

Исследование экологической безопасности городской среды по данным дистанционного мониторинга

С. А. Епринцев¹✉, О. В. Клепиков^{1,2}

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

²Воронежский государственный университет инженерных технологий, Российская Федерация
(394036, г. Воронеж, пр. Революции, 19)

Аннотация: Целью настоящего исследования является изучение факторов экологической безопасности городской среды по материалам дистанционного зондирования Земли на примере городов Воронежа, Липецка, Белгорода.

Материалы и методы. На примере городов Центральной России – Воронежа, Липецка и Белгорода проведено пространственное исследование факторов экологической безопасности городской среды по материалам дистанционного зондирования Земли. Источником данных стали многоканальные космические снимки, сделанные со спутников Landsat-8 и Sentinel-2 за период с 2015 по 2021 годы. Для исследования динамических характеристик за двадцатилетний период были использованы космические снимки исследуемых территорий со спутника Landsat-7 за период с 1999 по 2001 годы. По дешифровочным признакам выделены объекты экологического риска, изучена антропогенная нагрузка, оказываемая на селитебные ландшафты, а также пространственные характеристики природного каркаса городских территорий и пригородных зон Воронежа, Липецка, Белгорода.

Результаты и обсуждение. Для оценки уровня антропогенной нагрузки, оказываемой на исследуемые территории, были выделены 4 зоны – с сильной антропогенной нагрузкой; со средней антропогенной нагрузкой; природный каркас; гидрологические объекты. Наибольшую территорию занимают участки городов, а также буферных десятикилометровых зон со средней антропогенной нагрузкой, к которой отнесена малоэтажная застройка, агроландшафты. Большая часть этой зоны приходится на расположенные вблизи города сельскохозяйственные поля. Удельный вес природного каркаса составляет от 8 до 12% исследуемой территории, что не является достаточным для обеспечения экологической безопасности.

Выводы. Оценка динамических характеристик антропогенной нагрузки на всех изученных территориях показывает увеличение зон с сильной антропогенной нагрузкой за счёт сокращения территорий со средней антропогенной нагрузкой, что объясняется социально-экономическим трендом развития данных территорий. В качестве положительного аспекта следует выделить увеличение зоны природного каркаса на территории городского округа города Воронежа за двадцатилетний период.

Ключевые слова: экологическая безопасность, городская среда, дистанционное зондирование, природный каркас, антропогенная нагрузка.

Источник финансирования: Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 20-17-00172.

Для цитирования: Епринцев С. А., Клепиков О. В. Исследование экологической безопасности городской среды по данным дистанционного мониторинга // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2022, № 4, с. 102-110. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2022/4/102-110>

ВВЕДЕНИЕ

Городская среда современных урбанизированных территорий представляет собой сложную многокомпонентную систему, функционирование которой осуществляется как под воздействием взаимосвязанных

факторов и условий, так и автономных (часто вступающих в противоречие с прочими факторами) субстанций. Устойчивое развитие селитебных ландшафтов возможно лишь при компромиссном взаимодействии всех её элементов [10].

© Епринцев С. А., Клепиков О. В., 2022

✉ Епринцев Сергей Александрович, e-mail: esa81@mail.ru



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

Главным и безальтернативным условием устойчивого развития является повышение качества жизни населения, но при достижении данной задачи следует уделять внимание другому важному фактору – экологической безопасности территории. Так, производной роста интеллектуально промышленного потенциала во второй половине XX века в развитых странах мира стало загрязнение городской среды антропогенными поллютантами, что привело к появлению экологически-обусловленных заболеваний населения [10].

Обеспечение экологической безопасности городской среды предполагает работу с большими массивами пространственно-временных данных, сбором и анализом которых на территории Российской Федерации успешно занимаются как природоохранные службы, так и экологи-практики, используя при этом преимущественно методы наземного мониторинга окружающей среды [6]. Масштабное развитие спутниковых технологий, наблюдающееся в настоящее время, позволяет использовать данные дистанционного зондирования Земли для мониторинга факторов, влияющих на экологическую безопасность территории [4].

Технологии дистанционного мониторинга окружающей среды экономически более выгодны по сравнению с наземными методами экологического контроля, позволяют осуществлять существенную экономию временного ресурса, проводя большее количество исследований за один и тот же временной интервал [5]. При этом стоит отметить, что точность проведённых исследований выше у технологий наземного мониторинга [7].

Описанные условия обуславливают актуальность использования данных дистанционного мониторинга при оценке экологической безопасности городской среды, а их сопоставление с данными наземного мониторинга дают возможность для принятия научно-обоснованных управленческих решений.

Целью настоящего исследования является оценка факторов экологической безопасности городской среды по материалам дистанционного зондирования Земли на примере городов Воронежа, Липецка, Белгорода.

Для достижения данной цели были решены следующие задачи: осуществлён сбор данных дистанционного зондирования Земли городов Воронежа, Липецка, Белгорода, а также пригородных зон за двадцатилетний период; произведено дешифрирование космических снимков исследуемых городов с выделением объектов экологического риска; выполнена оценка антропогенной нагрузки селитебных ландшафтов исследуемых городов; изучены пространственные характеристики природного каркаса городских территорий, пригородных зон и дана оценка его эффективности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для изучения экологической безопасности городской среды урбанизированных территорий Центральной России (на примере городов Воронежа, Липецка, Белгорода) были использованы данные портала GeoMixer компании «ИТЦ СКАНЭКС». Данный портал представляет собой веб-геоинформационную платформу для широкого круга задач, которая позволяет работать с геоданными. Полученные на портале многоканальные космические снимки, сделанные со спутников Landsat-8 и Sentinel-2 за период с 2015 по 2021 годы, обобщены в архиве. Космические снимки архива, содержащие наиболее актуальную информацию 2021 года, представлены в таблице 1.

Для оценки динамики антропогенной нагрузки городских территорий на примере городов Воронежа, Липецка, Белгорода за двадцатилетний период созданный архив был дополнен архивными многоканальными космическими снимками, сделанными со спутника Landsat-7 за период с 1999 по 2001 годы (табл. 2). Архивные космические снимки были получены на портале USGS – геологической службе США.

Обработка и последующее тематическое дешифрирование полученных космических снимков местности производилось в программном пакете ScanexImageProcessor, позволяющем осуществлять тематическую классификацию изображений, используя различные алгоритмы.

Таблица 1

Космические снимки 2021 года, используемые для оценки экологической безопасности городской среды
[Table 1. Satellite images of 2021 used to assess the environmental safety of the urban environment]

№ п/п	Дата съёмки, время / Date of shooting, time	Спутник / Satellite	Шифр снимка / Image cipher	Видимые города / Visible cities
1	25.08.2021, 8.17	Landsat-8	LC81760242021237LGN00	Воронеж
2	16.08.2021, 8.24	Landsat-8	LC81770252021228LGN00	Белгород
3	22.06.2021, 8.17	Landsat-8	LC81760242021173LGN00	Воронеж
4	22.06.2021, 8.17	Landsat-8	LC81760232021173LGN00	Липецк
5	5.02.2021, 8.24	Landsat-8	LC81770252021036LGN00	Белгород
6	29.01.2021, 8.17	Landsat-8	LC81760242021029LGN00	Воронеж
7	29.01.2021, 8.17	Landsat-8	LC81760232021029LGN00	Липецк
8	20.01.2021, 8.24	Landsat-8	LC81770252021020LGN00	Белгород

Архивные космические снимки местности, используемые для анализа динамических характеристик факторов экологической безопасности городской среды
 [Table 2. Archived satellite images of the terrain used to analyse the dynamic characteristics of environmental security factors urban environment]

№ п/п	Дата съёмки / Date of shooting, time	Спутник / Satellite	Шифр снимка / Image cipher	Видимые города / Visible cities
1	10.08.2001	Landsat-7	LE71760242001222KIS00	Воронеж
2	06.09.1999	Landsat-7	LE71760231999249EDC00	Липецк
3	16.08.2001	Landsat-7	LE71770252001197EDC00	Белгород

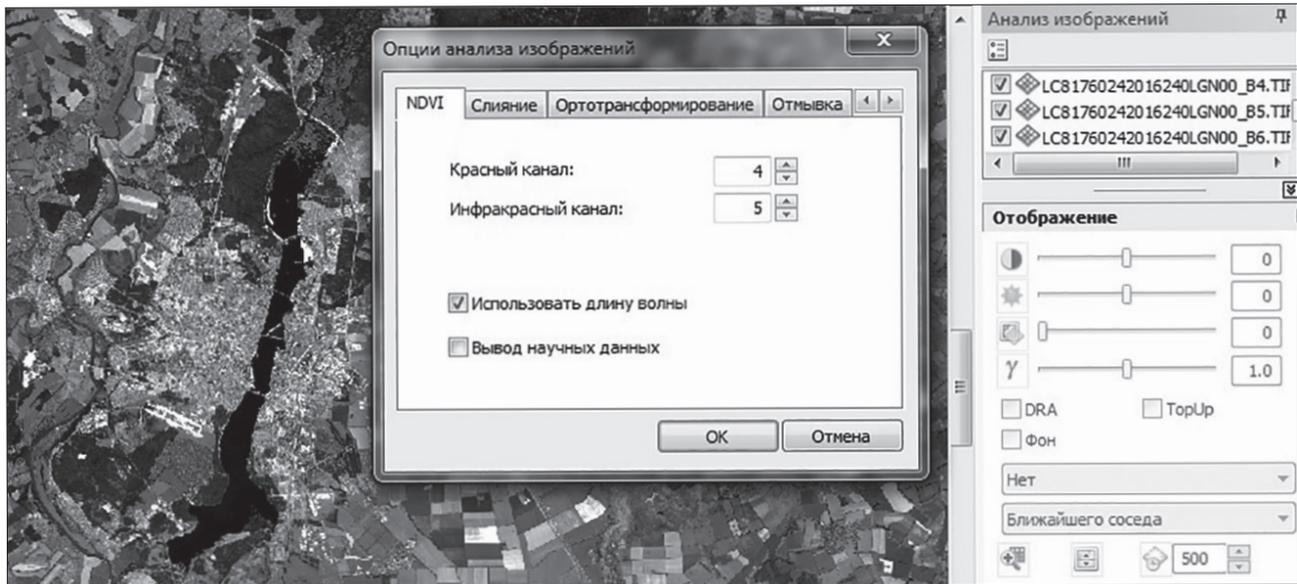


Рис. 1. Расчёт индекса NDVI на территории г. Воронежа и пригородной зоны по космическому снимку
 [Fig. 1. Calculation of NDVI index on the area of Voronezh and suburban area using satellite image]

Мультиспектральные космические снимки, собранные в архиве, дают возможность пространственного тематического дешифрирования урбанизированной территории с использованием разных вариантов цветового синтеза.

При дешифрировании объектов экологического риска, оказывающих наибольшую антропогенную нагрузку на урбанизированные территории, были выделены промышленные предприятия и прочие техногенные объекты [8]. Дешифровочные признаки у них весьма разнообразны, но по некоторым косвенным признакам представляется возможным идентифицировать данную группу.

Например, повышенная яркость в видимом диапазоне спектра свидетельствует о нарушенных почвах, на которых, как правило, расположены промышленно-техногенные объекты [8]. NDVI анализ территорий, где располагаются промышленно-техногенные объекты, покажет нулевые или отрицательные значения за счёт снижения яркости в ближнем инфракрасном диапазоне.

Так, если сопоставить территории, где добы-

вается гипс или известняк, то по сравнению с территориями, где добывается глина, яркость в видимой зоне спектра будет выше [8].

Другим хорошим дешифровочным признаком на снимках среднего разрешения (к которым относятся снимки, обобщённые в архиве) являются крупные производственные здания, коммунально-складские объекты, транспортная инфраструктура. Данные объекты занимают, как правило, большие площади, а искусственные материалы, из которых они построены, выявляются по высокой яркости в видимых каналах спектра и в среднем инфракрасном диапазоне. При этом в ближней инфракрасной зоне спектра их яркость будет низкой [8].

При детальном анализе космических снимков внутри промышленных зон представляется возможным по ряду признаков определить тип производства [8].

Так, большое количество внутренних железнодорожных путей и крупных по площади производственных корпусов с высокой долей вероят-

ности свидетельствует о расположении на данной территории машиностроительных производств. Разветвлённая сеть трубопроводов и ректификационные колонны являются дешифровочными признаками предприятий нефтедобычи и нефтехимии [8].

Дешифрирование и пространственная оценка зон природного каркаса городских сред Воронежа, Липецка, Белгорода, а также пригородных зон проводилась методом NDVI анализа, основанного на сопоставлении контраста двух характеристик – поглощения пигментом хлорофилла в красном канале и высокой отражательной способности растительного сырья в инфракрасном канале [1].

NDVI (NormalizedDifferenceVegetationIndex) – представляет собой нормализованный относительный индекс растительности (фотосинтетически активной биомассы), при этом помимо растительности данный индекс позволяет идентифицировать ряд других характеристик территории.

NDVI вычисляется по следующей формуле:

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

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

Комбинации каналов камер спутников, используемые для расчета NDVI, представлены в таблице 3.

Таблица 3

Комбинации каналов камер спутников, используемые для расчета NDVI
[Table 3. Satellite camera channel combinations used to calculate NDVI]

Спутник / Satellite	Красный канал / Red Channel	Инфракрасный канал / Infrared channel
ETM+ Landsat7	3 (0,63-0,69 мкм)	4 (0,75-0,90 мкм)
OLI/TIRS Landsat8	4 (0,64-0,67 мкм)	5 (0,85-0,88 мкм)

Значения индекса NDVI представляют собой шкалу от -1 до 1. По значениям индекса NDVI проведена идентификация объектов городских территорий Воронежа, Липецка, Белгорода, а также пригородных десятикилометровых зон. На основе проведённой идентификации, исследуемые территории классифицированы по уровням антропогенной нагрузки (табл.4).

Пространственная оценка экологической безопасности урбанизированных территорий Воронежа, Липецка, Белгорода проведена на основе геоинформационных технологий. Для комплексной оценки параметров экологической безопасности в структуру ГИС «Экологическая безопасность городов Центрально-Черноземного региона России» наряду с данными дистанционного зондирования Земли включены результаты полученных эколого-геохимических исследований и статистические данные природоохранных служб. Структура созданной ГИС показана на рисунке 2.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты, полученные в ходе анализа данных дистанционного зондирования Земли, свидетельствуют о том, что на территории всех изученных городов Центрально-Черноземного региона России, а также пригородных десятикилометровых зон за двадцатилетний период наблюдается рост территорий с сильной антропогенной нагрузкой на 3-9 % (табл. 5). В наибольшей степени

такой рост наблюдается на территории городского округа города Воронежа (см. табл.5).

Увеличение территорий с сильной антропогенной нагрузкой происходит преимущественно за счёт возрастания нагрузки на те территории, которые в прошлом относились к зонам со слабой антропогенной нагрузкой.

На территории городов Воронежа, Липецка, Белгорода и пригородных зонах установлена тенденция увеличения площадей зелёных насаждений на 1-5 %, относящихся к зонам природного каркаса. Наиболее устойчивая тенденция увеличения зон природного каркаса (на 5 %) фиксируется на территории города Белгорода и пригородных территориях (см. табл.5).

Динамика изменения площадей водных объектов на территории городов Воронежа, Липецка и Белгорода за двадцатилетний период фиксируется приблизительно на одном уровне (см. табл.5).

Интегральный показатель антропогенной нагрузки на городскую среду включает в себя множество факторов, при этом особое внимание следует уделять природному каркасу, правильное расположение которого позволяет существенно минимизировать негативное воздействие на качество окружающей среды промышленно-транспортного комплекса, улучшить микроклиматические условия, повышая тем самым комфортность для проживания населения [1].

Классификация городских территорий и пригородных зон по индексу NDVI
 [Table 4. Classification of urban and suburban areas by NDVI index]

Типы объектов / Types of objects	Отражение в красной обла- сти спектра / Reflection in the red region of the spectrum	Отражение в ин- фракрасной обла- сти спектра / Reflection in the in- frared region of the spectrum	Значение NDVI / NDVI value	Классификация по уровню антропоген- ной нагрузки / Clas- sification according to the level of anthropo- genic load
Густая растительность – леса, парки, скверы и т.д.	0,1	0,5	0,7	Природный каркас
Разряженная раститель- ность – сельскохозяйствен- ные угодья, малоэтажная застройка	0,1	0,3	0,5	Средняя антропоген- ная нагрузка
Открытая почва – забро- шенные территории, сель- скохозяйственные угодья, малоэтажная застройка	0,25	0,3	0,025	Средняя антропоген- ная нагрузка
Облака	0,25	0,25	0	-
Снег и лед	0,375	0,35	-0,05	-
Вода	0,02	0,01	-0,25	Гидрологические объекты
Искусственные материалы (бетон, асфальт) – промыш- ленная застройка, многоэ- тажная жилая застройка	0,3	0,1	-0,5	Сильная антропоген- ная нагрузка

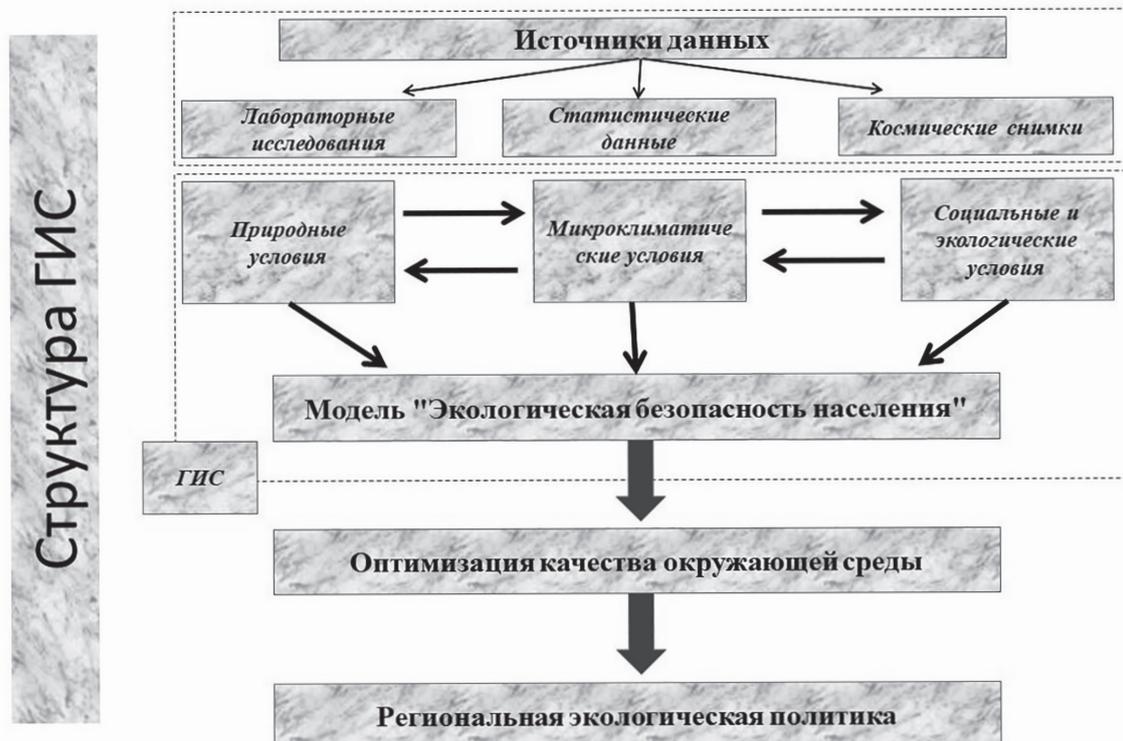


Рис. 2. Структура ГИС «Экологическая безопасность городов Центрально-Черноземного региона России»
 [Fig. 2. The structure of the GIS "Environmental Safety of the cities of the Central Black Soil Region of Russia"]

Пространственное зонирование территорий городов Центральной России и пригородных десятикилометровых зон (% площади территории)

[Table 5. Spatial zoning of the areas of Central Russian cities and suburban ten-kilometre zones (% of area)]

Вид участка / Type of plot	Города / Cities					
	Воронеж / Voronezh		Липецк / Lipetsk		Белгород / Belgorod	
	2001	2021	1999	2021	2001	2021
С сильной антропогенной нагрузкой	31,68	40,09	38,14	42,17	29,72	37,15
Со слабой антропогенной нагрузкой	54,87	43,42	43,64	38,86	45,66	32,71
Природный каркас	9,37	12,68	16,40	17,21	22,14	27,81
Водные объекты	4,09	3,82	1,82	1,76	2,48	2,33

Природный каркас территории является фактором, существенно повышающим экологическую безопасность [2, 3, 9], что достигается путём оптимизации микроклиматических условий, снижающих распространение антропогенных загрязнителей в городской среде и уменьшения их негативного воздействия.

Данные дистанционного зондирования Земли показали различные ситуации в исследуемых городах Центральной России.

На территории городского округа города Воронежа наблюдаются наименьшие площади (9,37% в 2001 году и 12,68% в 2021 году), а также неудачное расположение (с подветренной стороны) территорий природного каркаса. Данный факт обусловлен экономическими причинами. Высокая стоимость земли внутри города стимулирует местных предпринимателей выносить производства в пригородную зону, что, с одной стороны, уменьшает антропогенные выбросы в городской среде, а, с другой стороны, сокращает площади лесов, относящихся к зоне природного каркаса. В качестве положительного аспекта следует отметить рост площади природного каркаса за двадцатилетний период, что является следствием реализации ряда природоохранных программ.

Наибольшая площадь территории, занятая природным каркасом, наблюдается в пределах городского округа города Белгорода (22,14% в 2001 году и 27,81% в 2021 году), что можно объяснить грамотной экологической политикой региональных и муниципальных властей на данной территории.

На территории города Липецка следует отметить рост территории природного каркаса за двадцатилетний период и его удачное расположение.

На территории всех исследуемых городов Центральной России наблюдается тенденция устойчивого роста территорий с высокой антропогенной нагрузкой. Данный факт является неиз-

бежной тенденцией промышленных городов развитых стран мира.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование факторов экологической безопасности по материалам дистанционного мониторинга городов Воронежа, Липецка и Белгорода позволило пространственно оценить уровень антропогенной нагрузки, оказываемой на исследуемые территории путём выделения 4 зон – с сильной антропогенной нагрузкой; со средней антропогенной нагрузкой; природный каркас; гидрологические объекты.

Пространственное зонирование по материалам тематического дешифрирования космических снимков территории исследуемых городов и пригородной зоны показало, что большую часть занимают участки со средней антропогенной нагрузкой, к которой отнесена малоэтажная застройка, агроландшафты. Большая часть этой зоны приходится на расположенные вблизи города сельскохозяйственные поля. Данный факт свидетельствует о существенном вкладе сельскохозяйственной деятельности в экономический потенциал исследуемых территорий. Удельный вес природного каркаса составляет от 8 до 12% исследуемой территории, что не является достаточным для обеспечения экологической безопасности.

Оценка динамических характеристик антропогенной нагрузки на всех изученных территориях показывает увеличение зон с сильной антропогенной нагрузкой за счёт сокращения территорий со средней антропогенной нагрузкой, что объясняется социально-экономическим трендом развития данных территорий. В качестве положительного аспекта следует выделить увеличение зоны природного каркаса на территории городского округа города Воронежа за двадцатилетний период, что является причиной успешной реализации региональными властями ряда природоохранных программ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Архипова О. Е., Епринцев С. А. Оценка динамики природного каркаса урбанизированных территорий Воронежской области по материалам дистанционного зондирования Земли // *Информация и космос*, 2017, № 3, с. 119-125.
2. Гусев А. П. Изменения NDVI как индикатор динамики экологического состояния ландшафтов (на примере восточной части Полесской провинции) // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2020, № 1, с. 101-107.
3. Гусев А. П., Шпилевская Н. С., Филончик Н. Н. Нормализованный дифференцированный вегетационный индекс охраняемых ландшафтов юга Беларуси // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2021, № 2, с. 13-19.
4. Днепровская В. П., Яценко И. Г., Перемитина Т. О. Комплексное исследование техногенной нагрузки с использованием спутниковых и наземных данных // *Булатовские чтения*, 2017, т. 4, с. 134-142.
5. Новикова О. Г. Возможности данных дистанционного зондирования Земли в сфере мониторинга экологических и гидрологических процессов // *Мелиорация и водное хозяйство*, 2015, № 6, с. 50-53.
6. Раклов В. П. Методы использования ГИС-технологий при контроле состояния полигонов твердых бытовых отходов // *Велес*, 2017, № 2-1 (44), с. 65-71.
7. Серебрякова Е. Д., Трухина Н. И., Покидышева Ю. В. Перспективы использования методов ДДЗ в природопользовании // *Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика*, 2015, т. 3, № 4-2 (15-2), с. 119-124.
8. *Тематическое дешифрирование и интерпретация космических снимков среднего и высокого пространственного разрешения* / А. Н. Шихов, А. П. Герасимов, А. И. Пономарчук, Е. С. Перминова. Пермский государственный национальный исследовательский университет. Электронные данные, 2020. 191 с.
9. Фетисов Ю. М., Крупко А. Э. Математическое моделирование хозяйства Центрально-Черноземного региона // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2021, № 4, с. 50-59.
10. Technologies for creating geographic information resources for monitoring the socio-ecological conditions of cities / S. A. Yeprintsev, S. V. Shekoyan, L. A. Lepeshkina et. al. // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Electronic edition*, 2019, pp. 012012.

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

Поступила в редакцию 01.06.2022

Принята к публикации 30.11.2022

UDC 502/504

ISSN 1609-0683

DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2022/4/102-110>

A Study on the Environmental Safety of the Urban Environment from Remote Monitoring Data

S. A. Yeprintsev¹✉, O. V. Klepikov²

¹Voronezh State University, Russian Federation
(1, Universitetskaya sq., Voronezh, 394018)

²Voronezh State University of Engineering Technologies, Russian Federation
(19, Revolution ave., Voronezh, 394036)

Abstract: The purpose of this study is to investigate the environmental safety factors of the urban environment using remote sensing data on the example of the cities of Voronezh, Lipetsk and Belgorod.

Materials and methods. On the example of the cities of Central Russia – Voronezh, Lipetsk and Belgorod, the authors carried out the spatial study of environmental safety factors of the urban environment on the materials of remote sensing. The data sources were multi-channel satellite images from Landsat-8 and Sentinel-2 over the period from 2015 to 2021. Landsat-7 satellite images of the study areas from 1999 to 2001 were used to investigate the dynamic characteristics over a twenty-year period. On the basis of deciphering features the objects of ecological risk are identified. The anthropogenic load on inhabited landscapes and the spatial char-

© Yeprintsev S. A., Klepikov O. V., 2022

✉ Sergey A. Yeprintsev, e-mail: esa81@mail.ru



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

acteristics of the natural framework of urban areas and suburban areas of Voronezh, Lipetsk and Belgorod are studied.

Results and discussion. To assess the level of anthropogenic load on the study areas, 4 zones were identified – with strong anthropogenic load; with medium anthropogenic load; natural framework; hydrological objects. The largest area is occupied by urban areas as well as buffer ten-kilometre zones with medium anthropogenic load, to which low-rise buildings and agrolandscapes are attributed. The majority of this area is located in agricultural fields close to the city. The proportion of the natural framework is between 8 and 12% of the study area, which is not sufficient to ensure environmental safety.

Conclusions. The assessment of the dynamic characteristics of anthropogenic load on all studied territories shows an increase in areas with a strong anthropogenic load at the expense of a decrease in areas with an average anthropogenic load, which is explained by the socio-economic development trend of these areas. As a positive aspect, it should be noted an increase in the area of the natural framework in the territory of the urban district of Voronezh over a twenty-year period.

Key words: environmental safety, urban environment, remote sensing, natural framework, anthropogenic load.

Funding: The study was supported financially by the Russian Science Foundation, Project No. 20-17-00172.

For citation: Yeprintsev S.A., Klepikov O.V. A Study on the Environmental Safety of the Urban Environment from Remote Monitoring Data. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geoekologia*, 2022, no. 4, pp. 102-110. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2022/4/102-110>

REFERENCES

1. Arkhipova O.E., Eprintsev S.A. Otsenka dinamiki prirodnoho karkasa urbanizirovannykh territoriy Voronezhskoy oblasti po materialam distantsionnogo zondirovaniya Zemli [Assessment of the dynamics of the natural framework of urbanized territories of the Voronezh region based on the materials of remote sensing of the Earth]. *Informatsiya i kosmos*, 2017, no. 3, pp. 119-125. (In Russ.)
2. Gusev A.P. Izmeneniya NDVI kak indikator dinamiki ekologicheskogo sostoyaniya landshaftov (na primere vostochnoy chasti Poleskoy provintsii) [NDVI changes as an indicator of the dynamics of the ecological state of landscapes (on the example of the eastern part of the Polesky province)]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geoekologia*, 2020, no. 1, pp. 101-107. (In Russ.)
3. Gusev A.P., Shpilevskaya N.S., Filonchik N.N. Normalizovanny differentsirovanny vegetatsionny indeks okhranyaemykh landshaftov yuga Belarusi [Normalized differentiated vegetation index of protected landscapes of the South of Belarus]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geoekologia*, 2021, no. 2, pp. 13-19. (In Russ.)
4. Dneprovskaya V.P., Yashchenko I.G., Peremittina T.O. Kompleksnoe issledovanie tekhnogennoy nagruzki s ispol'zovaniem sputnikovyykh i nazemnykh dannykh [Comprehensive study of technogenic load using satellite and ground data]. *Bulatovskie chteniya*, 2017, vol. 4, pp. 134-142. (In Russ.)
5. Novikova O.G. Vozmozhnosti dannykh distantsionnogo zondirovaniya Zemli v sfere monitoringa ekologicheskikh i gidrologicheskikh protsessov [The possibilities of Earth remote sensing data in the field of monitoring ecological and hydrological processes]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo*, 2015, no. 6, pp. 50-53. (In Russ.)
6. Raklov V.P. Metody ispol'zovaniya GIS-tekhnologiy pri kontrole sostoyaniya poligonov tverdykh bytovykh otkhodov [Methods of using GIS technologies for monitoring the condition of solid waste landfills]. *Veles*, 2017, no. 2-1 (44), pp. 65-71. (In Russ.)
7. Serebryakova E.D., Trukhina N.I., Pokidysheva Yu.V. Perspektivy ispol'zovaniya metodov DDZ v prirodopol'zovanii [Prospects for the use of DDZ methods in nature management]. *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika*, 2015, vol. 3, no. 4-2 (15-2), pp. 119-124. (In Russ.)
8. *Tematicheskoe deshifrirovaniye i interpretatsiya kosmicheskikh snimkov srednego i vysokogo prostranstvennogo razresheniya* [Thematic decoding and interpretation of satellite images of medium and high spatial resolution] / A.N. Shikhov, A.P. Gerasimov, A.I. Ponomarchuk, E.S. Perminova. Permskiy gosudarstvennyy natsional'nyy issledovatel'skiy universitet. *Elektronnyye dannye*, 2020. 191 p. (In Russ.)
9. Fetisov Yu.M., Krupko A.E. Matematicheskoe modelirovaniye khozyaystva Tsentral'no-Chernozemnogo regiona [Mathematical modeling of the economy of the Central Chernozem region]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geoekologia*, 2021, no. 4, pp. 50-59. (In Russ.)
10. Technologies for creating geographic information resources for monitoring the socio-ecological conditions of cities / S.A. Yeprintsev, S.V. Shekoyan, L.A. Lepeshkina et. al. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Electronic edition*, 2019, pp. 012012.

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

Received: 01.06.2022

Accepted: 30.11.2022

Епринцев Сергей Александрович
кандидат географических наук, доцент кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского государственного университета, г. Воронеж, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-5266-9238, e-mail: esa81@mail.ru

Клепиков Олег Владимирович
доктор биологических наук, профессор кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды Воронежского государственного университета, г. Воронеж, Российская Федерация; профессор кафедры промышленной экологии, оборудования химических и нефтехимических производств Воронежского государственного университета инженерных технологий, г. Воронеж, Российская Федерация, ORCID: 0000-0001-9228-620X, e-mail: klepa1967@rambler.ru

Sergey A. Yeprintsev
Cand. Sci. (Geogr.), Associate Professor at the Department of Geoecology and Environmental Monitoring, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-5266-9238, e-mail: esa81@mail.ru

Oleg V. Klepikov
Dr. (Biol.) Sci., Professor at the Department of Geoecology and Environmental Monitoring, Voronezh State University, Voronezh; Professor at the Department of Industrial Ecology, Equipment of Chemical and Petrochemical Industries, Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russian Federation, ORCID: 0000-0001-9228-620X, e-mail: klepa1967@rambler.ru