размещения в пределах Челябинской области. Задача решалась на основе минимизации расстояния и времени, затрачиваемого пациентами на проезд до места оказания медицинской помощи, с использованием пространственного кластерного анализа. Продемонстрированы возможности пространственной кластеризации к созданию обоснованных предпосылок для оптимального математически обоснованного решения задач повышения доступности медицинской инфраструктуры для населения. Моделирование доступности медицинской помощи на основе показателя времени в пути до медицинской организации требует использования геоинформационных систем, оценивающих в реальном времени дорожный трафик. Подобные задачи необходимо предусмотреть в случае широкого использования показателей доступности для решения задач организации и оптимизации территориальных систем здравоохранения.

**Ключевые слова:** доступность медицинской помощи, сурдологическая помощь, кластерный анализ, оптимизация сети медицинских учреждений, пространственный анализ.

**Для цитирования:** Корнеев А. А., Левина Е. А., Вяземская Е. Э., Левин С. В., Скирпичников И. Н. Пространственный кластерный анализ в моделировании доступности медицинской помощи пожилым пациентам с нарушениями слуха. *Российская оториноларингология*. 2021;20(6):8–19. https://doi.org/10.18692/1810-4800-2021-6-8-19

The availability and quality of medical care is ensured by the organization of medical care according to the principle of proximity to the place of residence. The increase in the number of medical institutions will definitely increase the availability of medical care, but it will also increase the cost of providing it, thus reducing the overall efficiency of the health care system. The article discusses the solution to the problem of optimizing the provision of audiological care to elderly patients with hearing impairment and deafness by finding the optimal number of medical institutions providing this assistance and their geographical location within the Chelyabinsk region. The problem was solved on the basis of minimizing the distance and time spent by patients to travel to the place of medical care, using spatial cluster analysis. The possibilities of spatial clustering to

create reasonable prerequisites for the optimal solution of the problems of increasing the availability of medical infrastructure for the population are demonstrated.

**Keywords:** accessibility of medical care, audiological care, cluster analysis, optimization of a network of medical institutions, spatial analysis.

**For citation:** Korneenkov A. A., Levina E. A., Vyazemskaya E. E., Levin S. V., Skirpichnikov I. N. Spatial cluster modeling of access of elderly patients with hearing loss to medical services. *Rossiiskaya otorinolaringologiya*. 2021;20(6):8-19. <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2021-6-8-19>

#### Используемые сокращения

НСГ – нарушение слуха и глухота

СМП – специализированная медицинская помощь

#### Used abbreviations

HLD – hearing loss and deafness

SMC – specialized medical care

#### Введение

Широкая распространенность болезней, связанных с нарушением слуха и глухотой (НСГ), представляет серьезную проблему для здоровья населения [1] и требует значительных затрат на оказание специализированной медицинской помощи (СМП), реабилитацию и абилитацию. Показатели распространенности среди населения инвалидизирующих НСГ увеличились с 1% в 1985 г. до 6,1% в 2018 г. [2]. В возникновении НСГ место проживания человека, его пространственные координаты играют определенную роль, обуславливают интенсивность многих факторов возникновения НСГ и могут рассматриваться как самостоятельный пространственный фактор в эпидемиологии НСГ, а также учитываться в организации оказания СМП. Изучением связи различных аспектов здоровья человека и здравоохранения с пространственными координатами давно занимаются в рамках различных прикладных наук на стыке географии, биологии, медицины и т. п., где с успехом применяются методы пространственной статистики [3, 4].

Общей проблемой в пространственной статистике является определение того, группируются ли объекты в группы, и если да, то в какие группы они группируются [5]. Кластерный анализ используется в построении пространственных моделей в так называемом исследовательском пространственном анализе данных (англ. Exploratory Spatial Data Analysis, ESDA) и преследует две основные цели: 1) распознавание пространственных образов (паттернов) с использованием визуализации, пространственной статистики и геостатистики; 2) формирование гипотез для определения реалистичных и проверяемых интерпретаций географических закономерностей, обнаруженных в рамках достижения первой цели. Пространственный кластерный анализ может играть важную роль в решении различных задач здравоохранения. Он обычно используется в медицинской географии, пространственной эпидемиологии, популяционной генетике, медицинской экологии и многих других областях, но его основные принципы остаются теми же.

#### Introduction

The widespread prevalence of diseases associated with hearing loss and deafness (HLD) is a serious problem for the health of the population [1] and requires significant costs for the provision of specialized medical care (SMC), rehabilitation, and habilitation. The prevalence rates of disabling HLD among the population increased from 1% in 1985 to 6,1% in 2018 [2]. In the emergence of HLD, the place of residence of a person, his spatial coordinates play a certain role, determine the intensity of many factors in the occurrence of HLD, and can be considered as an independent spatial factor in the epidemiology of HLD, as well as considered in the organization of the provision of SMC. The study of the relationship between various aspects of human health and health care with spatial coordinates has long been engaged in various applied sciences at the intersection of geography, biology, medicine, etc., where the methods of spatial statistics are successfully applied [3, 4].

A common problem in spatial statistics is determining whether objects are grouped into groups, and if so, which groups they are grouped into [5]. Cluster analysis is used in the construction of spatial models in the so-called exploratory spatial data analysis (ESDA) and has two main goals: 1) recognition of spatial patterns using visualization, spatial statistics, and geostatistics; 2) forming hypotheses to identify realistic and testable interpretations of geographic patterns found in the first goal. Spatial cluster analysis can play an important role in solving various health problems. It is commonly used in medical geography, spatial epidemiology, population genetics, medical ecology, and many other fields, but its basic principles remain the same.

Как известно, согласно п. 1 статьи 10 Федерального закона от 21.11.2011 № 323-ФЗ (ред. от 02.07.2021) «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации» доступность и качество медицинской помощи обеспечиваются организацией оказания медицинской помощи по принципу приближенности к месту жительства, месту работы или обучения. Однако надо учитывать, что географическая близость не всегда означает малое время для проезда до медицинской организации: на это также оказывают влияние развитость транспортной сети, интенсивность дорожного трафика, наличие и достаточность общественного транспорта, расписание движения и т. д. Увеличение количества медицинских организаций однозначно повысит доступность СМП, но также повысит и затраты на ее оказание, снизив таким образом в целом эффективность системы здравоохранения. Для решения подобных оптимизационных задач с успехом применяются современные информационные системы, которые учитывают различные ограничения, факторы и позволяют создавать модели на основе исходных данных о местоположении потребителей СМП, факторах времени и расстояния и возможностях оказания СМП.

### Цель исследования

Решение задачи оптимизации оказания сурдологической помощи пациентам с нарушением слуха и глухотой (НСГ) путем нахождения оптимального количества медицинских центров, оказывающих эту помощь, и их географического размещения в пределах Челябинской области. Задача решалась на основе минимизации расстояния и времени, затрачиваемого пациентами на проезд до места оказания медицинской помощи, с использованием пространственного кластерного анализа.

### Материалы и методы исследования

Ретроспективное поперечное обсервационное исследование было проведено с использованием обезличенных данных пациентов, обратившихся в период с 2016 по 2019 г. в областной сурдологопедический центр на базе Челябинской областной клинической больницы (далее – сурдоцентр).

Для обработки и визуализации пространственных данных были использованы различные библиотеки (ggplot2, rdal и другие) программного пакета R, который хорошо себя зарекомендовал для решения широкого круга статистических задач [3, 4, 6]. Пространственные данные об административно-территориальном делении Челябинской области (полигоны муниципальных округов, районов, дорог и т. п.) получены из OpenStreetMap (сокращенно OSM) – некоммерче-

As is commonly known, following clause 1 of article 10 of the Federal Law of November 21, 2011, No. 323-FZ (as amended on July 2, 2021) „On fundamental healthcare principles in the Russian Federation“, the availability and quality of medical care are ensured by the organization of medical care according to the principle of proximity to the place of residence, place of work or study. However, it should be borne in mind that geographical proximity does not always mean a short travel time to a medical institution: this is also influenced by the development of the transport network, the intensity of road traffic, the availability, and the sufficiency of public transport, the timetable, etc. An increase in the number of medical organizations will increase the accessibility of SMC, but will also increase the cost of its provision, thus reducing the overall efficiency of the health care system. To solve such optimization problems, modern information systems are successfully used, which consider various constraints, factors and make it possible to create models based on the initial data on the location of SMC consumers, time and distance factors, and the possibilities of SMC provision.

### Objectives

Solving the problem of optimizing the provision of audiological care to patients with HLD by finding the optimal number of medical centers providing this assistance and their geographical location within Chelyabinsk region. The problem was solved based on minimizing the distance and time spent by patients on travel to the place of medical care, using spatial cluster analysis.

### Materials and research methods

A retrospective cross-sectional observational study was carried out using anonymized data of patients who applied in the period from 2016 to 2019 at the regional audiological center based on Chelyabinsk regional clinical hospital (hereinafter, the audiology center).

For processing and visualization of spatial data, various libraries (ggplot2, rdal, and others) of the R software package were used, which has proven itself well for solving a wide range of statistical problems [3, 4, 6]. Spatial data on the administrative-territorial division of Chelyabinsk region (polygons of municipal and rural districts, roads, etc.) were obtained from OpenStreetMap (abbreviated OSM) – a non-commercial web mapping project using the Overpass Turbo service (<http://>