



Сравнительная оценка применимости инструментов пространственного анализа данных для оценки и прогнозирования состояния факторов среды обитания

В.Н. Федоров¹, Н.А. Тихонова¹, А.Н. Кизеев¹, А.В. Киселев²

¹ ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья»,
2-я Советская ул., д. 4, г. Санкт-Петербург, 191036, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова» Минздрава
России, Пискаревский пр., д. 47, г. Санкт-Петербург, 195067, Российская Федерация

Резюме

Введение. Геоинформационные системы активно применяются (ГИС) при оценке санитарно-эпидемиологического благополучия, планировании контрольно-надзорных мероприятий и организации мониторинга благодаря набору инструментов пространственного анализа, позволяющего прогнозировать величину и распределение значений фактора в пределах изучаемой территории на основании ограниченного числа исходных данных. Развитие ГИС привело к появлению множества вариаций таких инструментов, а многообразие методов в их основе затрудняет их выбор, что может приводить к некорректным результатам.

Цель исследования – оценка инструментов пространственного анализа данных, реализованных в геоинформационных системах (на примере ArcGIS), с позиции их применимости для задач оценки санитарно-эпидемиологической обстановки.

Материалы и методы. Использованы результаты мониторинга качества атмосферного воздуха в г. Санкт-Петербурге в 2022–2023 гг.; питьевой воды, атмосферного воздуха и данные заболеваемости населения в Архангельской, Мурманской и Вологодской областях за период 2018–2023 гг.; данные сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха в городе Петровске-Забайкальском по состоянию на 2023 г. Анализировались методы визуализации распределения пространственно-привязанных данных при помощи инструментов пространственного анализа и группировки данных на примере геоинформационной системы ArcMap 9.3.

Результаты. Проведенный анализ показал важность учета характеристик выборок анализируемых данных, типа и характера самих данных при выборе определенных инструментов группировки (классификации) данных или геостатистического анализа. На практических примерах проиллюстрирована значимость выбора определенного метода пространственного анализа для результата прогноза распределения величин показателя.

Обсуждение. Традиционные ГИС сохраняют свою актуальность при анализе факторов среды обитания, заболеваемости населения и результатов социально-гигиенического мониторинга, где требуется применение специализированных инструментов группировки данных и геостатистики. Для получения объективных результатов необходимо учитывать свойства массива данных при выборе инструмента анализа.

Заключение. Сформулированы рекомендации по выбору оптимальных инструментов пространственного анализа для задач оценки и прогнозирования санитарно-эпидемиологической обстановки с учетом типа данных, характеристик их выборок и поставленных целей.

Ключевые слова: геоинформационные системы, пространственный анализ, факторы среды обитания.

Для цитирования: Федоров В.Н., Тихонова Н.А., Кизеев А.Н., Киселев А.В. Сравнительная оценка применимости инструментов пространственного анализа данных для оценки и прогнозирования состояния факторов среды обитания // Здоровье населения и среда обитания. 2025. Т. 33. № 5. С. 17–28. doi: 10.35627/2219-5238/2025-33-5-17-28

Comparative Assessment of Applicability of Spatial Data Analysis Tools for Assessing and Predicting the State of Environmental Factors

Vladimir N. Fedorov,¹ Nadezhda A. Tikhonova,¹ Aleksei N. Kizeev,¹ Anatoly V. Kiselev²

¹ North-West Public Health Research Center, 4, 2nd Sovetskaya Street, Saint Petersburg, 191036, Russian Federation

² North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, 47 Piskarevsky Avenue, Saint Petersburg, 195067, Russian Federation

Summary

Introduction: Geographic information systems (GIS) are widely used in assessing sanitary and epidemiological well-being, planning control and supervisory activities, and organizing monitoring owing to a set of spatial analysis tools that allows prediction of the magnitude and distribution of values of a factor within the study area based on limited initial data. GIS development has led to the emergence of many variations of such tools while the variety of methods at their core complicates the choice, potentially leading to erroneous results.

Objective: To analyze tools of spatial data analysis implemented in geographic information systems from the standpoint of their applicability to the tasks of assessing and forecasting environmental conditions.

Materials and methods: We used the results of ambient air quality monitoring in St. Petersburg in 2022–2023; drinking water and ambient air quality and morbidity data collected in the Arkhangelsk, Murmansk, and Vologda regions in 2018–2023, and the results of summary calculations of ambient air pollution in the city of Petrovsk-Zabaikalsky as of 2023. Methods of visualization of distribution of spatially referenced data using spatial analysis and data grouping tools were analyzed using the ArcMap 9.3 geographic information system as an example.

Results: Our findings showed the importance of taking into account characteristics of the samples of analyzed data, the type and nature of the data themselves when choosing certain tools for grouping (classifying) data or performing geostatistical analysis. Practical examples illustrate the significance of choosing a certain spatial analysis method for the result of forecasting value distribution of an indicator.

Discussion: Traditional GIS remain relevant in the analysis of environmental factors, incidence and prevalence rates, and the results of public health monitoring, which require the use of specialized tools for data grouping and geostatistics. To obtain objective results, it is essential to take into account properties of the data array when choosing an analysis tool.

Conclusion: Recommendations for selecting the optimal spatial analysis tools for the tasks of assessing and forecasting the sanitary and epidemiological situation given the type of data, their sample characteristics, and the goals set are suggested.

Keywords: geographic information systems, spatial analysis, environmental factors.

Cite as: Fedorov VN, Tikhonova NA, Kizeev AN, Kiselev AV. Comparative assessment of applicability of spatial data analysis tools for assessing and predicting the state of environmental factors. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2025;33(5):17–28. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2025-33-5-17-28

Введение. Одним из ключевых инструментов для обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения является социально-гигиенический мониторинг (СГМ)^{1,2}. В процессе проведения СГМ используются не только данные Роспотребнадзора, но и информация от других федеральных органов исполнительной власти, которые охватывают биологические, химические, физические, социальные и природно-климатические факторы, определяющие качество среды обитания человека^{1,3} [1, 2]. Для накопления и систематизации информации применяются программные продукты, которые позволяют собирать, обрабатывать и визуализировать данные. Современные подходы к ведению СГМ предъявляют особые требования к сбору и анализу разнообразной информации⁴ [3].

Анализ больших данных, имеющих привязку к территориям, – инфекционных и паразитарных заболеваний, качества питьевого водоснабжения, состояния почвы, продуктов питания и медико-демографических показателей – является основой для оценки санитарно-эпидемиологического благополучия населения и фундаментом для формирования управленческих решений в рамках СГМ [4–6]. Объем собираемых данных, их характер и наличие пространственной привязки обусловили актуальность применения геоинформационных систем (ГИС) для решения задач, связанных с анализом и прогнозированием состояния факторов среды обитания, здоровья населения, медико-демографических и социально-экономических показателей⁵ [6–10].

В настоящее время использование ГИС при оценке санитарно-эпидемиологической обстановки является отдельным научным направлением [11–13]. В частности, в научно-исследовательскую программу Роспотребнадзора на 2021–2025 годы включен пункт 1.3.7 «Управление эпидемиологическими рисками с помощью ГИС-технологий» [14].

Помимо традиционных методов картирования и визуализации расположения объектов существуют и более сложные аспекты применения ГИС: многомерный анализ территории, интерполяционный и геостатистический анализ и другие^{6,7}. Современное развитие ГИС привело к появлению множества инструментов пространственного анализа, из которых для целей и задач оценки и прогнозирования санитарно-эпидемиологической обстановки применяются, главным образом, интерполяция, классификация (кластеризация) и геостатистический анализ⁸ [15–21].

Многообразие методов, лежащих в основе инструментов пространственного анализа в современных ГИС, может приводить к их необоснованному выбору и, как следствие, к некорректным результатам.

Цель исследования – оценка инструментов пространственного анализа данных, реализованных в геоинформационных системах (на примере ArcGIS) с позиции их применимости для задач оценки санитарно-эпидемиологической обстановки.

Материалы и методы. Использовались результаты мониторинга качества атмосферного воздуха в г. Санкт-Петербурге в 2022–2023 гг.; мониторинга качества питьевой воды, атмосферного воздуха и данные заболеваемости населения в Архангельской, Мурманской и Вологодской областях на основе данных Федерального информационного фонда социально-гигиенического мониторинга Роспотребнадзора за период 2018–2023 гг.; сводные расчеты загрязнения атмосферного воздуха в городе Петровске-Забайкальском по состоянию на 2023 г.

В работе анализировались методы визуализации распределения пространственно-привязанных данных, реализуемые при помощи инструментов пространственного анализа на примере геоинформационной системы ArcMap 9.3 (ArcGIS by ESRI).

Результаты. Область применения инструментов пространственного анализа в ГИС при оценке и прогнозировании санитарно-эпидемиологической обстановки в целом или отдельных ее факторов можно условно разделить на следующие направления:

- группировка данных на основе методов классификации или кластеризации: объединение в одну группу полигональных объектов на карте (территорий) на основании схожести величины проявления изучаемого показателя, ассоциированного со значительной территорией (заболеваемость населения, социально-экономические показатели и др.) с одинаковой цветовой маркировкой;
- моделирование пространственного распределения интенсивности фактора на основе расчетных значений в точках: распределение концентраций примесей в атмосферном воздухе, уровней шума [22];
- моделирование неизвестных значений показателя на основе имеющихся ограниченных данных, что позволяет создать модель и прогнозные поверхности пространственного явления на базе выбранных данных и провести оценку моделирования распределения величин показателя (уровни загрязнения воздуха, распределение шума и др.) [22];

¹ Горбанев С.А., Куличенко А.Н., Федоров В.Н., Дубянский В.М., Новикова Ю.А., Ковшов А.А., Тихонова Н.А., Шаяхметов О.Х. Организация межрегиональной системы мониторинга с использованием технологий геоинформационной системы на примере Арктической зоны Российской Федерации // Гигиена и санитария. 2018. Т. 97. № 12. С. 1133–1140. doi: 10.18821/0016-9900-2018-97-12-1133-1140

² Федеральный закон Российской Федерации от 30.03.1999 № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения».

³ Зайцева Н.В., Май И.В., Кирьянов Д.А. и др. Социально-гигиенический мониторинг на современном этапе: состояние и перспективы развития в сопряжении с рискоориентированным надзором // Анализ риска здоровью. 2016; 4. <https://journal.fcrisk.ru/2016/4/1>.

⁴ Онищенко Г.Г., Зайцева Н.В., Май И.В. и др. Анализ риска здоровью в стратегии государственного социально-экономического развития / под общ. ред. Г.Г. Онищенко, Н.В. Зайцевой. Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. 738 с.

⁵ Куролап С.А., Клепиков О.В. Методический подход к созданию системы медико-экологического мониторинга крупного промышленного центра с применением геоинформационных технологий // Медико-экологическая диагностика состояния окружающей среды города Воронежа: сборник научных статей. Воронеж: Изд-во «Научная книга», 2017. С. 6–20.

⁶ Петров Е.И., Струков Д.Р., Красильников И.А. Геоинформационные технологии в здравоохранении // Региональная информатика 2002: Материалы Юбилейной 8й СанктПетербургской междунар. конф., 26–28 ноября 2002 г. СПб., 2002. С. 23–24.

⁷ Струков Д.Р., Горохов В.Л. Геоинформационные системы и многомерные статистические методы пространственного анализа для исследования заболеваемости // Информационно-управляющие системы. 2009. № 3. С. 56–62.

⁸ Миронова Ю.Н. Краткий обзор геоинформационного программного обеспечения // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2014. № 7–1. <https://cyberleninka.ru/article/n/kratkiy-obzor-geoinformatsionnogo-programmnogo-obespecheniya>

Моделирование пространственного распределения интенсивности фактора на основе расчетных значений в точках применяется главным образом при оценке уровней загрязнения атмосферного воздуха на основе расчетов рассеивания загрязнителей в рамках обоснования достаточности размеров санитарно-защитных зон промышленных предприятий либо комплексном прогнозировании уровней загрязнения атмосферного воздуха населенных мест промышленными объектами с помощью моделирования.

Другое направление применения – моделирование распределения риска для здоровья населения при химическом загрязнении атмосферного воздуха.

В функционале большинства ГИС для этих целей используются модули геостатистического анализа (Geostatistical Analyst) и пространственного анализа (Spatial Analyst). Геостатистический анализ на примере ArcGIS может быть выполнен с помощью различных методов пространственной интерполяции: обратных взвешенных расстояний, радиальных базисных функций, глобальных и локальных полиномов, кригинга и кокригинга и других.

Модуль геостатистического анализа позволяет визуализировать пространственное распределение величин исследуемого показателя на основе его расчетных значений в точках координатной сетки. С этой целью необходимо построение сетки точек с заданными координатами и значениями показателя в каждой из координат, что на практике обычно реализуется в виде файла в формате MS Office Excel.

В свою очередь, расчетные значения показателя в точках могут быть получены с помощью специализированных программ для ЭВМ, реализующих соответствующие расчетные методики^{9,10}.

Результаты пространственной интерполяции могут быть визуализированы на карте в виде цветовой градиентной заливки (filled contours), контуров границ диапазонов значений показателя (изолиний (contours) и др.) (рис. 2).

Визуализация контуров границ диапазонов значений показателя (изолиний) позволяет выделить достижение допустимых значений показателя (например, величины предельно допустимой концентрации или приемлемого уровня риска для здоровья), что актуально при оценке зоны влияния

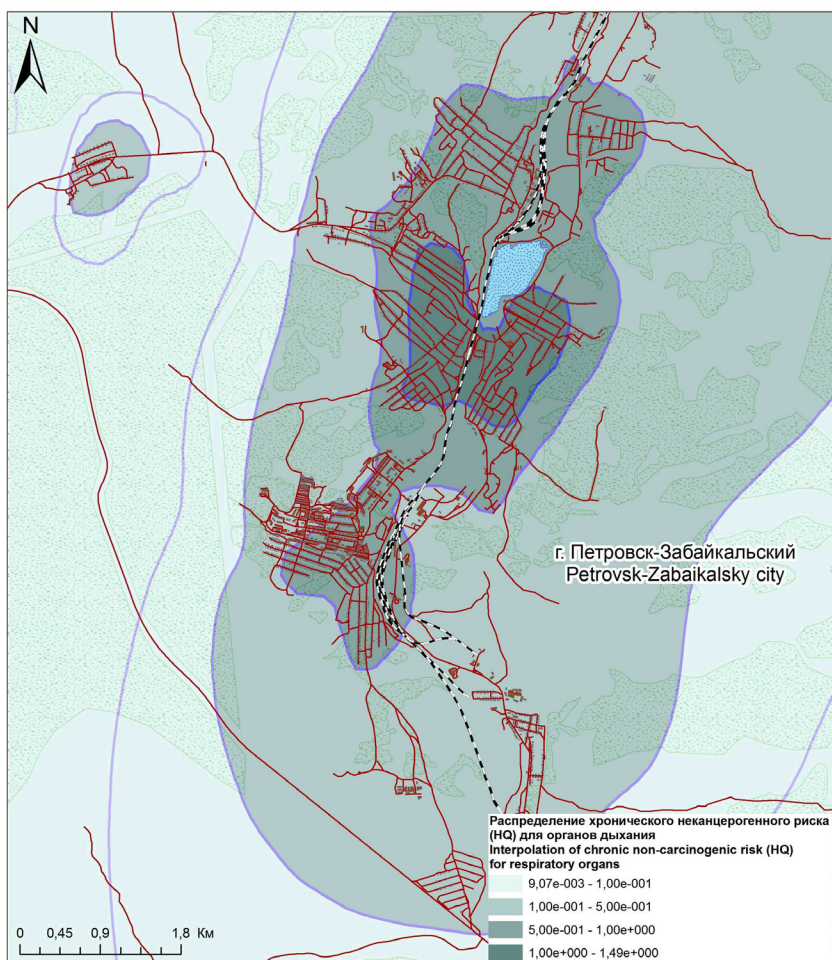


Рис. 2. Пример визуализации пространственной интерполяции уровней риска для здоровья населения от химического загрязнения атмосферного воздуха в г. Петровске-Забайкальском с помощью модуля геостатистического анализа в ArcGIS

Fig. 2. An example of visualization of spatial interpolation of population health risks posed by chemical air pollution in the city of Petrovsk-Zabaikalsky using the ArcGIS Geostatistical Analyst extension

промышленного объекта или достаточности размеров санитарно-защитной зоны.

Помимо пространственной интерполяции загрязнения атмосферного воздуха инструменты пространственного анализа могут быть эффективно применены для оценки акустической обстановки на основе расчетных значений шума в точках. Потребность в решении таких задач возникает при обосновании размеров седьмых подзон приаэродромных территорий, когда требуется визуализировать шумовые контуры различной интенсивности, обусловленные взлетно-посадочными операциями воздушных судов [19]. В отечественной и мировой практике для акустических расчетов при взлетно-посадочных операциях чаще всего используется специализированное программное обеспечение для ЭВМ, например Aviation Environmental DesignTool (AEDT), которое позволяет рассчитать уровни звукового давления в отдельно взятых точках либо в сетке точек над поверхностью

⁹ Приказ Минприроды России от 06.06.2017 № 273 «Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе» (Зарегистрировано в Минюсте России 10.08.2017 № 47734). https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_222765/0fdf0dd96d8d3a3c60e96b9afe38abfccc1cfe96/

¹⁰ СП 51.13330.2011 «Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003». <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=STR&n=13709#04uD3dUQ9bSEsQCe2>

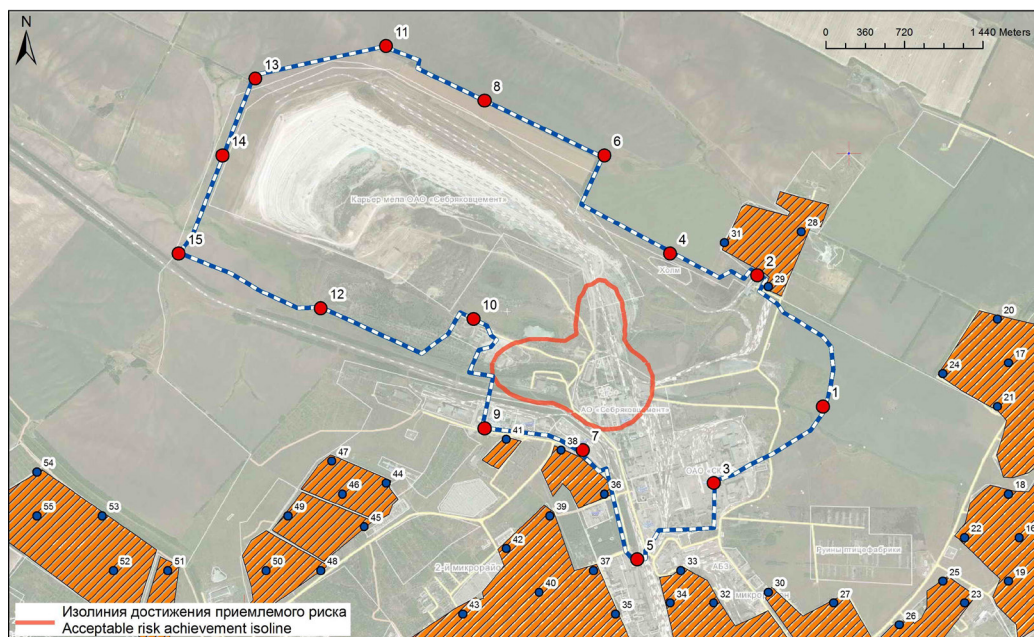


Рис. 3. Пример визуализации пространственной интерполяции величин риска для здоровья населения при воздействии химического загрязнения атмосферного воздуха и контура достижения приемлемого риска с помощью модуля геостатистического анализа в ArcGIS

Fig. 3. An example of visualization of spatial interpolation of population health risks posed by chemical air pollution and the contour of achieving acceptable risk using the ArcGIS Geostatistical Analyst extension

земли. В соответствии с требованиями действующих нормативно-методических документов¹¹ при обосновании размеров седьмой подзоны приаэродромной территории необходимо выполнение оценки риска для здоровья населения, расчеты которого могут быть проведены только с применением специализированных программных продуктов, а их результаты не могут быть интегрированы и визуализированы в АЕДТ. Решением данной проблемы может являться использование ГИС и модулей геостатистического анализа аналогично их применению для оценки распределения концентраций загрязнителей атмосферного воздуха (рис. 4).

Одним из простейших инструментов любой ГИС традиционно является возможность визуализации расположения точечных объектов, таких как точки мониторинга контролируемых факторов (атмосферный воздух, вода, почва и др.), объекты негативного воздействия (в том числе промышленные предприятия), а также населенные пункты.

Строго говоря, в узком смысле этот набор инструментов не является пространственным анализом, однако в настоящей работе он рассматривается в контексте визуализации распределения пространственно-привязанных данных.

Точечные объекты на карте могут быть визуализированы различными способами в зависимости от характера и количества атрибутивной (привязанной к точке) информации (метаданным). Эти способы представлены возможностью отображения точек в виде единого символа (single symbol), когда между точечными объектами на карте нет никаких различий независимо от характера метаданных, либо в виде символов разных размеров, цвета

и других настраиваемых параметров, характер которых автоматически присваивается символу отдельной точки в зависимости от величины выбранного для визуализации параметра метаданных. На примере ArcGIS для этих целей предусмотрены следующие инструменты (рис. 5).

– Категории: позволяет дифференцированно показывать на карте точечные объекты при помощи различной цветовой индикации в зависимости от уникальных значений одного или нескольких показателей. Данный способ наиболее удобен для дифференцированной визуализации различных типов точек, например точек мониторинга атмосферного воздуха, питьевой воды и почвы на одной карте.

– Количества: визуализирует значения одного или нескольких показателей при помощи точечных маркеров на карте различного размера или цвета, зависящего от количественной величины выбранного показателя. Способ удобен для визуализации значения показателя в точках, например степени превышения гигиенических нормативов качества питьевой воды, атмосферного воздуха или иных факторов в точках контроля.

– Диаграммы: отображает на карте точечные объекты с иллюстрацией вклада отдельных показателей в их общее значение, например вклада отдельных видов риска в значение интегрального показателя качества питьевой воды. Диаграммы могут быть выбраны круговые и столбчатые. При использовании данного способа маркеры на карте автоматически масштабируются в зависимости от величины визуализируемого показателя, что добавляет наглядности информации [21].

¹¹ Методика установления седьмой подзоны приаэродромной территории, расчета и оценки рисков для здоровья человека (утв. приказом Роспотребнадзора от 7 декабря 2022 г. № 664) (с изменениями). Доступно по: http://www.pravo.gov.ru/proxy/ips/?doc_its elf=&nd=603599551&page=1&rdk=0&intelsearch=%E6%E8%EB%E8%F9%ED%FB%E9+%EA%EE%E4%E5%EA%F1++&link_id=24#10

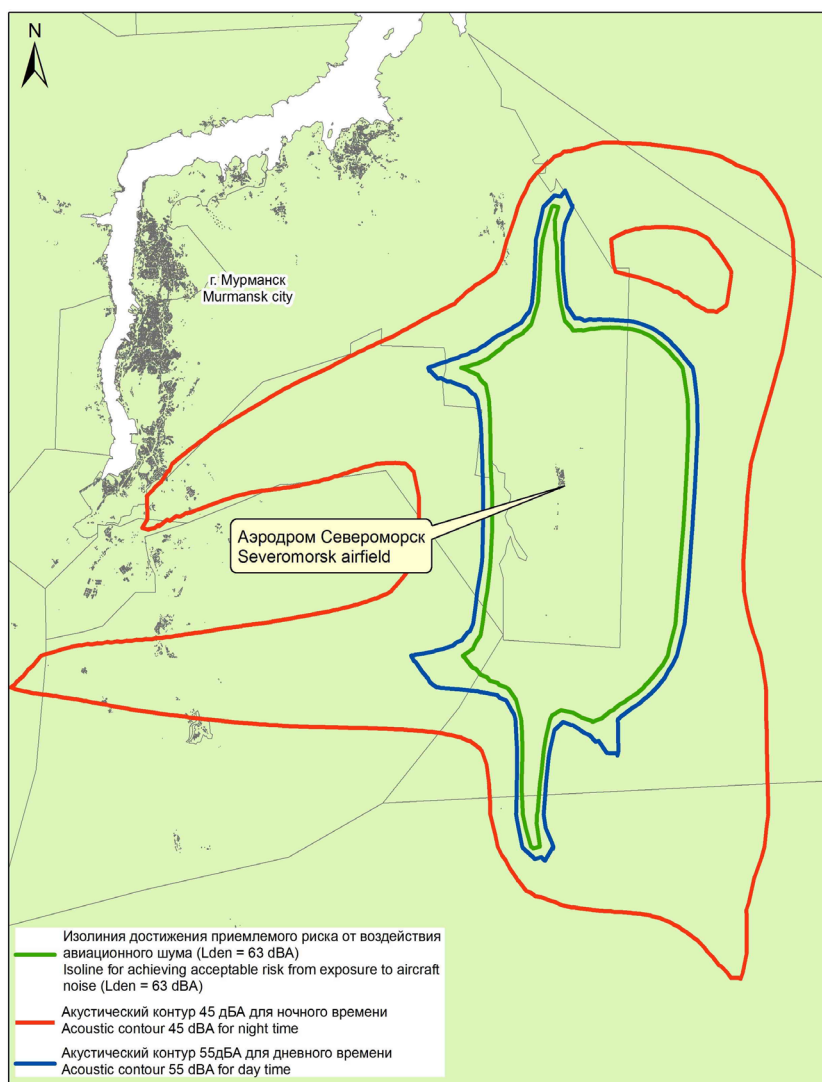


Рис. 4. Пример визуализации акустических контуров предельно допустимых уровней звука для дневного и ночного времени, а также контура приемлемого риска с помощью модуля геостатистического анализа в ArcGIS

Fig. 4. An example of visualization of acoustic contours of maximum permissible sound levels for day and night time, as well as an acceptable risk contour using the ArcGIS Geostatistical Analyst extension

Следует отметить, что для инструментов представления точечных объектов в инструментарии ArcGIS доступна возможность группировки данных на основе методов классификации, которая описана выше применительно к полигональным объектам.

Вышеописанные инструменты представления точечных объектов и значения показателей, связанных с ними, широко применяются в практической деятельности органов Роспотребнадзора, главным образом в области социально-гигиенического мониторинга¹² [23–25], а также при подготовке и оформлении различных графических материалов.

Обсуждение. В последние годы наблюдается активное развитие цифровых сервисов и специализированных приложений для ЭВМ, позволяющих упростить и частично автоматизировать задачи

по экологическому проектированию (обоснование размеров санитарно-защитных зон, формирование экологической отчетности), прогнозированию уровней загрязнения атмосферного воздуха и акустического воздействия на основе утвержденных моделей расчета рассеивания загрязнителей в атмосферном воздухе или уровней акустического воздействия [24, 25]. Подобные приложения имеют удобный графический интерфейс и включают в себя, в том числе, геоинформационный модуль, например «ГИС Эколог» разработки группы компаний «Интеграл» [25].

Несмотря на удобство применения таких сервисов для решения сугубо прикладных задач в области охраны окружающей среды, заместить ими применение «традиционных» ГИС в области оценки санитарно-эпидемиологического благополучия в целом и социально-гигиенического мониторинга в частности в настоящее время не представляется возможным по ряду причин. К основным недостаткам таких приложений, являющимися следствием их преимуществ, можно отнести ограниченность функционала и отсутствие возможности загрузки данных. Например, «ГИС Эколог» позволяет визуализировать и обрабатывать только данные, получаемые в результате расчетов в других продуктах серии «Эколог» – «Эколог Шум», «УПРЗА Эколог» и другие. Внести в данную ГИС результаты расчета, полученные в другом программном продукте, либо результаты натуральных исследований (мониторинга) невозможно [25]. Эта особенность ограничивает область применения, а в ряде случаев делает применение нецелесообразным, например

в случае необходимости анализа данных социально-гигиенического мониторинга. В свою очередь «традиционные» ГИС лишены таких ограничений.

В практике социально-гигиенического мониторинга часто возникают ситуации, когда ограниченное количество исследований требуется экстраполировать на большой временной период или пространственный охват. Например, спрогнозировать качество атмосферного воздуха на территориях, где отсутствуют точки (посты) мониторинга, на основании результатов, полученных в других точках. Для решения этих задач наилучшим образом подходят вышеописанные инструменты геостатистического анализа, позволяющие выполнить прогноз значений показателя на основе пространственной интерполяции известных значений (рис. б).

¹² Карелин А.О., Ломтев А.Ю., Горбанев С.А., Еремин Г.Б., Новикова Ю.А. Применение географических информационных систем для совершенствования санитарно-эпидемиологического надзора и социально-гигиенического мониторинга // Гигиена и санитария. 2017. № 7. <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-geograficheskikh-informatsionnyh-sistem-dlya-sovershenstvovaniya-sanitarno-epidemiologicheskogo-nadzora-i-sotsialno>

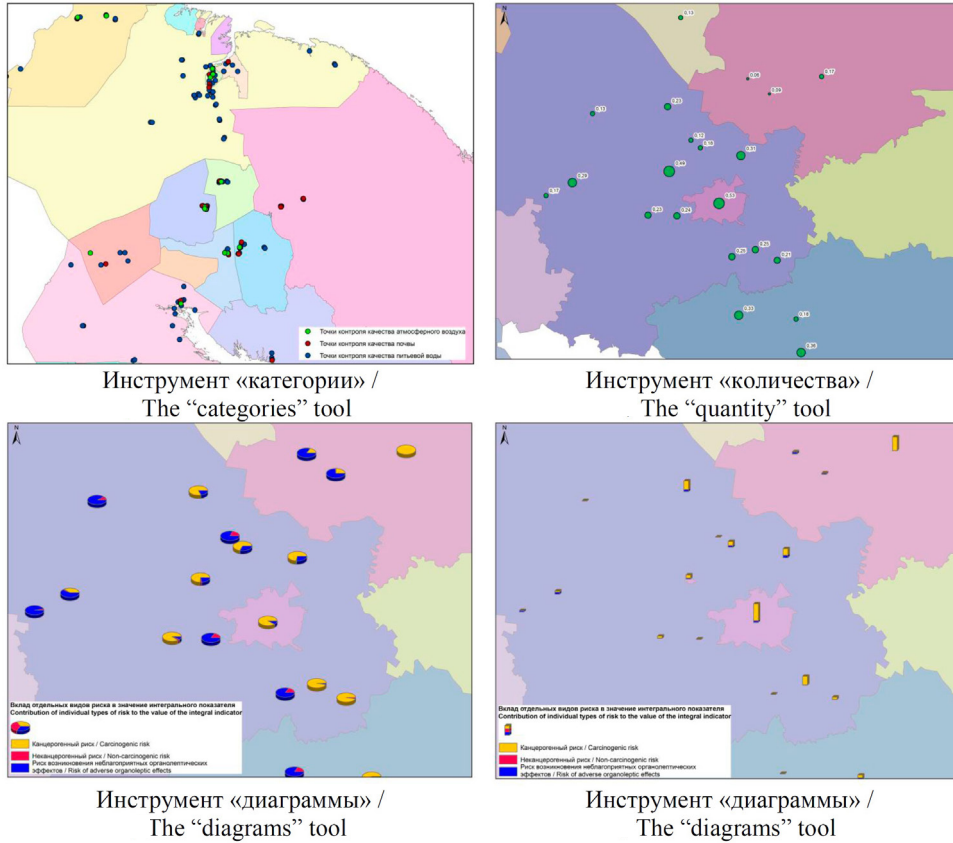


Рис. 5. Примеры визуализации точек мониторинга атмосферного воздуха, почвы населенных мест и питьевой воды при помощи различных инструментов в ArcGIS

Fig. 5. Examples of visualization of ambient air, soil and drinking water quality monitoring sites using various ArcGIS tools

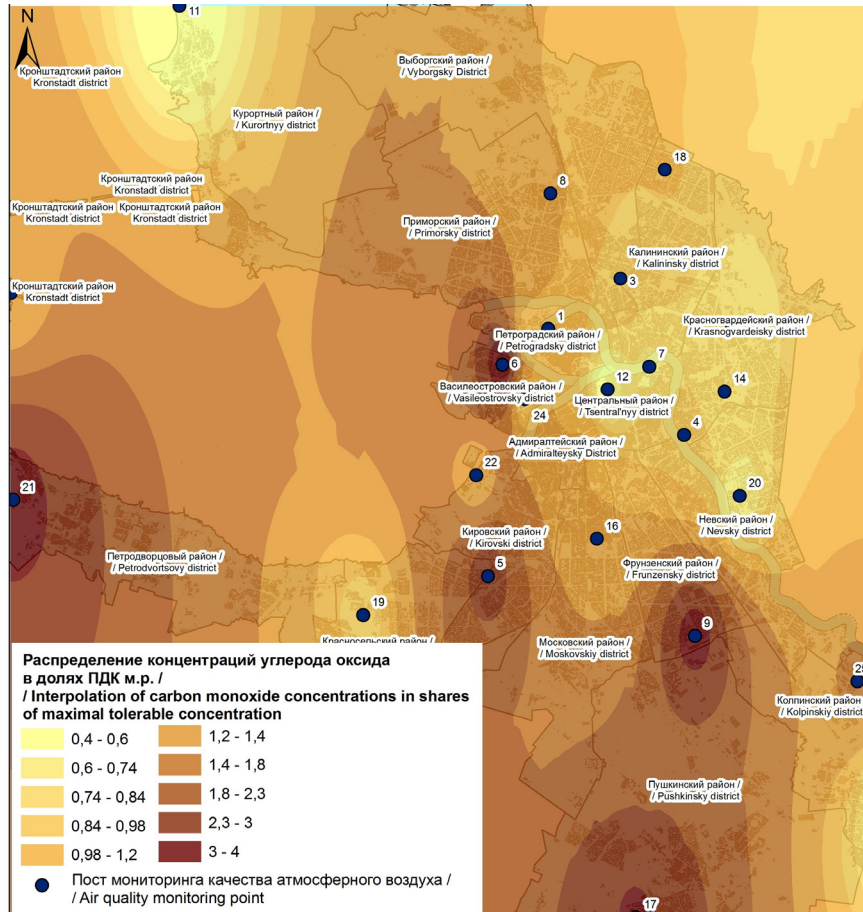


Рис. 6. Применение модуля геостатистического анализа ArcGIS для прогнозирования качества атмосферного воздуха в границах г. Санкт-Петербурга на основе ограниченного числа точек мониторинга (метод обратных взвешенных расстояний)

Fig. 6. Application of the ArcGIS Geostatistical Analyst extension for forecasting ambient air quality within the boundaries of St. Petersburg based on a limited number of monitoring sites (inverse distance weighting)

Реализовать такой прогноз с помощью ГИС, интегрированных в специализированные программные продукты (например, «ГИС Эколог»), технически невозможно [25].

Несмотря на преимущества, применение описанного выше метода геостатистического анализа имеет ряд ограничений: минимальное количество исходных точек для выполнения интерполяции должно быть не меньше 10, а точность прогноза существенно зависит, с одной стороны, от выраженности разброса значений показателя в точках, а с другой – от расстояния между ними. Кроме того, на результат прогноза влияет выбранный метод интерполяции: чем больше расстояние между точками с известными значениями показателя, тем больше будут различаться результаты прогноза разными методами. Описанную проблему наглядно иллюстрирует рис. 7, где представлены контуры достижения приемлемого риска при воздействии авиационного шума, построенные двумя разными методами (кригинг и метод обратных взвешенных расстояний) на основе расчетных значений в точках с шагом сетки 300 м. В данном случае расхождение двух одинаковых контуров незначительно, однако в случаях, когда расстояние между точками значительно больше, результаты прогноза также могут существенно отличаться. Рис. 8 иллюстрирует именно такую ситуацию, где исходные данные в точках не отличаются от рис. 6, однако в качестве метода интерполяции выбран метод радиальных базисных функций.

Применительно к рассматриваемой ситуации невозможно однозначно сказать, применение какого из методов является более корректным для прогноза с учетом всей полноты неопределенностей. Во избежание получения недостоверных результатов следует учитывать эти неопределенности и рассматривать наихудший вариант в качестве основного.

Следует также отметить, что применение описываемых инструментов пространственного анализа имеет также свои ограничения в части анализируемых факторов, которые должны обладать относительной гомогенностью, например атмосферный воздух. Применение геостатистического анализа для пространственного анализа загрязнения почвы имеет существенные ограничения: обработка методами пространственной интерполяции может быть применена лишь при анализе мониторинга относительно стабильных загрязнителей в высокоплотной сети точек пробоотбора. В случае с питьевой водой вариabельность величин показателей которой

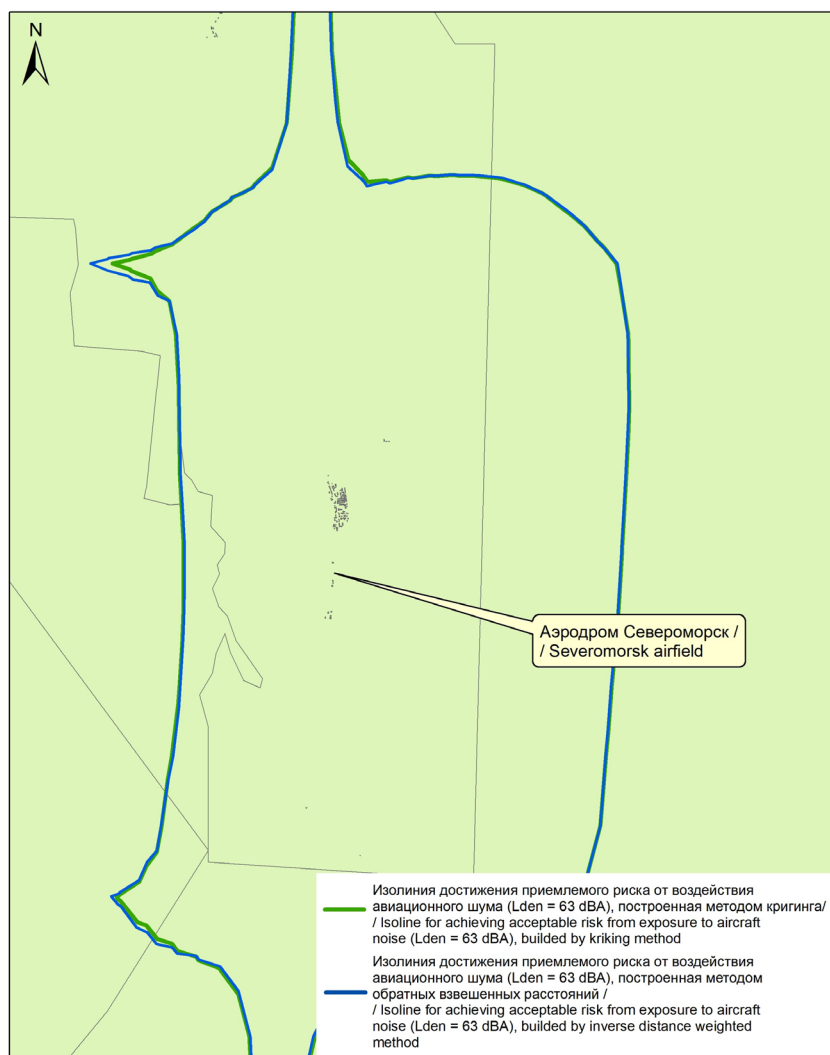


Рис. 7. Контуры достижения приемлемого риска при воздействии авиационного шума, построенные двумя разными методами (кригинг и метод обратных взвешенных расстояний)

Fig. 7. Contours of achieving acceptable risk posed by exposure to aircraft noise built using two different methods (kriging and inverse distance weighting)

в значительной мере определяется особенностями водоподготовки и характеристиками распределительной сети, обоснованность применения геостатистического анализа вызывает сомнения.

Перечисленные выше неопределенности присущи не только методам геостатистического анализа, но также инструментам автоматической группировки данных, при использовании которых следует учитывать зависимость результата группировки от выбранного метода. На объективность результата может оказать влияние целый ряд факторов: нормальность распределения в выборке, линейность распределения значений, разброс минимальных и максимальных значений показателя и другие. В качестве наиболее универсального можно рекомендовать использование метода геометрического интервала [18].

Закключение. Проведенный анализ современных инструментов пространственного анализа данных, реализованных в геоинформационных

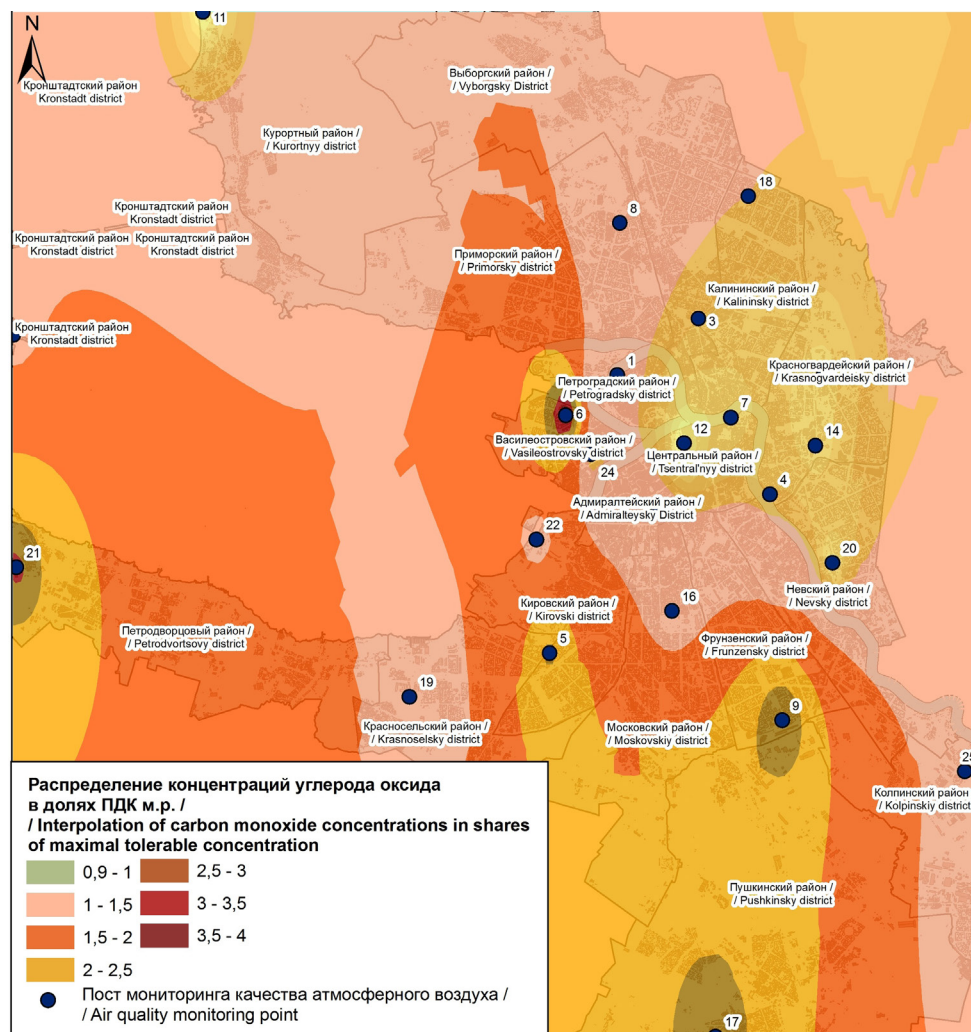


Рис. 8. Прогнозирование качества атмосферного воздуха в границах г. Санкт-Петербурга с помощью модуля геостатистического анализа ArcGIS (метод радиальных базисных функций)

Fig. 8. Forecasting ambient air quality within the boundaries of St. Petersburg using the ArcGIS Geostatistical Analyst extension (radial basis function)

системах на примере ArcGIS, показал, что, несмотря на развитие специализированных программ для расчета загрязнения атмосферного воздуха и акустического воздействия с интегрированными ГИС, традиционные геоинформационные системы сохраняют свою актуальность при решении задач оценки и прогнозирования санитарно-эпидемиологической обстановки и анализа результатов социально-гигиенического мониторинга.

Для получения объективных результатов при использовании инструментов пространственного анализа необходимо учитывать неопределенности и ограничения применения различных методов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бармин Ю.Я., Гурвич В.Б., Кузьмин С.В. и др. Методические подходы к среднесрочному планированию и оценке эффективности мер по управлению риском для здоровья населения в муниципальном образовании (на примере промышленно развитого города). Анализ риска здоровью. 2019. № 2. С. 21–34.
2. Новикова Ю.А., Тихонова Н.А., Федоров В.Н. К вопросу организации межрегиональной системы мониторинга с использованием ГИС // Проблемы сохранения здоровья и обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Арктике: Материалы IV международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург: Издательско-полиграфическая компания «Коста», 2023. С. 181–186. EDN CMHJCH.
3. Zaitseva NV, May IV, Kiryanov DA, Goryaev DV, Kleyn SV. Social and hygienic monitoring today: State and prospects in conjunction with the risk-based supervision. *Health Risk Analysis*. 2016;(4):4–13. doi: 10.21668/health.risk/2016.4.01.eng
4. Кузьмин С.В., Додина Н.С., Шашина Т.А. и др. Научно-методическое обеспечение задач социально-гигиенического мониторинга при реализации национального проекта «Экология» // Анализ риска здоровью - 2023: Совместно с международной встречей по окружающей среде и здоровью RISE-2023: материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Т. 1. Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2023. С. 9–13. EDN XHGZFP.
5. Козловских Д.Н., Гурвич В.Б., Диконская О.В., и др. Региональная система управления риском для здоровья населения в субъекте Российской Федерации // Гигиена и санитария. 2022. Т. 101. № 10. С. 1255–1261. doi: 10.47470/0016-9900-2022-101-10-1255-1261. EDN ZMJMNE.

6. Куликова И.Б., Кузнецов И.С., Коровка В. Г. и др. Геоинформационные методы поиска территорий повышенного риска распространения социально значимых инфекций в мегаполисах (на примере туберкулеза) // Медицинский альянс. 2023. Т. 11. № 4. С. 14–27. doi: 10.36422/23076348-2023-11-4-14-27. EDN JLMNCZ.
7. Епринцев С.А., Клепиков О.В., Дьякова Н.А. и др. Геоинформационный мониторинг формирования очагов экологически-обусловленной заболеваемости населения крупных городов при воздействии факторов окружающей среды // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2024. № 3. С. 135–141. doi: 10.17308/geo/1609-0683/2024/3/135-141. EDN JGXNDN.
8. Епринцев С.А., Шекоян С.В. Геоинформационное моделирование факторов, определяющих экологическую безопасность урбанизированных территорий // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Геоинформационные технологии и космический мониторинг. 2023. Т. 2. № 8. С. 17–22. doi: 10.23885/2500-123X-2023-2-8-17-22. EDN VRAUIQ.
9. Коротков В.В., Кулешова А.М., Ушаков С.А., Савельев С.И., Зубченок Н.В., Додина Н.С. Геоинформационная региональная система как эффективное средство обоснования управленческих решений и организации надзора в сфере санитарноэпидемиологической ситуации // Здравоохранение Российской Федерации. 2022. Т. 66. № 5. С. 380–384.
10. Зибарев Е.В., Афанасьев А.С., Слюсарева О.В. и др. Разработка геоинформационного портала для обеспечения санитарно-эпидемиологического надзора за передающими радиотехническими объектами // Гигиена и санитария. 2020. Т. 99. № 4. С. 344–350. doi: 10.47470/0016-9900-2020-99-4-344-350.
11. Ефимов Е.И., Побединский Г.Г. Опыт разработки ГИС «Электронный эпидемиологический атлас» // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2020. Т. 1. № 2. С. 3–18. doi: 10.33764/2618-981X-2020-1-2-3-18
12. Сарсков С.А., Вьюшков М.В., Полянина А.В. и др. Геоинформационный программный комплекс «Эпидемиологический атлас России» по актуальным инфекционным заболеваниям // Современные технологии в медицине. 2023. Т. 15. № 6. С. 22–30. doi: 10.17691/stm2023.15.6.03
13. Жуков К.В., Удовиченко С.К., Никитин Д.Н., Викторов Д.В., Топорков А.В. Использование географической информационной системы в эпидемиологическом надзоре на примере арбовирусных инфекций // Инфекционные болезни: новости, мнения, обучения. 2021. Т. 10. № 2. С. 16–24. doi: 10.33029/2305-3496-2021-10-2-16-24
14. Вьюшков М.В., Зайцева Н.Н., Ефимов Е.И., Китаева Л.С., Побединский Г.Г., Сарсков С.А. Геоинформационные технологии в эпидемиологии – актуальное научное направление деятельности НИИИЭМ им. академика И.Н. Блохиной // Здоровье населения и среда обитания. 2021. № 4 (337). С. 31–42. doi: 10.35627/22195238/202133743142.
15. Епринцев С.А., Клепиков О.В., Шекоян С.В. и др. Геоинформационный анализ факторов, определяющих социально-экологическую безопасность населения городов Воронежа, Липецка, Тулы // Журналистика и география : Сборник материалов III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Воронеж: Издательский дом «Кварт», 2024. С. 223–227. EDN QXMRG.
16. Епринцев С.А., Куролап С.А., Клепиков О.В. и др. Геоинформационно-аналитическая модель повышения качества окружающей среды городов Центрального Черноземья // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Геоинформационные технологии и космический мониторинг. 2024. Т. 2. № 9. С. 27–33. doi: 10.23885/2500-123X-2024-2-9-27-33. EDN ZGNIID.
17. Buzinov RV, Fedorov VN, Kovshov AA, et al. Choosing data clustering tools for GIS-based visualization of disease incidence in the population. *Russian Open Medical Journal*. 2023;12(3):306. doi: 10.15275/rusomj.2023.0306
18. Федоров В.Н., Копытенкова О.И., Новикова Ю.А. и др. Выбор инструментов группировки массивов данных заболеваемости населения при их визуализации с применением геоинформационных систем // Анализ риска здоровью – 2024: Материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. В 2-х томах. Пермь: Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения, 2024. С. 82–90.
19. Клепиков О.В., Куролап С.А., Студеникина Е.М., Жукова В.В. Региональный опыт и проблемные вопросы использования географических информационных систем в социально-гигиеническом мониторинге // Санитарный врач. 2019. № 6. С. 68–75. EDN QVYJVG.
20. Епринцев С.А., Куролап С.А., Клепиков О.В. Геоинформационный анализ антропогенного загрязнения атмосферы городов Центрально-Черноземного региона России // Донецкие чтения 2022: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: Материалы VII Международной научной конференции, посвященной 85-летию Донецкого национального университета. Под общей редакцией С.В. Беспаловой. Т. 3. Донецк: Донецкий национальный университет, 2022. С. 57–59. EDN MXCRFO.
21. Расходчиков А.Н. Искусственный интеллект и «умный город»: от цифровизации к городу-инновации // Социально-политические науки. 2022. Т. 12. № 4. С. 47–54. doi: 10.33693/2223-0092-2022-12-4-47-54
22. Krivoguz D. Geo-spatial analysis of urbanization and environmental changes with deep neural networks: Insights from a three-decade study in Kerch peninsula. *Ecological Informatics*. 2024;80:102513. doi: 10.1016/j.ecoinf.2024.102513
23. Калюжин А.С., Латышевская Н.И., Байракова А.Л., Калюжина М.А., Морозова М.А., Филатов Б.Н. Геоинформационная система как инструмент СГМ в структурах Роспотребнадзора и здравоохранении, на примере санитарно-гигиенического контроля водных ресурсов (информационно-аналитический обзор) // Здоровье населения и среда обитания. 2024. Т. 32. № 1. С. 36–48. doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-1-36-48
24. Клепиков О.В., Мамчик Н.П., Колнет И.В. и др. Применение геоинформационных технологий в региональных системах мониторинга окружающей среды и здоровья населения // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2018. Т. 28. № 3. С. 249–256.
25. Суржигов Д.В., Кислицына В.В., Штайгер В.А., Голиков Р.А. Опыт применения статистико-математических технологий для оценки влияния атмосферных загрязнений на здоровье населения в крупном промышленном центре // Гигиена и санитария. 2021. Т. 100. № 7. С. 663–667. doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-7-663-667. EDN TYCCTC.

REFERENCES

1. Barmin YuYa, Gurvich VB, Kuz'min SV, et al. Methodical approaches to medium-term planning and assessing health risk management efficiency in a municipal entity (by the example of an industrially developed city).

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2024-33-5-17-28>
Original Research Article

- Health Risk Analysis*. 2019;(2):21-34. doi: 10.21668/health.risk/2019.2.03.eng
2. Novikova YA, Tikhonova NA, Fedorov VN. On the issue of organizing an interregional monitoring system using GIS. In: Buzinov RV, Frolova NM, eds. *Problems of Maintaining Health and Ensuring Sanitary and Epidemiological Well-Being of the Population in the Arctic: Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference, St. Petersburg, October 19–20, 2023*. St. Petersburg: Costa Publ.; 2023:181-186. (In Russ.)
 3. Zaitseva NV, May IV, Kiryanov DA, Goryaev DV, Kleyn SV. Social and hygienic monitoring today: State and prospects in conjunction with the risk-based supervision. *Health Risk Analysis*. 2016;(4):4-13. doi: 10.21668/health.risk/2016.4.01.eng
 4. Kuzmin SV, Dodina NS, Shashina TA, et al. [Scientific and methodological support for the tasks of social and hygienic monitoring in the implementation of the National Ecology Project.] In: *Health Risk Analysis – 2023: Proceedings of the XIII All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation, Perm, May 17–19, 2023*. Perm: Perm National Research Polytechnic University; 2023;1:9-13. (In Russ.)
 5. Kozlovskikh DN, Gurvich VB, Dikonskaya OV, et al. The regional system of health risk management in a subject of the Russian Federation. *Gigiena i Sanitariya*. 2022;101(10):1255-1261. (In Russ.) doi: 10.47470/0016-9900-2022-101-10-1255-1261
 6. Kulikova IB, Kuznetsov IS, Korovka VG, et al. Geoinformation search methods for increased risk areas for the spread of socially significant infections in metropolitan cities (through TB as an example). *Meditsinskiy Al'yans*. 2023;11(4):14-27. (In Russ.) doi: 10.36422/23076348-2023-11-4-14-27
 7. Yeprintsev SA, Klepikov OV, Dyakova NA, Vinogradov PM, Shekoyan SV. Geoinformation monitoring of the formation of foci of environmentally related morbidity of the large cities' population under the influence of environmental factors. *Vestnik Voronezhskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Seriya: Geografiya. Geokologiya*. 2024;(3):135-141. (In Russ.) doi: 10.17308/geo/1609-0683/2024/3/135-141
 8. Yeprintsev SA, Shekoyan SV. Geoinformation modeling of factors determining the ecological safety of urbanized territories. *Ekologiya. Ekonomika. Informatika. Seriya: Geoinformatsionnye Tekhnologii i Kosmicheskij Monitoring*. 2023;2(8):17-22. (In Russ.) doi: 10.23885/2500-123X-2023-2-8-17-22
 9. Korotkov VV, Kuleshova AM, Ushakov SA, Saveliev SI, Zubchonok NV, Dodina NS. Geoinformation regional system as an effective means of substantiation of managing decisions and supervision in the field of sanitary and epidemiological situation. *Zdravookhranenie Rossiyskoy Federatsii*. 2022;66(5):380-384. (In Russ.)
 10. Zibarev EV, Afanasev AS, Slusareva OV, et al. Developing GIS portal to ensure sanitary and epidemiological surveillance of transferring radio engineering objects. *Gigiena i Sanitariya*. 2020;99(4):344-350. (In Russ.) doi: 10.47470/0016-9900-2020-99-4-344-350
 11. Efimov EI, Pobedinsky GG. Experience in developing GIS "Electronic Epidemiological Atlas". *Interexpo Geo-Sibir'*. 2020;1(2):3-18. (In Russ.) doi: 10.33764/2618-981X-2020-1-2-3-18
 12. Sarskov SA, Vyushkov MV, Polyana AV, Slavin SL, Zaitseva NN. GIS software package "Epidemiological Atlas of Russia" on current infectious diseases. *Sovremennye Tekhnologii v Medicine*. 2023;15(6):22-30. (In Russ.) doi: 10.17691/stm2023.15.6.03
 13. Zhukov KV, Udovichenko SK, Nikitin DN, Viktorov DV, Toporkov AV. Application of geographic information systems in epidemiological surveillance for West Nile fever and other arbovirus infections at the modern stage. *Infektsionnye Bolezni: Novosti, Mneniya, Obuchenie*. 2021;10(2):16-24. (In Russ.) doi: 10.33029/2305-3496-2021-10-2-16-24
 14. Vyushkov MV, Zaitseva NN, Efimov EI, Kitaeva LS, Pobedinsky GG, Sarskov SA. Geographic information technologies in epidemiology – An up-to-date research direction of Academician I.N. Blokhina Nizhny Novgorod Scientific Research Institute of Epidemiology and Microbiology. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2021;(4(337)):31-42. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2021-337-4-31-42
 15. Yeprintsev SA, Klepikov OV, Shekoyan SV, Vinogradov PM, Dyakova NA. [Geoinformation analysis of factors determining the social and environmental safety of the population of the cities of Voronezh, Lipetsk, Tula.] In: *Journalism and Geography: Proceedings of the III All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation, Voronezh, March 22–23, 2024*. Voronezh: Kvarta Publ.; 2024:223-227. (In Russ.)
 16. Yeprintsev SA, Kurolap SA, Klepikov OV, et al. Geoinformation-analytical model for improving the environmental quality of cities in the Central Black Earth Region. *Ekologiya. Ekonomika. Informatika. Seriya: Geoinformatsionnye Tekhnologii i Kosmicheskij Monitoring*. 2024;2(9):27-33. (In Russ.) doi: 10.23885/2500-123X-2024-2-9-27-33
 17. Buzinov RV, Fedorov VN, Kovshov AA, et al. Choosing data clustering tools for GIS-based visualization of disease incidence in the population. *Russian Open Medical Journal*. 2023;12(3):306. doi: 10.15275/ru-somj.2023.0306
 18. Fedorov VN, Kopytenkova OI, Novikova YuA, Myasnikov IO, Tikhonova NA. [Selection of tools for grouping arrays of population morbidity data when visualizing them using geographic information systems.] In: *Health Risk Analysis – 2024: Proceedings of the XIV All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation, Perm, May 15–16, 2024*. Perm: Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies Publ.; 2024;1:82-90. (In Russ.)
 19. Klepikov OV, Kurolap SA, Studenikina EM, Zhukova VV. Regional experience and problematic issues of the application of geographic information systems in social hygiene monitoring. *Sanitarnyy Vrach*. 2019;(6):68-75. (In Russ.)
 20. Yeprintsev SA, Kurolap SA, Klepikov OV. [Geoinformation analysis of anthropogenic pollution of the atmosphere of cities in the Central Black Earth Region of Russia.] In: *Donetsk Readings 2022: Education, Science, Innovation, Culture and Challenges of Our Time: Proceedings of the VII International Scientific Conference Dedicated to the 85th Anniversary of Donetsk National University*. Donetsk: Donetsk National University Publ.; 2022;3:57-59. (In Russ.)
 21. Raskhodchikov AN. Artificial intelligence and "smart city": From digitalization to innovation city. *Sotsial'no-Politicheskie Nauki*. 2022;12(4):47-54. (In Russ.) doi: 10.33693/2223-0092-2022-12-4-47-54
 22. Krivoguz D. Geo-spatial analysis of urbanization and environmental changes with deep neural networks: Insights from a three-decade study in Kerch peninsula. *Ecological Informatics*. 2024;80:102513. doi: 10.1016/j.ecoinf.2024.102513
 23. Kalyuzhin AS, Latyshevskaya NI, Bayrakova AL, Kalyuzhina MA, Morozova MA, Filatov BN. Geographic information system as a tool of public health monitoring in Rospotrebnadzor and health care structures given

the example of sanitary and hygienic surveillance of water resources: Analytical review. *Zdorov'e Nase-leniya i Sreda Obitaniya*. 2024;32(1):36-48. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-1-36-48

24. Klepikov OV, Mamchik NP, Kolnet IV, Kurolap SA, Khorpakova TV. Application of geoinformation technologies in regional systems of environmental monitoring and population health monitoring. *Vestnik*

Udmurtskogo Universiteta. Seriya Biologiya. Nauki o Zemle. 2018;28(3):249-256. (In Russ.)

25. Surzhikov DV, Kislitsyna VV, Shtaiger VA, Golikov RA. Experience in using statistical and mathematical technologies to assess the impact of atmospheric pollution on public health in a large industrial center. *Gigiena i Sanitariya*. 2021;100(7):663-667. (In Russ.) doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-7-663-667

Сведения об авторах:

✉ **Федоров** Владимир Николаевич – старший научный сотрудник, заведующий отделением анализа рисков для здоровья населения ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья»; e-mail: v.fedorov@s-znc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1378-1232>.

Тихонова Надежда Андреевна – научный сотрудник отделения анализа рисков для здоровья населения ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья»; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4895-4009>.

Кизеев Алексей Николаевич – к.б.н., старший научный сотрудник отделения научного обеспечения социально-гигиенического мониторинга ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья»; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8689-7327>, ФБУН.

Киселев Анатолий Владимирович – д.м.н., профессор кафедры профилактической медицины и охраны здоровья ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова» Минздрава России; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9182-2795>.

Информация о вкладе авторов: Концепция и дизайн исследования: *Федоров В.Н.*; обзор литературы: *Тихонова Н.А.*; сбор данных, анализ, интерпретация данных, подготовка проекта рукописи: *Федоров В.Н., Кизеев А.Н., Киселев А.В., Тихонова Н.А.* Все авторы ознакомились с результатами работы и одобрили окончательный вариант рукописи.

Соблюдение этических стандартов: данное исследование не требует представления заключения комитета по био-медицинской этике или иных документов.

Финансирование: исследование проведено без спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Статья получена: 01.03.25 / Принята к публикации: 10.05.25 / Опубликовано: 30.05.25

Author information:

✉ Vladimir N. **Fedorov**, Senior Researcher, Head of the Department of Health Risk Analysis, North-West Public Health Research Center; e-mail: v.fedorov@s-znc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1378-1232>.

Nadezhda A. **Tikhonova**, Researcher, Department of Health Risk Analysis, North-West Public Health Research Center; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4895-4009>.

Aleksei N. **Kizeev**, Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher, Department of Scientific Support for Public Health Monitoring, North-West Public Health Research Center; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8689-7327>.

Anatoly V. **Kiselev**, Dr. Sci. (Med.), Professor, Department of Preventive Medicine and Health Protection, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9182-2795>.

Author contributions: study conception and design: *Fedorov V.N.*; bibliography compilation and referencing: *Tikhonova N.A.*; data collection, analysis and interpretation of results, draft manuscript preparation: *Fedorov V.N., Kizeev A.N., Kiselev A.V., Tikhonova N.A.* All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: Not applicable.

Funding: This research received no external funding.

Conflict of interest: The authors have no conflicts of interest to declare.

Received: March 1, 2025 / Accepted: May 10, 2025 / Published: May 30, 2025