

Применение метода NDVI-анализа для оценки эффективности противошумовой защиты примагистральных зеленых насаждений

П. А. Суханов¹, Т. И. Прожорина¹✉, А. Н. Ларионов², В. Н. Нечаев³, А. С. Боева¹

¹Воронежский государственный университет, Российская Федерация
(394018, г. Воронеж, Университетская пл., 1)

²Воронежский государственный аграрный университет
имени императора Петра I, Российская Федерация
(394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, 1)

³Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина,
Российская Федерация
(394064, г. Воронеж, ул. Старых большевиков, 54а)

Аннотация. Цель исследования – оценка роли зеленых насаждений как одного из факторов снижения акустической нагрузки на жилые территории вблизи автомагистралей при анализе значений нормализованного вегетационного индекса (NDVI) и уровня шумового воздействия.

Материалы и методы. При определении площадных характеристик зеленых насаждений городского округа город Воронеж (г.о. г. Воронеж) использовали метод дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), в частности, NDVI анализ и корреляционный анализ для исследования связи NDVI-индекса, ширины зеленых насаждений и эквивалентного уровня шума вблизи автомагистралей.

Результаты и обсуждение. Установлено, что площадь озелененных территорий для г.о. г. Воронеж составляет свыше 311 м²/чел., однако, полученные значения определены без учета особенностей расположения жилой застройки на территории городского округа. Значительное превышение норматива площади зеленых насаждений обусловлено размещением на территории городского округа лесных массивов (Воронежская нагорная дубрава, Шиловский лес и др.), находящихся на значительном удалении от населенных участков. Анализ корреляции между индексом NDVI, шириной зеленого пояса и уровнем шума показал, что протяженность зеленых насаждений имеет высокую степень корреляции с эквивалентным уровнем шума ($r = -0,74$).

Заключение. Применение индекса NDVI для оценки площади зеленых территорий эффективно для анализа акустического воздействия автомагистралей на городскую среду. Установлена обратно-пропорциональная зависимость между шириной зеленых насаждений и эквивалентным уровнем шума, отражающая высокую значимость растительного покрова города при формировании акустического режима территории.

Ключевые слова: площадь зеленых насаждений, метод дистанционного зондирования Земли, показатель NDVI, площадные характеристики, растровые снимки.

Источник финансирования: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 20-17-00172, <https://rscf.ru/project/20-17-00172/>.

Для цитирования: Суханов П. А., Прожорина Т. И., Ларионов А. Н., Нечаев В. Н., Боева А. С. Применение метода NDVI-анализа для оценки эффективности противошумовой защиты примагистральных зеленых насаждений // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2024, № 2, с. 152-157. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/2/135-140>

ВВЕДЕНИЕ

Одной из актуальных проблем планировки территории городского округа город Воронеж является недостаточная площадь зеленых насаждений на жилых территориях.

Согласно санитарным нормам¹, площадь озелененных территорий общего пользования в большом городе должна составлять 10-12 м² на человека [3]. В г.о. г. Воронеж этот показатель равен 8,5 м² на человека [1, 10]. Это создаёт проблемы для экологической ситуации в городской среде и оказывает потенциальное негативное влияние на жизнь и здоровье горожан.

Места, покрытые искусственно посаженными и природными растениями, такими как лесные массивы, бульвары, отдельные деревья и кустарник, а также газоны и парки, относятся к зеленым зонам. Современные методы исследования, использующие спутниковые данные, позволяют получать точные сведения о состоянии зелёных зон в городских районах [5].

Цель исследования заключается в изучении площадных показателей зеленых зон на территории г.о. г. Воронеж при применении методов ДЗЗ и определении роли зеленых насаждений как одного из факторов сни-

© Суханов П. А., Прожорина Т. И., Ларионов А. Н., Нечаев В. Н., Боева А. С., 2024

✉ Прожорина Татьяна Ивановна, e-mail: cogiandre@rambler.ru

¹СП 42.13330.2016. Свод правил. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89 от 30.12.2016 № 1034/пр. Москва, 2016.



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

жения акустической нагрузки на селитебные территории г.о. г. Воронеж при анализе значений показателя NDVI и уровня шумового воздействия.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Определение площадных характеристик зеленых насаждений г.о. г. Воронеж проводилось на основе мультиспектральных спутниковых изображений, полученных с космического спутника LandSat-8 через общедоступный Интернет-ресурс EarthExplorer. В процессе исследования были решены следующие задачи: выбран период года с максимальной плотностью листового покрова на кустарниках и деревьях в городе для более точного определения площади зелёных массивов; определены границы городского округа города Воронеж в программном обеспечении QGIS; загружены два спутниковых снимка от 2 июня 2023 года (B4 и B5 – изображения в красном и ближнем инфракрасном диапазоне) с полным охватом территории г.о. г. Воронеж и минимальным уровнем облачности; получено растровое изображение с данными NDVI и проведена классификация территории на основе эталонных участков; определены числовые и процентные показатели площади зелёных насаждений.

Один из способов оценки площади зелёных территорий является применение индекса NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Этот индекс основывается на измерении разницы между инфракрасным и видимым излучениями, отражёнными от растительности. Чем больше показатель биомассы активной для фотосинтеза, тем выше значение NDVI [5, 7]. NDVI вычисляется по формуле:

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$$

где *NIR* – отражение в ближней инфракрасной области спектра; *RED* – отражение в красной области спектра.

Расчёты показателей NDVI и определение площадей проводились в программе QGIS [6]. Для этого выполнены следующие действия: загрузка 2 двухканальных растровых изображений в программу QGIS; создание контура г.о. г. Воронеж при помощи тега «admin_level» из модуля OpenStreetMap; обрезка растровых изображений по загруженному контуру; расчёт значений NDVI через раздел «калькулятор растров»; синтез цветов полученных значений; классификация изображений через интегрированный плагин SCP на основании эталонных участков, информация о которых получена на спутниковом изображении с комбинацией каналов «естественные цвета»; определение площадных характеристик зеленых зон с использованием инструментов анализа «Зональная статистика растров» [7].

Материалами для исследования роли зеленых насаждений как одного из факторов снижения акустической нагрузки на селитебные территории при анализе значений показателя NDVI и уровня шума послужили исходные данные, полученные в ходе изучения связи уровня шума и ширины зеленых насаждений на одном из участков Московского проспекта г.о. г. Воронеж. Ранее

нами установлено, что шумозащитная роль зеленых насаждений уменьшается при листовом опадании, а также зависит от дендрологического состава растительности [8].

Для исследования связи индекса NDVI и уровня шума были проведены следующие операции: подбор спутниковых снимков, подходящих по времени к дате измерения уровня шума от автотранспорта (до и после опадания листьев – 14.09.2023 года и 30.11.2023 года соответственно); нанесение точек, на которых измерялся уровень шума, и определение длины дороги, влияющей на каждую из этих точек (расстояние от магистрали до точки измерения шума должно быть увеличено в 5 раз и больше); вычисление среднего значения индекса NDVI на участке от дорожного полотна до каждой точки измерения; сравнение полученных значений с уровнем автотранспортного шума.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам расчёта индекса NDVI создана карта распределения значений NDVI по территории г.о. г. Воронеж (рис. 1.). Затем на основе полученных значений и эталонных участков различных типов объектов (зелёные насаждения, объекты гидросети, здания и инфраструктура) проведена классификация [4].

Метод классификации позволяет наглядно сравнить пространственные характеристики определяемых объектов. На основе этого метода проводится статистический анализ данных, результаты которого выводятся в виде таблицы атрибутов. Эта таблица содержит следующие данные о свойствах классифицированных объектов: наименование, минимальное и максимальное значение, общая площадь и т. д. Доля зелёных насаждений рассчитывается как отношение общей площади зелёных насаждений в черте города к общей площади городского округа [9].

По результатам обработки площадных характеристик установлены следующие закономерности: зелёные насаждения в черте г.о. г. Воронеж занимают 55 % или 327,8 км² из 596 км²; а нормативные значения площади зеленых насаждениями для крупных городов составляют 10-12 м²/чел. и более [2].

Площадь озелененных территорий для г.о. г. Воронеж составляет свыше 311 м²/чел., однако, полученные значения определены без учета особенностей расположения селитебной застройки на территории городского округа. Значительное превышение норматива площади зеленых насаждений обусловлено нахождением на территории г.о. г. Воронеж лесных массивов (Воронежская нагорная дубрава, Шиловский лес и др.), расположенных на значительном удалении от населенных участков.

На рисунке 2 представлены карты значений показателя NDVI в разные вегетационные периоды, мониторинговые точки контроля уровня автотранспортного шума и зоны влияния автомобильного транспорта Московского проспекта на каждую точку. Анализируя полученные карты, отмечено, что в период поздней осени значения NDVI значительно ниже сентябрьских показателей.

Для получения численных значений проведена зональная статистика участков влияния автотранспорта

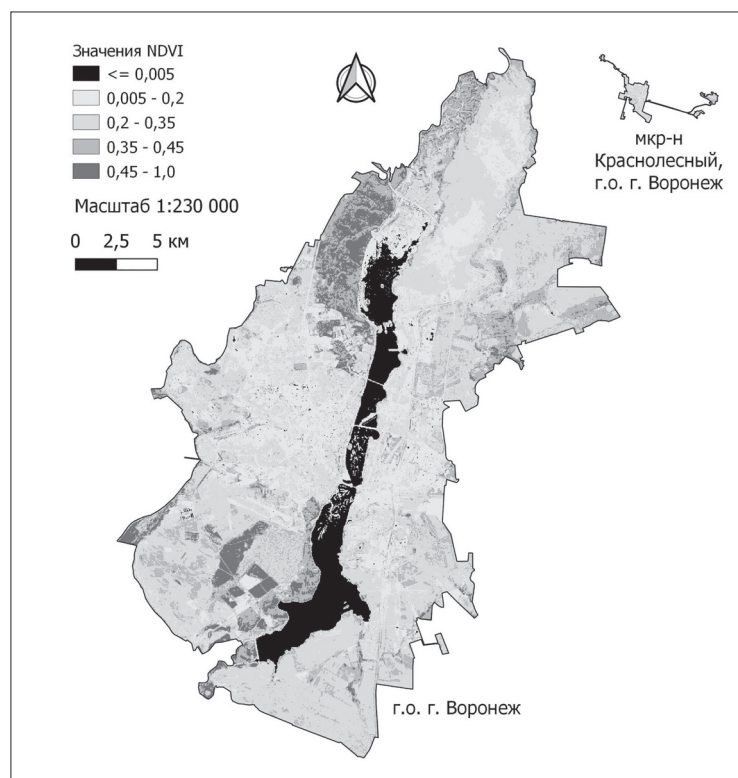


Рис. 1. Карта распределения значений NDVI на территории г.о г. Воронеж
 [Fig. 1. Map of distribution of NDVI values in the territory of Voronezh city]

Московского проспекта на каждую точку до и после листового опада, которая представлена в таблице 1.

По значениям показателя NDVI и расстояний от магистрали до точек контроля проведен корреляционный анализ с уровнем шума для установления влияния каждого фактора на акустический фон. Ширина зеленых насаждений имеет высокую связь с эквивалентным

уровнем шума ($r = -0,74$) с обратно-пропорциональной зависимостью и является одним из основных факторов в формировании акустического режима территории. Показатель NDVI относится к второстепенным факторам влияния на уровень шума ($r = -0,30$) в связи с тем, что значение NDVI отражает плотность листового покрова на древесно-кустарниковой растительности.

Таблица 1

Средние значения показателя NDVI в зонах влияния Московского проспекта на мониторинговые точки контроля и значения уровня автотранспортного шума до и после листового опада
 [Table 1. Average NDVI values in the zones of influence of Moskovsky Prospect at the monitoring control points and values of motor vehicle noise levels before and after leaf fall]

№ п/п	Адрес мониторинговой точки / Address monitoring point	Ширина зеленых насаждений, м / Width of green areas, m	Эквивалентный шум, дБ / Equivalent noise, dB	Фактическое снижение уровня шума от полосы насаждений, дБ / Actual reduction of noise level from the plantation strip, dB	NDVI
До листового опада					
1	Московский проспект, д.189, корп. 5	95	60,6	18,0	0,27
2	Московский проспект, д.175	95	60,2	18,4	0,24
3	Московский проспект, д.151/5	110 + экран	49,4	29,2	0,21
4	Московский проспект, д.149«а»	25	64,9	13,7	0,21
После листового опада					
1	Московский проспект, д.189, корп. 5	95	62,8	13	0,12
2	Московский проспект, д.175	95	61,2	14,6	0,12
3	Московский проспект, д.151/5	110 + экран	55,6	20,2	0,16
4	Московский проспект, д.149«а»	25	66,0	9,8	0,11

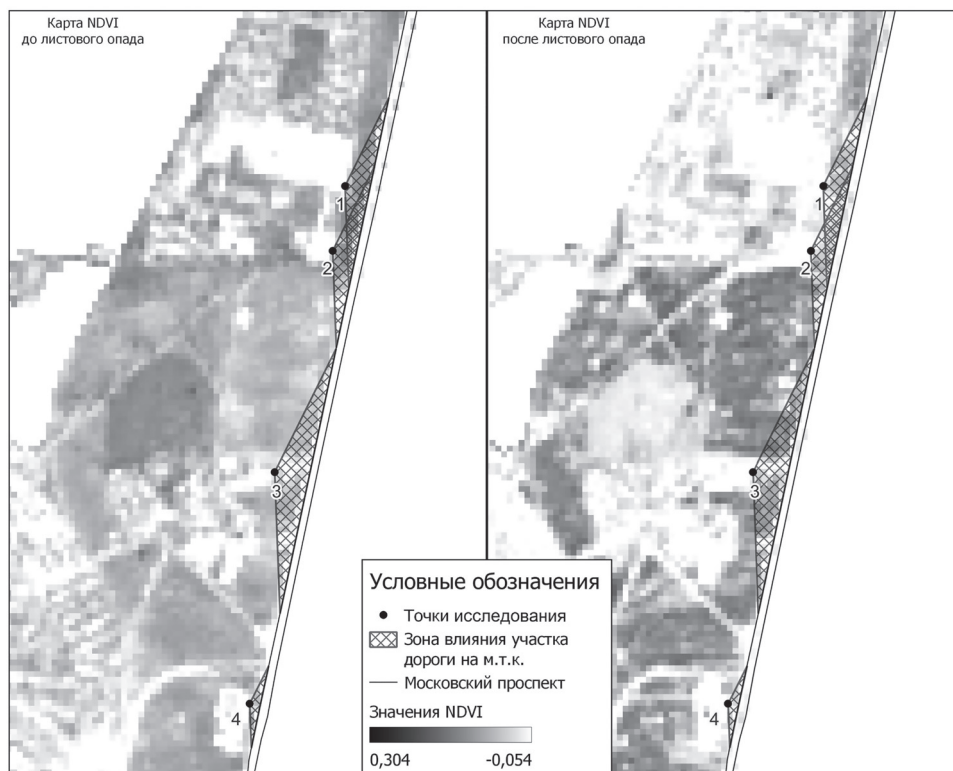


Рис.2. Карта значений NDVI до и после листового опада на участке Московского проспекта г.о. г. Воронеж [Fig.2. Map of NDVI values before and after leaf fall in the section of Moskovskiy Avenue, Voronezh city centre]

В результате обработки полученных значений установлены следующие закономерности: а) ширина зеленых насаждений вдоль Московского проспекта г.о. г. Воронеж является одним из главных показателей при формировании благоприятного уровня шума в точках исследования, так как данный показатель уже включает в себя расстояние от автомагистрали до селитебной территории и шумозащитную эффективность; б) при минимальной ширине зеленых насаждений высокие значения NDVI не будут способствовать значительному снижению шума. В случае, если зеленые насаждения имеют большую протяженность от источника шума до селитебной территории и значения NDVI будут высокие, то в таком случае шумозащитная роль древесно-кустарниковой зоны будет эффективной.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенных исследований методом дистанционного зондирования Земли определены площадные характеристики зеленых насаждений г.о. г. Воронеж и дана оценка роли зеленых насаждений как одного из факторов снижения акустической нагрузки на селитебные территории при анализе значений показателя NDVI и уровня шума.

По результатам обработки площадных характеристик зеленых насаждений установлено, что площадь озелененных территорий для г.о. г. Воронеж составляет свыше 311 м²/чел., что существенно выше нормативных значений для крупных городов (10-12 м²/чел.). Однако, полученные значения определены без учета особеннос-

тей расположения селитебной застройки на территории городского округа. Значительное превышение норматива площади зеленых насаждения обусловлено присутствием на территории г.о. г. Воронеж лесных массивов (Воронежская нагорная дубрава, Шиловский лес и др.), находящихся на значительном удалении от населенных участков. В связи с необходимостью проведения детального анализа распределения жилых зон и зеленых территорий, исследование носит пролонгированный характер.

Корреляционный анализ показал, что ширина зеленых насаждений имеет высокую связь с эквивалентным уровнем шума ($r = -0,74$), характеризующуюся обратно-пропорциональной зависимостью, и является одним из основных факторов в формировании акустического режима территории.

Использование индекса NDVI для оценки площади зелёных зон г.о. г. Воронежа позволяет получить объективную информацию о состоянии зелёных зон и, таким образом, облегчает процесс планирования и контроля городского пространства. Этот метод в перспективе будет эффективен для комплексной оценки качества городской среды и оценки биопродуктивности зелёных насаждений промышленно развитого города.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адоньева Т.Б., Иванова Е.М., Калюжная Л.А. Зеленые насаждения города Воронежа: современное состояние, проблемы // *Вестник Самарского государственного университета. Серия: География, Геоэкология*, 2001, № 1, с. 136-138.
2. Кириллов С.Н., Плотникова К.А. Совершенствование эколого-экономического механизма управления озеленением го-

рода Воронежа // *Материалы XVII международной научно-практической конференции Российского общества экологической экономики (РОЭЭ) «Глобальные вызовы и экономические интересы: экономический и социальный аспекты»*, 2023, с. 240-244.

3. Киселевская К.Е. Применения метода дистанционного зондирования Земли для экологического мониторинга // *Горный информационно-аналитический бюллетень*, 2009, № 1, с. 188-190.

4. Коберниченко В.Г., Иванов О.Ю., Зраенко С.М. Технология регионального экологического мониторинга на основе средств дистанционного зондирования Земли // *Записки Горного института*, 2004, т. 158, с. 111-113.

5. Савиных В.П., Цветков В.Я. *Геоинформационный анализ данных дистанционного зондирования*. Москва: Картгеоцентр Геодезиздат, 2001. 228 с.

6. Сарычев Д.В. *Практикум по геоинформационным технологиям. QGIS в экологии и природопользовании: учебно-методическое пособие. Ч. 1*. Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2016. 28 с.

7. Суханов П.А., Дюкарев Д.Е. Дистанционный мониторинг экологического состояния Матурского водохранилища // *Сборник научных статей по материалам I Всероссийской*

молодежной научной конференции «Актуальные проблемы биологии, химии, географии и технологии», 2023, с. 36 - 42.

8. Прожорина Т.И., Куролап С.А., Суханов П.А. Исследование влияния лесополосы на формирование уровня автотранспортного шума примагистральных территорий города Воронежа // *Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки*, 2022, т. 16, № 1, с. 102-109.

9. Ряхов Р.В., Дубровская С.А., Норейка С.Ю. Дешифрация данных дистанционного зондирования как метод анализа восстановительных процессов в пределах карьерно-отвалных ландшафтов // *Вопросы степеведения*, 2016, т. XIII, с. 74-80.

10. Флористические особенности урбанизированных территорий городского округа г. Воронеж / А.Я. Григорьевская, Л.А. Лепешкина, О.С. Лисова, Д.Р. Владимиров // *Материалы 9-й межрегиональной научно-практической конференции «Экологическая безопасность нашего будущего»*, 2013, с. 237-240.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию: 28.02.2024

Принята к публикации: 28.05.2024

UDC 504.05:581.5 (470. 324)

ISSN 1609-0683

DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/2/135-140>

Application of the NDVI-analysis method to assess the effectiveness of noise protection of highway green spaces

P.A. Sukhanov, T.I. Prozhorina , A.N. Larionov, V.N. Nechaev, A.S. Boeva

Voronezh State University, Russian Federation

(1, Universitetskaya Sq., Voronezh, 394018)

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I, Russian Federation

(1, Michurin Str., Voronezh, 394087)

N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy, Russian Federation

(54a, Starykh bolshevikov Str., Voronezh, 394064)

Abstract. The aim of the study is to evaluate the role of green spaces as one of the factors of acoustic load reduction in residential areas near highways by analyzing the values of normalized vegetation index (NDVI) and the level of noise impact.

Materials and Methods. The Earth remote sensing (ERS) method, in particular, NDVI analysis and correlation analysis to investigate the relationship between NDVI-index, green space width and equivalent noise level near highways were used to determine the area characteristics of green spaces in the urban district of the city of Voronezh.

Results and discussion. It is established that the area of green areas for the city of Voronezh is more than 311 m²/person, however, the obtained values are determined without taking into account the peculiarities of the location of residential development on the territory of the urban district. Significant exceeding of the normative area of green areas is caused by the location of forest areas (Voronezh Highland Oak Forest, Shilovsky Forest, etc.) located at a considerable distance from the settlements on the territory of the urban district. Analysis of the correlation between NDVI index, green belt width and noise level showed that the extent of green belt has a high degree of correlation with equivalent noise level ($r = -0.74$).

Conclusion. The application of NDVI index to estimate the area of green areas is effective for analyzing the acoustic impact of highways on the urban environment. An inversely proportional relationship between the width of green spaces and the equivalent noise level has been established, reflecting the high importance of the vegetation cover of the city in the formation of the acoustic regime of the territory.

Keywords: green areas, remote sensing method, NDVI indicator, area characteristics, raster images

Funding: The study was funded by the Russian Science Foundation grant No. 20-17-00172, <https://rscf.ru/project/20-17-00172/>.

© Sukhanov P.A., Prozhorina T.I., Larionov A.N., Nechaev V.N., Boeva A.S., 2024

 Prozhorina Tatyana Ivanovna, e-mail: coriandre@rambler.ru



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

For citation: Sukhanov P.A., Prozhorina T.I., Larionov A.N., Nechaev V.N., Boeva A.S. Application of the ND-analysis method to assess the effectiveness of noise protection of highway green spaces. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografiya. Geoekologiya*, 2024, no. 2, pp. 152-157. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/2/135-140>

REFERENCES

1. Adon'eva T.B., Ivanova E.M., Kalyuzhnaya L.A. Zelenye nasazhdeniya goroda Voronezha: sovremennoe sostoyanie, problemy [Green spaces of the city of Voronezh: current state, problems]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya, Geoekologiya*, 2001, no. 1, pp. 136-138. (In Russ.)
2. Kirillov S.N., Plotnikova K.A. Sovershenstvovanie ekologo-ekonomicheskogo mekhanizma upravleniya ozeleneniem goroda Voronezha [Improvement of the ecological and economic mechanism of greening management in the city of Voronezh]. *Materialy XVII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii Rossiyskogo obshchestva ekologicheskoy ekonomiki (ROEE) «Global'nye vyzovy i ekonomicheskie interesy: ekonomicheskii i sotsial'nyye aspekty»*, 2023, pp. 240-244. (In Russ.)
3. Kiselevskaya K.E. Primeneniya metoda distantsionnogo zondirovaniya Zemli dlya ekologicheskogo monitoringa [Applications of the Earth remote sensing method for environmental monitoring]. *Gornyy informatsionno-analiticheskii byulleten'*, 2009, no. 1, pp. 188-190. (In Russ.)
4. Kobernichenko V.G., Ivanov O.Yu., Zraenko S.M. Tekhnologiya regional'nogo ekologicheskogo monitoringa na osnove sredstv distantsionnogo zondirovaniya Zemli [Technology of regional environmental monitoring based on remote sensing of the Earth]. *Zapiski Gornogo instituta*, 2004, v. 158, pp. 111-113. (In Russ.)
5. Savinykh V.P., Tsvetkov V.Ya. *Geoinformatsionnyy analiz dannykh distantsionnogo zondirovaniya* [Geoinformation analysis of remote sensing data]. Moscow: Kartgeotsentr Geodezizdat, 2001. 228 p. (In Russ.)
6. Sarychev D.V. Praktikum po geoinformatsionnym tekhnologiyam. QGIS v ekologii i prirodopol'zovanii: uchebno-metodicheskoe posobie. Ch. 1 [Workshop on geoinformation technologies. QGIS in ecology and nature management: an educational

and methodological guide. Part 1]. Voronezh: Izdatel'skiy dom VGU, 2016. 28 p. (In Russ.)

7. Sukhanov P.A., Dyukarev D.E. Distantsionnyy monitoring ekologicheskogo sostoyaniya Matyrskogo vodokhranilishcha [Remote monitoring of the ecological state of the Matyr reservoir]. *Sbornik nauchnykh statey po materialam I Vserossiyskoy molo-dezhnoy nauchnoy konferentsii «Aktual'nye problemy biologii, khimii, geografii i tekhnologii»*, 2023, pp. 36-42. (In Russ.)

8. Prozhorina T.I., Kurolap S.A., Sukhanov P.A. Issledovanie vliyaniya lesopolosy na formirovanie urovnya avtotransportnogo shuma primagistral'nykh territoriy goroda Voronezha [Investigation of the influence of the forest belt on the formation of the level of motor vehicle noise in the mainline territories of the city of Voronezh]. *Izvestiya Dagestanskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. Estestvennye i tochnye nauki*, 2022, vol. 16, no. 1, pp. 102-109. (In Russ.)

9. Ryakhov R.V., Dubrovskaya S.A., Noreyka S.Yu. Deshifratsiya dannykh distantsionnogo zondirovaniya kak metod analiza vosstanovitel'nykh protsessov v predelakh kar'erno-otval'nykh landshaftov [Decryption of remote sensing data as a method for analyzing recovery processes within quarry-dump landscapes]. *Voprosy stepedeniya*, 2016, vol. XIII, pp. 74-80. (In Russ.)

10. Floristicheskie osobennosti urbanizirovannykh territoriy gorodskogo okruga g. Voronezh / A.Ya. Grigor'evskaya, L.A. Lepe-shkina, O.S. Lisova, D.R. Vladimirov [Floristic features of urbanized territories of the Voronezh city district]. *Materialy 9-y mezhdregional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Ekologicheskaya bezopasnost' nashego budushchego»*, 2013, pp. 237-240. (In Russ.)

Conflict of interests: The authors declare no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Received: 28.02.2024

Accepted: 28.05.2024

Суханов Павел Алексеевич

аспирант кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского государственного университета, г. Воронеж, Российская Федерация, ORCID: 0000-0001-6234-8887, e-mail: sukhanov.1990@bk.ru

Прождорина Татьяна Ивановна

кандидат химических наук, доцент кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского государственного университета, г. Воронеж, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-2808-0802, e-mail: coriandre@rambler.ru

Ларионов Алексей Николаевич

доктор физико-математических наук, профессор кафедры математики и физики ВГАУ имени императора Петра I, г. Воронеж, Российская Федерация, e-mail: larionovan@yandex.ru

Нечаев Владимир Николаевич

доктор физико-математических наук, профессор кафедры математики ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж, Российская Федерация, e-mail: wladnic@mail.ru

Болева Анастасия Сергеевна

преподаватель кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского государственного университета, г. Воронеж, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-4793-4607, e-mail: nastya.boeva.82@mail.ru

Pavel A. Sukhanov

Postgraduate student at the Department of Geoecology and Environmental Monitoring of the Faculty of Geography, Geoecology and Tourism, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation, ORCID: 0000-0001-6234-8887, e-mail: sukhanov.1990@bk.ru

Tat'yana I. Prozhorina

Cand. Sci. (Chemist.), Assoc. Prof. at the Department of Geoecology and Environmental Monitoring of the Faculty of Geography, Geoecology and Tourism, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-2808-0802, e-mail: coriandre@rambler.ru

Alexey N. Larionov

Dr. Sci. (Phys. and Math.), Prof. at the Department of Mathematics and Physics of the Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I, Voronezh, Russian Federation, e-mail: larionovan@yandex.ru

Vladimir N. Nechaev

Dr. Sci. (Phys. and Math.), Professor at the Department of Mathematics of the Military Educational and Scientific Centre of the Air Force «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy», Voronezh, Russian Federation, e-mail: wladnic@mail.ru

Anastasiya S. Boeva

Lecturer at the Department of Geoecology and Environmental Monitoring of the Faculty of Geography, Geoecology and Tourism, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-4793-4607, e-mail: nastya.boeva.82@mail.ru