

УДК 004.9:69

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-2-135-143

Геопространственное моделирование при оценке территорий для жилого строительства

С. А. Чигридов¹, Е. Н. Кулик¹✉

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация

e-mail: e.n.kulik@ssga.ru

Аннотация. Пространственное моделирование играет ключевую роль при многокритериальной оценке (МКО) территорий, предназначенных для малоэтажного жилищного строительства, позволяя проектировщикам и заинтересованным сторонам принимать обоснованные решения относительно землепользования и застройки. В статье рассматриваются возможности геоинформационного моделирования при оценке загрязнения атмосферы выбросами теплоэлектроцентрали, а также доступность медицинских услуг на осваиваемых территориях. Используя геоинформационные системы (ГИС), пространственное моделирование на основе интеграции различных наборов данных, включая экологические, инфраструктурные и социально-экономические факторы, обеспечивает получение всесторонней аналитической информации.

Ключевые слова: пространственное моделирование, малоэтажное жилое строительство, оценка территории, анализ пригодности земель, выбор участка, оценка воздействия на окружающую среду, планирование землепользования, анализ доступности, классификация земельных участков

Для цитирования:

Чигридов С. А., Кулик Е. Н. Геопространственное моделирование при оценке территорий для жилого строительства // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 2. – С. 135–143. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-2-135-143

Введение

Основной темой исследования является изучение методик геоинформационного моделирования, направленного на оценку территорий Новосибирской области, вблизи города Новосибирска, для анализа их пригодности под малоэтажное жилое строительство. Объектом исследования стали территории на удалении до 60 км от границ (красной линии) города Новосибирска.

В данной работе частичным решением задачи создания векторного слоя, содержащего в себе потенциально пригодные для малоэтажного жилого строительства участки, стало:

– построение зон загрязнения путем пространственного моделирования территорий, подвергающихся влиянию стационарных точечных источников загрязнения (СТИЗ);

– построение зон обслуживания территории объектами здравоохранения /медицинскими учреждениями (МУ).

Оценка загрязнения атмосферы

Для оценки уровня загрязнения территорий от стационарных точечных источников было выполнено построение модели Паскуилла – Гиффорда [1] для объектов энергетики: ТЭЦ-2, ТЭЦ-3, ТЭЦ-4, ТЭЦ-5 г. Новосибирска.

Основной целью реализации данного этапа методики является создание комплексной модели, способной имитировать рассеивание загрязняющих веществ, выбрасываемых тепловыми электростанциями. Данная модель позволит сформировать понимание воздействия выбросов этих источников на качество воздуха, здоровье человека и, в целом, на окружающую среду, а также определить и классифицировать земельные участки по уровню загрязнения.

Для построения были собраны и/или рассчитаны следующие данные: координаты вектора направления преобладающего ветра,

объем выбросов источника загрязнения, высота трубы источника выбросов. Данные о силе и направлении ветра были собраны посредством сервиса «Дневник погоды» [2]. В табл. 1 представлены данные о высоте труб и объемах выбросов ТЭЦ за 2020 г. [3].

Таблица 1

Сводная информация об объектах энергетики

Объекты Данные	ТЭЦ-2	ТЭЦ-3	ТЭЦ-4	ТЭЦ-5
Выбросы/ Высота труб, м	180	120	60	260
В год, т	10 000	16 400	11 200	25 000

При помощи программ «SAS-Planet» и «ERDAS Imagine» были получены и географически привязаны изображения территорий ТЭЦ для координирования точечных объектов труб и создания их векторных слоев. На рис. 1 представлен созданный векторный слой с точечными объектами труб ТЭЦ.

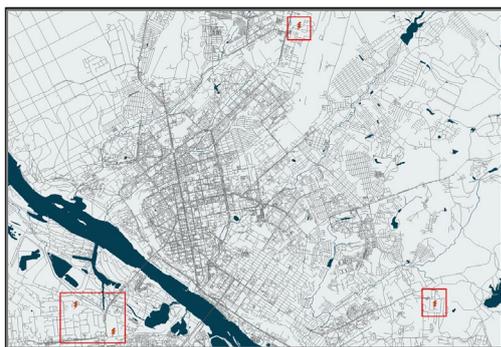


Рис. 1. Созданные точечные объекты труб ТЭЦ

В модели Паскуилла – Гиффорда одним из обязательных компонентов входных данных является пара плоских координат вектора

преобладающего направления ветра (азимутальные характеристики в плоской системе координат). Для получения значений данной пары была создана программа на языке Python в среде разработки «Spyder». Программа для построения розы ветров – это графический инструмент, предназначенный для визуализации данных о ветре, в частности преобладающего направления и количества дней, в полярной системе координат [4–6]. Программа позволяет пользователям вводить данные о направлении ветра и количестве дней, в течение которых ветер двигался в соответствующую сторону (за день, месяц, год и т. д.), по которым выполняется построение графика розы ветров (рис. 2).

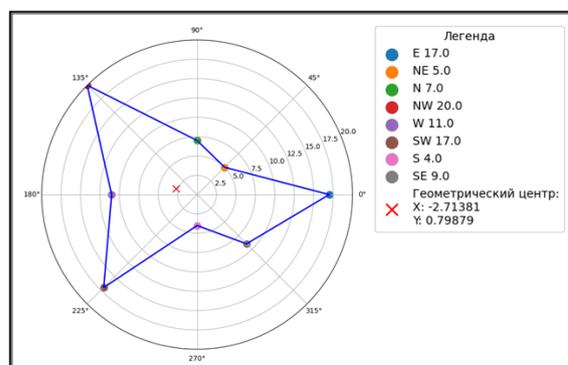


Рис. 2. Результат работы программы графического построения розы ветров

Ввиду того, что при создании модели Паскуилла – Гиффорда используются плоские координаты, тогда как в программе используются полярные, была добавлена функция перехода от полярных координат к плоским при расчете координат центра масс, чтобы выводить пользователю готовую к использованию в модели Паскуилла – Гиффорда пару координат (табл. 2).

Таблица 2

Формулы перехода к плоским координатам

Направление ветра, градусы	Количество дней	Координата X	Координата Y
0	X_1	X_1	0
45	X_2	$(\sqrt{X_2^2})/2$	$(\sqrt{X_2^2})/2$
90	X_3	0	X_3
135	X_4	$-(\sqrt{X_4^2})/2$	$(\sqrt{X_4^2})/2$
180	X_5	$-X_5$	0
225	X_6	$-(\sqrt{X_6^2})/2$	$-(\sqrt{X_6^2})/2$
270	X_7	0	$-X_7$
315	X_8	$(\sqrt{X_8^2})/2$	$-(\sqrt{X_8^2})/2$

После этого была добавлена формула расчета значения координат X_{cp} и Y_{cp} для определения центра масс графически построенного полигона розы ветров

$$X_{cp} = \frac{\sum(K_i \times X_i)}{\sum K} \quad (1)$$

где K_i – количество дней в соответственном направлении; X_i – координата по оси X

$$Y_{cp} = \frac{\sum(K_i \times Y_i)}{\sum K} \quad (2)$$

где K_i – количество дней в соответственном направлении; Y_i – координата по оси Y .

После сбора, обработки и подготовки исходных данных была построена модель (рис. 3).

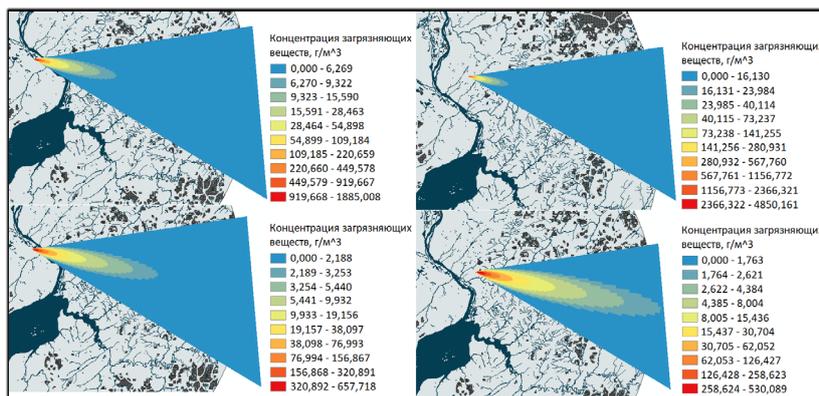


Рис. 3. Маски загрязнения атмосферы

Полученные маски загрязнения представлены в растровом виде (GRID) ввиду особенности работы модуля «калькулятор растра» в «ArcToolbox». Для анализа земельных участков, подверженных загрязнению, необходимо перевести построенные маски из растрового вида в векторный. Для этого была составлена схема перехода от растрового вида к векторному (рис. 4).

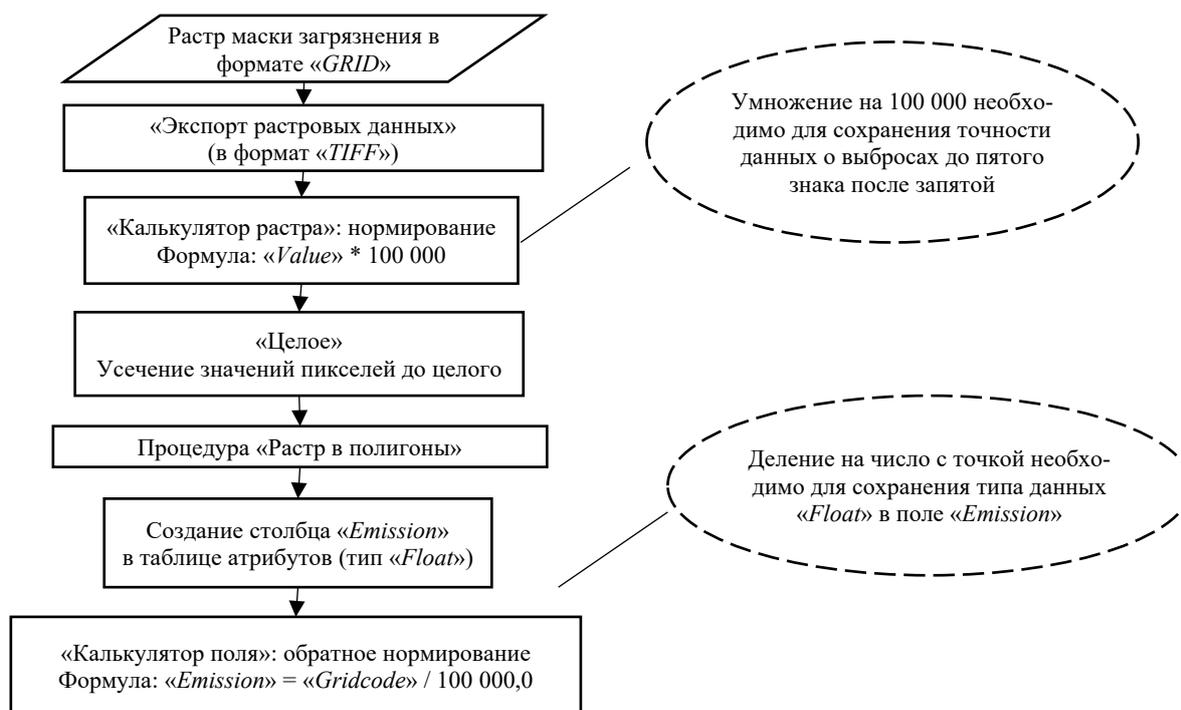


Рис. 4. Алгоритмическая схема перехода

Данная схема была реализована при помощи инструментария «ArcToolbox» программного комплекса ArcGIS. В результате были получены 4 векторных слоя полей загрязнения, в каждом из которых было создано более 1 000 000 элементарных полигональных объектов. Объединение и упрощение полигонов выполнилось частично, так как большинство пикселей имели уникальные значения концентрации загрязняющих веществ (рис. 5).

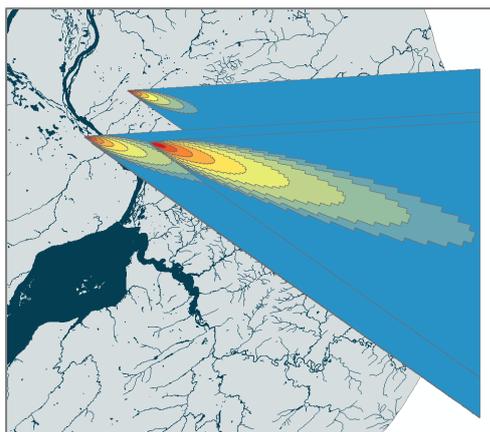


Рис. 5. Результат объединения полигонов

После перехода к векторному виду было необходимо привести значения классов загрязнения в пределах маски к единому масштабу, для унификации представления значений в легенде для всех ТЭЦ. Для этого было необходимо определить общий диапазон значений в легенде для всех ТЭЦ. Для этого было необходимо определить общий диапазон значений. В Excel были перенесены граничные значения параметров выбросов для каждого слоя (каждой ТЭЦ). Минимальное значение загрязнения соответствовало ТЭЦ-2, а максимальное – ТЭЦ-4. Далее, чтобы классификация выполнялась аналогичным образом, что и в ArcMap при выборе конкретного типа классификации, было рассчитано процентное отношение разницы диапазона класса к разнице минимального и максимального значения загрязнения каждой маски. После выполнения расчета была выявлена закономерность. Для расчета новых (единых) граничных значений классов в пределах общего диапазона, формирующих позднее легенду, использована формула:

$$X_{n+1} = X_n + (Per \times X_d), \quad (3)$$

где X_n – начальное значение «младшего» класса легенды (минимальное); X_{n+1} – значение следующего класса легенды; Per – процентная доля диапазона; X_d – дельта нового класса легенды.

После получения граничных значений классов новой легенды все векторные слои масок были переклассифицированы в соответствии с новой градацией классов (рис. 6).

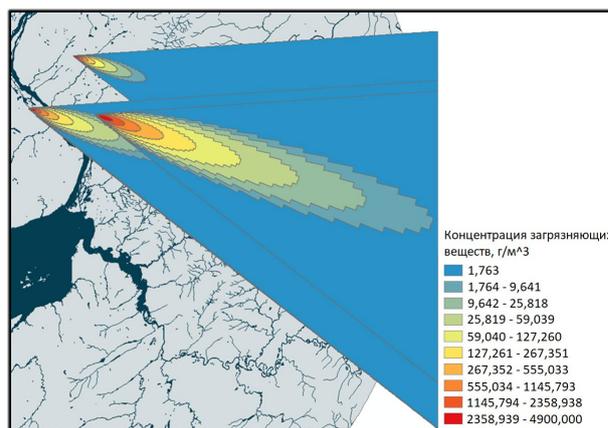


Рис. 6. Результат переклассификации

После выполнения перехода от растрового вида к векторному и переклассификации было выполнено пересечение слоя масок полей загрязнения со слоем земельных участков (рис. 7).

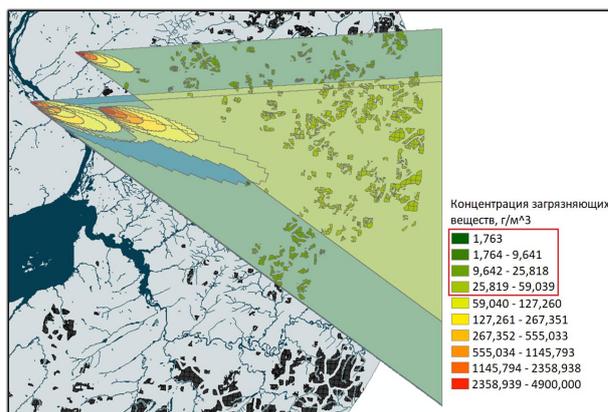


Рис. 7. Результат пересечения

На рис. 8 представлена статистика распределения земельных участков, попадающих под воздействие выбросов ТЭЦ по уровню загрязнения, а также по площади.

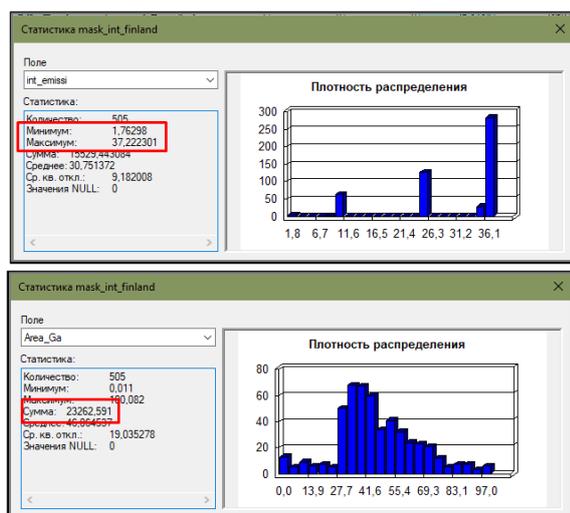


Рис. 8. Статистика распределения по уровню загрязнения и площади

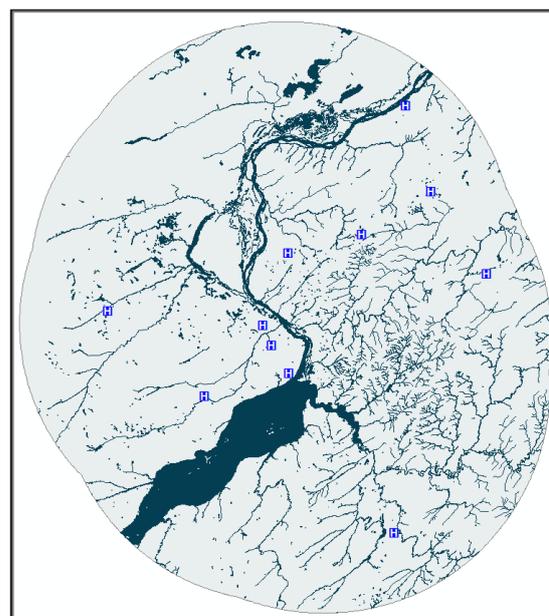


Рис. 9. Созданный слой МУ

Общая площадь земельных участков, попадающих под загрязнение от ТЭЦ, составила 23 262,591 га, что составляет 8,25 % от общей площади анализируемых ЗУ.

Построение зон обслуживания медицинских учреждений

При строительстве жилых комплексов важным фактором является доступность медицинских услуг, так как здравоохранение – неотъемлемая часть жизнедеятельности человека. Ввиду этого было выполнено построение зон обслуживания (ЗО) медицинских учреждений. Такой зоной является область, в границах которой медицинское учреждение сможет реагировать на вызов в пределах установленного времени. К применению была запланирована методика построения зон, учитывающая возможность проезда автомобильной кареты скорой медицинской помощи до пациента [7, 8]. Для построения ЗО были собраны данные о географическом положении 11 медицинских учреждений (МУ), расположенных вблизи или непосредственно в административных районах с повышенной концентрацией земельных участков, которые были выявлены на ранних этапах анализа [9], сформирован слой точечных объектов и отредактирована атрибутивная информация, путем добавления сведений о расположении (адрес), контактном номере телефона и названии учреждения (рис. 9).

Для формирования границ зон был необходим граф дорожной сети, учитывающий ограничения на передвижение: повороты, развороты, одностороннее движение, перекрытые фрагменты дорожной сети (проведение ремонтных работ дорожного полотна, порыв систем отопления и/или водоснабжения и т. п.).

Для формирования данных дорожной сети был использован слой «gis_osm_roads_free» сервиса «OpenStreetMap» (OSM) [10]. Данный слой при помощи функции «пересечение» был ограничен областью интереса (рис. 10).

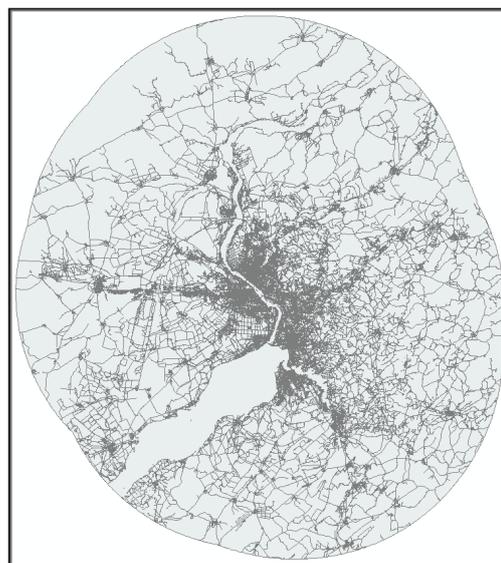


Рис. 10. Фрагментация слоя дорожной сети

Ввиду отсутствия топологической и атрибутивной нагрузки у данных OSM были построены топологические отношения сегментов для формирования файла графа. Так как в атрибутивной базе созданного файла графа дорог были в наличии только геометрические характеристики сегментов, и отсутствовали сведения о скоростных и/или временных показателях, было принято решение строить зоны обслуживания на основе ограничений по удаленности/дальности (пример моделирования границ зоны обслуживания представлен на рис. 11). Оптимальная удаленность пациента от МУ, при которой скорость реагирования сохраняется в пределах норматива [5], составляет 20 км.

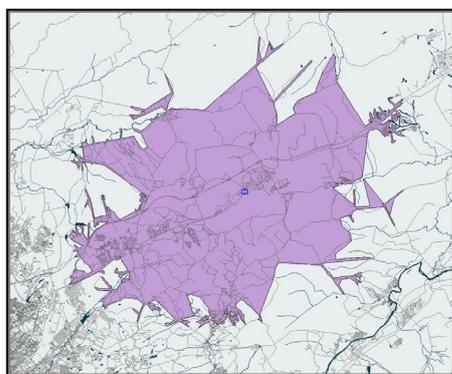


Рис. 11. Зона обслуживания МУ, расположенного в с. Сокур

Далее, по аналогичной методике были построены зоны обслуживания для всех выбранных медицинских учреждений (рис. 12).

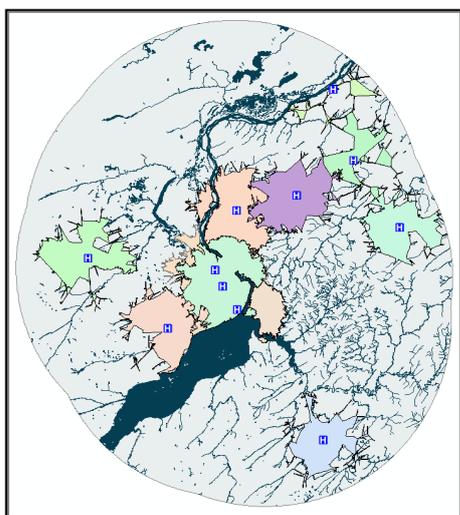


Рис. 12. Зоны обслуживания для всех анализируемых МУ

После построения зон обслуживания была выполнена визуальная оценка покрытия анализируемых территорий (рис. 13).

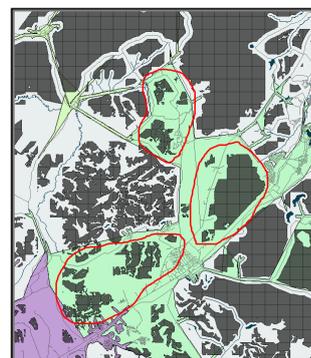


Рис. 13. Земельные участки в пределах зоны обслуживания

При анализе были обнаружены группы потенциальных участков, которые не попали в зону обслуживания по причине отсутствия объектов дорожной сети в этой области. Данные участки не попадают в зону обслуживания, однако являются потенциальными кандидатами, так как при освоении этих территорий можно сегментировать застраиваемую область при помощи строительства новых объектов дорожной сети, что, в свою очередь, увеличит покрытие зоны обслуживания (рис. 14).

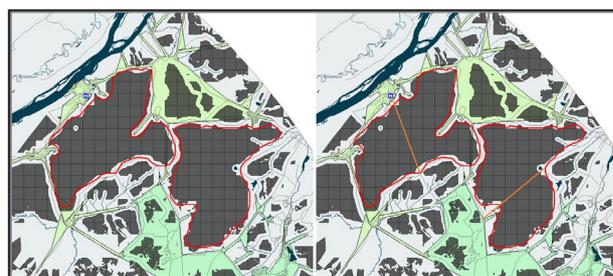


Рис. 14. Земельные участки вне зоны обслуживания с условно предполагаемым расположением новых сегментов дорожной сети

После выполнения построения зон обслуживания и визуальной оценки тематические слои были экспортированы в шейп-файлы для формирования единого объекта-маски в целях удобства его использования при дальнейшем пространственном анализе. Далее были постро-

ены буферные зоны (с удалением 20 км) для всех анализируемых медицинских учреждений и объединены в слой. Данные буферы необходимы для получения промежуточной категории участков, претендующих оказаться в зоне обслуживания в случае расширения дорожной сети (рис. 15).

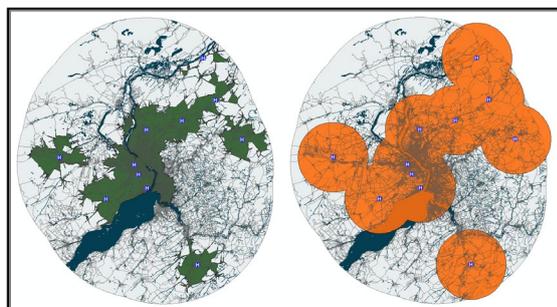


Рис. 15. Созданные слои для оценки доступности медицинских услуг

После подготовки данных для площадной оценки была выполнена классификация земельных участков по группам удаленности базовых медицинских услуг:

- находятся в зоне обслуживания;
- находятся в потенциальной зоне обслуживания;
- находятся вне зон обслуживания.

Из анализируемого слоя были извлечены полигоны земельных участков путем оверлейного пересечения с зоной обслуживания. Объекты второй группы были получены посредством пересечения с буферами и удалением из полученного объекта слоя первой группы. Объекты третьей группы были получены посредством удаления буферов из исходного слоя земельных участков (рис. 16).

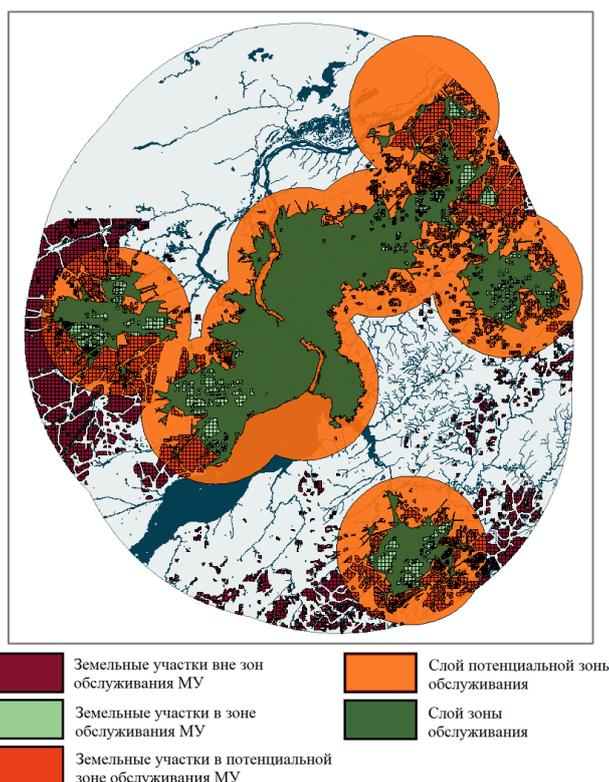


Рис. 16. Классифицированные земельные участки

В заключение была проведена оценка распределения площадей участков в группах. Результат в процентном отношении к общей площади участков оказался следующим: 1-я группа – 13,96 %, 2-я группа – 46,49 %, 3-я группа – 39,61 %.

Выводы и заключения

Практическими результатами исследования явились пространственные данные, представляющие дополнительные категории/характеристики потенциальных земельных

участков, которые позволят дополнить и совершенствовать технологию автоматизированного анализа территорий, пригодных для малоэтажного жилого строительства.

В перспективе исследования планируется реализовать учет данных лесного фонда и ка-

тегорий земель на основе публичной кадастровой карты. Также сохраняет актуальность вопрос о создании модели расчета границ зон загрязнения атмосферы, меняющихся с течением времени (автоматизированный пересчет масок загрязнения).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Atmospheric Dispersion Modeling. [Electronic resource] // University of Washington. – URL: <https://faculty.washington.edu/markbenj/CEE357/CEE%20357%20air%20dispersion%20models.pdf> (дата обращения 24.01.2024).
2. Дневник погоды [Электронный ресурс] // ГИСМЕТЕО. – URL: <http://www.gismeteo.ru/diary/4690/2020/6/> (дата обращения 15.02.2024).
3. Новосибирские ТЭЦ за 10 лет на четверть снизили количество выбросов в атмосферу [Электронный ресурс] // ТАСС. – URL: <http://tass.ru/sibir-news/9847703?ysclid=lrqe29sei0655835285> (дата обращения 25.02.2024).
4. Библиотека Matplotlib в Python [Электронный ресурс] // Программирование на Python. – URL: <http://pythonim.ru/libraries/biblioteka-matplotlib-v-python> (дата обращения 05.03.2024).
5. Руководство по Matplotlib [Электронный ресурс] // matplotlib. – URL: <http://matplotlib.org/stable/index.html> (дата обращения 05.03.2024).
6. Tkinter – Python interface to Tcl/Tk [Электронный ресурс] // Python. – URL: <http://docs.python.org/3/library/tkinter.html> (дата обращения 05.03.2024).
7. Самсонов Т. Е. Основы геоинформатики : практикум [Электронный ресурс] // Тимофей Самсонов. – URL: <https://tsamsonov.github.io/arcgis-course/index.html> (дата обращения 15.03.2024).
8. Сеть, структура и организация работы скорой медицинской помощи. Система подстанций СМП в условиях крупного города [Электронный ресурс] // Студопедия. – URL: http://studopedia.su/10_5709_set-struktura-o-organizatsiya-raboti-skoroj-meditsinskoj-pomoshchi-sistema-podstantsiy-smp-v-sloviyah-kрупного-goroda.html (дата обращения 15.03.2024).
9. Чигридов С. А., Кулик Е. Н. Оценка пригодности территории для малоэтажного строительства методами геоинформационного моделирования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIX Международный научный конгресс, 17–19 мая 2023 г., Новосибирск : сборник материалов в 8 т. Т. 6 : Магистерская научная сессия «Первые шаги в науке». – Новосибирск : СГУГиТ, 2023. – С. 304–312. – DOI 10.33764/2618-981X-2023-6-4-312. – EDN JUWWQG.
10. OpenStreetMap [Электронный ресурс] // OpenStreetMap – URL: <http://www.openstreetmap.org> (дата обращения 15.01.2024).

Об авторах

Екатерина Николаевна Кулик – кандидат технических наук, доцент кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования

Сергей Александрович Чигридов – студент.

Получено 03.06.2024

С. А. Чигридов, Е. Н. Кулик, 2025

Geospatial modeling in the assessment of territories for residential construction

S. A. Chigridov¹, E. N. Kulik¹

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

e-mail: e.n.kulik@ssga.ru

Abstract. Spatial modelling is a core element in the multi-criteria assessment of territories intended for low-rise residential construction, allowing site planners and stakeholders management to make information-supported decisions regarding land use and development. This article discusses the possibilities of geoinformation modeling in assessing atmospheric pollution by emissions from heat and power plants, as well as the availability of medical services in the developed territories. Using geographic information systems (GIS), spatial modeling facilitates the integration of various data sets, including environmental, infra-structural and socio-economic factors, to obtain comprehensive information.

Keywords: spatial modeling, low-rise residential construction, territory assessment, land suitability analysis, site selection, environmental impact assessment, land use planning, accessibility analysis, land classification

REFERENCE

1. University of Washington. Atmospheric Dispersion Modeling. (n. d.). Retrieved from: <https://faculty.washington.edu/markbenj/CEE357/CEE%20357%20air%20dispersion%20models.pdf> (accessed January 24, 2024).
2. GISMETEO. Weather diary. (n. d.). Retrieved from: <http://www.gismeteo.ru/diary/4690/2020/6/> (accessed February 15, 2024).
3. TASS. Novosibirsk thermal power plants have reduced the amount of emissions into the atmosphere by a quarter in 10 years. (n. d.). Retrieved from: <http://tass.ru/sibir-news/9847703?-ysclid=lrqe29sei0655835285> (accessed February 25, 2024).
4. Python Programming. Библиотека Matplotlib v Python. (n. d.). Retrieved from: <http://pythonim.ru/libraries/biblioteka-matplotlib-v-python> (accessed March 05, 2024).
5. Matplotlib. The Matplotlib Manual. (n. d.). Retrieved from: <http://matplotlib.org/stable/index.html> (accessed March 05, 2024).
6. Python. Tkinter – Python interface to Tcl/Tk. (n. d.). Retrieved from: <http://docs.python.org/3/library/tkinter.html> (accessed March 05, 2024).
7. Timofey Samsonov. Fundamentals of Geoinformatics : a practical course. (n. d.). Retrieved from: <https://tsamsonov.github.io/arcgis-course/index.html> (accessed March 15, 2024).
8. Studopedia. Network, structure and organization of emergency medical services. The system of substations of the NSR in a large city. (n. d.). Retrieved from: http://studopedia.su/10_5709_set-struktura-o-organizatsiya-raboti-skoroy-meditsinskoy-pomoshchi-sistema-podstantsiy-smp-v-sloviyah-krupnogo-goroda.html (accessed March 15, 2024).
9. Chigrinov, S. A., Kulik, E. N. (2023). Assessment of the suitability of the territory for low-rise construction using geoinformation modeling methods. *Interexpo Geo-Sibir' [Interexpo Geo-Siberia]*, 6(8), 304–312 [in Russian]. DOI 10.33764/2618-981X-2023-6-4-312. EDN JUWWQG. [in Russian]
10. OpenStreetMap. (n. d.). Retrieved from: <http://www.openstreetmap.org> (accessed January 15, 2024).

Author details

Ekaterina N. Kulik – Ph. D., Associate Professor of the Department of Photogrammetry and Remote Sensing

Sergey A. Chigrinov – student.

Received 03.06.2024

S. A. Chigrinov, E. N. Kulik, 2025