

## ГЕОИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ГОРОДОВ ЦЕНТРАЛЬНОГО ЧЕРНОЗЕМЬЯ

*С.А. Епринцев, С.А. Куролан, О.В. Клепиков, С.В. Шекоян, П.М. Виноградов*

Воронежский государственный университет, г. Воронеж

esa81@mail.ru; skurolap@mail.ru; klepa1967@rambler.ru; shekoyan.syuzanna@mail.ru; vinpaul89@gmail.com

**Аннотация.** Охрана окружающей среды является одним из приоритетных направлений развития современных городов, которые сталкиваются с множеством экологических проблем, связанных с загрязнением воздуха, водных ресурсов, почв и нарушением экологического баланса. Данная проблема актуальна для городов Центрального Черноземья (Воронежа, Липецка, Белгорода), расположенных в зоне повышенной антропогенной нагрузки. Угроза загрязнения окружающей среды, а также ухудшение экологической обстановки в целом требуют системного подхода к решению проблемы. Повышение качества условий жизни в современных урбанизированных территориях является одной из главных задач для обеспечения устойчивого развития городов.

В ходе проведенных исследований проанализированы социально-экологические условия в городах Центрального Черноземья. В качестве основы для исследования были использованы авторские эколого-геохимические исследования, данные дистанционного зондирования Земли, а также статистическая информация из Федерального информационного фонда социально-гигиенического мониторинга, который ведет ФБУЗ «Федеральный центр гигиены и эпидемиологии» Роспотребнадзора. Основной целью проведенных исследований является разработка геоинформационно-аналитической модели повышения качества среды обитания городов Центрального Черноземья. Полученные результаты позволили разработать специальную систему оптимизации социально-экологических условий, включающую в себя социально-экологический мониторинг на базе геоинформационных технологий.

**Ключевые слова:** среда обитания, урбанистические системы, экологический риск, техногенные загрязнители, ГИС-технологии.

Улучшение социально-экологического состояния урбанизированных территорий является основной проблемой, требующей комплексного подхода для обеспечения устойчивого развития городов и качества жизни населения [1; 2].

Для оптимизации социально-экологических условий урбанизированных территорий необходимо учитывать ряд аспектов [3; 4]. Прежде всего это развитие экологически чистых технологий и инфраструктуры, которые позволят снизить вредные выбросы и улучшить качество окружающей среды.

Для улучшения микроклимата и снижения уровня стресса населения важно также проведение мероприятий по озеленению городов, создание общественных парков и зон отдыха [5; 6].

Исследование параметров экологической безопасности становится более эффективным при быстрой обработке и анализе данных. Для применения комплексного подхода необходимо иметь большой объем информации об окружающей среде.

Доступность и систематизация данных также играют важную роль. На этапе анализа собранных данных необходимо компьютерное оборудование и программное обеспечение, подходящее для решения поставленных задач. Для этих целей нами использовался программный пакет ArcGIS [7].

В качестве фактического материала были использованы авторские эколого-геохимические исследования, данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), а также статистическая информация Федерального информационного фонда социально-гигиенического мониторинга, проводимого ФБУЗ «Федеральный центр гигиены и эпидемиологии» Роспотребнадзора.

Разработанная нами ГИС «Экологическая безопасность городов ЦЧР» представляет собой систему иерархически взаимосвязанных разделов баз данных и инструментов тематического картографирования, которые иллюстрируют природно-ресурсный потенциал, а также социально-экономические и эколого-гигиенические условия на

примере анализируемых городов Центрального Черноземья.

Однако существуют ситуации, когда трудно принять решение, основываясь исключительно на карте. В таких случаях для анализа уровня антропогенной нагрузки на урбанизированные территории применялся анализ NDVI. (нормализованный разностный вегетационный индекс) NDVI представляет собой количественный показатель фотосинтетически активной биомассы, часто называемый вегетационным индексом. Это один из наиболее распространенных индексов для решения задач, связанных с количественной оценкой растительного покрова.

В качестве источника данных ДЗЗ выступил портал GeoMixer компании ИТЦ «СКАНЭКС». Полученные данные были использованы для анализа социальных, экономических и экологических условий в городах Воронеже, Липецке и Белгороде.

В целях оценки динамики техногенной нагрузки на территорию этих городов за последние два десятилетия база данных была расширена архивными многоканальными космическими снимками, полученными со спутника Landsat-7 в период с 1999 по 2002 г.

Обработка и тематическое дешифрирование космических снимков осуществлялись с помощью программного пакета Scanex Image Processor, который позволяет проводить тематическую классификацию изображений с использованием различных алгоритмов.

Для решения ряда задач была применена простая визуализация космических снимков, на основе которой созданная карта позволяет увидеть всю необходимую информацию для принятия обоснованных решений.

С использованием значений индекса NDVI была проведена идентификация объектов городских территорий Воронежа, Липецка и Белгорода, а также их пригородных зон. По результатам идентификации территории были классифицированы по уровням антропогенной нагрузки.

Анализ данных в ГИС позволил создать уникальные карты, отображающие текущую социально-экологическую ситуацию в указанных городах. На этих картах отмечены опасные для окружающей среды объекты и области деградации и нарушения ландшафтов. Карта антропогенной нагрузки, основанная на космическом снимке 2023 г., показывает значительный рост зоны сильной

антропогенной нагрузки по сравнению с данными за 2001 г. На основе этих карт был разработан комплекс мероприятий для повышения экологической безопасности населения на урбанизированных территориях.

Полученные данные позволили разработать специальную систему оптимизации социально-экологических условий. Основу этой системы составляет социально-экологический мониторинг, который включает сбор статистических данных природоохранных органов, данные межведомственного сотрудничества, авторские эколого-геохимические исследования, а также информацию, полученную с помощью ДЗЗ.

Из полученных данных следует, что за последние двадцать лет на территории всех изученных городов Центрального Черноземья наблюдается увеличение территорий с высокой антропогенной нагрузкой на 3–9 %. Наибольший прирост таких территорий отмечается в городском округе Воронежа. Увеличение площадей зеленых насаждений, принадлежащих к зонам природного каркаса, составляет 1–5 % на территории Воронежа, Липецка и Белгорода. Наиболее устойчивый рост зон природного каркаса (5 %) наблюдается в Белгороде и его пригородных районах. Площади водных объектов в этих городах остаются примерно на одном уровне.

Данные дистанционного зондирования показывают, что наименьшие площади природного каркаса находятся на территории Воронежа, и их расположение неудачное из-за экономических факторов. Высокая стоимость земли внутри города стимулирует перенос производств за его пределы, что, с одной стороны, снижает выбросы в атмосферу, с другой – уменьшает площадь лесов в зоне природного каркаса.

Рост площади природного каркаса за двадцатилетний период является одним из положительных аспектов, обусловленных реализацией природоохранных программ. Наибольшая площадь природного каркаса замечена в городском округе г. Белгорода, что свидетельствует об успешной экологической политике местных властей. Также в городе Липецке отмечается увеличение площади природного каркаса и его удачное расположение.

Исследования показали, что в городах Центрально-Черноземного региона России наблюдается превышение индивидуального канцерогенного риска из-за антропогенных поллютантов.

Связь между качеством окружающей среды и онкологическими заболеваниями населения очевидна и вызывает беспокойство. В частности, исследования атмосферы городского округа Воронежа выявили наличие опасных веществ, таких как формальдегид, свинец, сажа, соединения хрома, бутадиен, стирол, бензол и бенз(а)пирен.

На основе данных из ГИС «Экологическая безопасность городов Центрального Черноземья» был рассчитан индивидуальный канцерогенный риск для взрослого и детского населения города Воронежа. Превышение допустимых значений ( $1 \times 10^{-4}$ ) было зафиксировано для 1,3-бутадиена, который исходит от предприятий по производству синтетического каучука, а также для соединений хрома, основным источником которых может быть авиационный завод.

Анализ содержания антропогенных загрязнителей в атмосфере города Липецка позволил определить индивидуальный канцерогенный риск для взрослого и детского населения при воздействии формальдегида, свинца, сажи, бензола и бенз(а)пирена. При этом соединения хрома, бутадиена и стирола не были обнаружены на уровне чувствительности методов лабораторного контроля. Превышение уровней канцерогенного риска наблюдается только при воздействии формальдегида, который связан с металлургическим производством и выбросами автотранспорта.

Геоинформационная оценка индивидуального канцерогенного риска в атмосфере города Белгорода выявила, что детское население имеет уровень риска  $5,31 \times 10^{-5}$  при воздействии формальдегида, а взрослое население  $5,69 \times 10^{-5}$ . При воздействии бенз(а)пирена уровень риска составляет  $2,85 \times 10^{-7}$  для детского населения и  $3,05 \times 10^{-7}$  для взрослого.

Анализ полученных данных показал необходимость создания специальной системы оптимизации социально-экологических условий на основе социально-экологического мониторинга. Этот мониторинг должен представлять собой многофункциональную подсистему, интегрированную в единую государственную систему экологического мониторинга [8; 9].

Воздействие загрязняющих веществ на окружающую среду и здоровье населения – серьезная проблема, требующая комплексного подхода [10; 11].

Результаты данного исследования могут быть использованы для разработки эффективных мер

по снижению выбросов и улучшению экологической ситуации в городах Воронеже, Липецке и Белгороде.

Социальный и экологический мониторинг, основанный на географических информационных технологиях, включает в себя следующие элементы.

1. Сбор и анализ данных о состоянии среды обитания, позволяющий выявить основные источники техногенного воздействия [12].

2. Прогнозирование и оценка экономической целесообразности социально-экологической политики региона (или исследуемого города) с учетом различных ее проявлений, в том числе осуществление экологических мероприятий, обеспечивающих реализацию управленческих решений.

3. Оценка социально-экономических показателей.

4. Разработка и внедрение ГИС-технологий, позволяющих визуализировать полученные данные, проводить пространственный анализ и моделирование.

В городах Воронеже, Липецке и Белгороде основным источником загрязнения окружающей среды является автомобильный транспорт. Низкая скорость движения в часы пик (около 10 км/ч, по данным Яндексa) является ключевым фактором, усугубляющим ситуацию. Если экологически оптимальная скорость составляет 90 км/ч, в населенных пунктах она ограничена до 60 км/ч в целях безопасности движения.

Чтобы увеличить скорость передвижения внутри городов (Воронеж, Липецк и Белгород) и снизить уровень загрязнения, необходимо реализовать следующие меры [11; 12].

1. Оптимизация дорожной сети, включающая строительство и реконструкцию дорог, развязок, внедрение систем одностороннего движения и интеллектуального управления дорожным движением. Эти меры позволят увеличить пропускную способность дорог и уменьшить пробки.

2. Развитие общественного транспорта за счет создания отдельных полос для него, что позволит сократить использование личных автомобилей.

3. Использование экологически чистых видов автотранспорта, например электромобилей, велосипедов, и создание пешеходных зон, что помогает сократить выбросы выхлопных газов от автотранспорта.

Реализация комплекса этих мер позволит увеличить частоту движения автотранспорта

до экологически оптимальных значений, что в свою очередь приведет к снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу городов Центрально-Черноземного региона.

В целях снижения негативного антропогенного воздействия на окружающую среду предлагаются реализовать следующие меры:

– внедрение энерго- и ресурсосберегающих технологий производства (модернизация оборудования позволит снизить нагрузку на окружающую среду);

– установка на предприятиях современных очистных устройств и фильтрационного оборудования, что позволит существенно снизить количество вредных для атмосферного воздуха техногенных отходов;

– ввод в эксплуатацию возобновляемых источников энергии промышленных предприятий;

– разработка и внедрение систем утилизации и переработки промышленных отходов, которые позволят минимизировать объемы отходов, направляемых на утилизацию или захоронение;

– экологический мониторинг и организация оперативного контроля за состоянием атмосферного воздуха в промышленных зонах. Мониторинг обеспечит своевременное выявление и ликвидацию источников загрязнения [12].

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

#### Список литературы

1. *Архитова О.Е.* Оценка антропогенного воздействия на окружающую среду на основе растрового анализа // *Фундаментальные исследования, инновационные технологии и передовые разработки в интересах долгосрочного развития Юга России. Материалы Международного научного форума, посвященного 20-летию ЮНЦ РАН. Ростов н/Д., 2023. С. 83–88.*

2. *Бердников С.В.* Новые подходы и методы изучения опасных природных явлений на юге России: береговые процессы // *Опасные природные явления и социальные процессы в Причерноморье, Приазовье и Прикаспии на протяжении XX–XXI вв. Материалы круглого стола (г. Ростов-на-Дону, 24 апреля 2019 г.). Ростов н/Д.: Изд-во ЮНЦ РАН, 2019. С. 18–27.*

3. *Алемасова А.С., Сафонов А.И.* Тяжелые металлы в фитосубстратах – индикаторы антропогенного загрязнения воздуха в промышленном регионе // *Лесной вестник. 2022. Т. 26. № 6. С. 5–13. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-6-5-13.*

4. *Сафонов А.И., Глухов А.З.* Фитомониторинг антропогенно измененной среды: формализация терминологии и реализация на практике // *Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. 2023. № 3. С. 62–70.*

5. *Сафонов А.И., Гермонова Е.А.* Оценка геосистем Донбасса: фитоиндикация тератогенности и картографический

Комплексная реализация данных мероприятий позволит существенно снизить негативное воздействие промышленности на окружающую среду городов Центрального Черноземья.

Улучшение социально-экологических условий в городах Центрально-Черноземного региона возможно при условии снижения содержания токсичных веществ в атмосфере, которая является основным источником экологического риска. Для достижения этой цели предлагаются следующие решения.

1. Повышение контроля за выбросами токсичных веществ в атмосферу от автотранспорта и промышленных предприятий.

2. Оптимизация движения – модернизация транспортной сети с увеличением пропускной способности, улучшением дорожного покрытия и средней скорости.

3. Реализация мероприятий по благоустройству городских территорий.

4. Разработка и реализация мероприятий по оптимизации «зеленых каркасов» городов для улучшения качества воздуха и снижения уровня загрязнения.

5. Оптимизация эффективности перерабатывающих предприятий.

анализ // *Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. 2023. № 1. С. 98–104.*

6. *Куропан С.А., Рубцова Л.А., Шиш А.В.* Аэротехногенное загрязнение и канцерогенные риски для населения городов Центрального Черноземья // *Экологическая оценка факторов риска загрязнения воздушного бассейна крупных промышленных центров Черноземья. Сборник научных статей. Воронеж, 2023. С. 6–40.*

7. *Епринцев С.А., Клевцова М.А., Калаев В.Н., Шекоян С.В.* Мониторинг состояния биотехносферы урбанизированных территорий (на примере города Воронежа) как фактора экологической безопасности населения // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2017. № 1. С. 126–132.*

8. *Епринцев С.А., Куропан С.А., Завьялова Ю.Н.* Эколого-гигиеническая оценка городской среды с использованием снегомерных наблюдений // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2006. № 1. С. 34–38.*

9. *Шекоян С.В., Епринцев С.А.* Анализ экотоксикологического состояния территории г. Воронеж // *Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2014. Т. 19. № 5. С. 1365–1367.*

## 1. ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ГИС ПРИ РЕШЕНИИ РЕГИОНАЛЬНЫХ ЗАДАЧ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

---

10. Епринцев С.А., Куролап С.А., Дубровин О.И., Дубровина И.В., Минников И.В. Экологическая безопасность населения урбанизированных территорий (на примере населенных пунктов Воронежской области) // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2013. Т. 18. № 5-3. С. 2902–2904.

11. Епринцев С.А., Архипова О.Е. Экологическая комфортность урбанизированной территории Адлерского района го-

рода Сочи в условиях интенсивного антропогенного прессинга // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2012. № 2. С. 100–104.

12. Стёпкин Ю.И., Клепиков О.В., Епринцев С.А., Шекоян С.В. Заболеваемость населения регионов России как критерий социально-гигиенической безопасности территории // Вестник новых медицинских технологий: [электронное издание]. 2020. № 6. С. 94–99. DOI: 10.24411/2075-4094-2020-16773.

**GEOINFORMATION-ANALYTICAL MODEL  
FOR IMPROVING THE ENVIRONMENTAL QUALITY  
OF CITIES IN THE CENTRAL BLACK EARTH REGION**

**S.A. Yeprintsev, S.A. Kurolap, O.V. Klepikov, S.V. Shekoyan, P.M. Vinogradov**

Voronezh State University, Voronezh

esa81@mail.ru; skurolap@mail.ru; klepa1967@rambler.ru; shekoyan.syuzanna@mail.ru; vinpaul89@gmail.com

**Abstract.** Environmental protection is one of the priority areas of development of modern cities that face many environmental problems associated with air pollution, water resources, soils and disruption of the ecological balance. This problem is relevant for the cities of the Central Black Earth Region (Voronezh, Lipetsk, Belgorod), located in the zone of increased anthropogenic load. Threats of environmental pollution, as well as the deterioration of the environmental situation in general, require a systematic approach to solving the problem. Improving the quality of living conditions in modern urbanized areas is one of the main tasks for ensuring sustainable urban development.

In the course of the conducted research, the socio-ecological conditions in the cities of the Central Black Earth Region were analyzed. The author's ecological and geochemical studies, Earth remote sensing data, as well as statistical information from the Federal Information Fund for Social and Hygienic Monitoring, conducted by the Federal Budgetary Institution of Health "Federal Center for Hygiene and Epidemiology" of Rospotrebnadzor, served as factual material. One of the tools that helps improve the quality of the environment is the use of geoinformation technologies. The main objective of the conducted research is to develop a geoinformation-analytical model for improving the quality of the living environment of the cities of the Central Black Earth Region. The results obtained made it possible to create a special system for optimizing socio-ecological conditions, including socio-ecological monitoring based on geoinformation technologies. This monitoring should be integrated into the general state system of environmental monitoring.

**Keywords:** socio-ecological conditions, urbanized areas, environmental risk, anthropogenic pollutants, GIS technologies.

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

**References**

1. Arkhipova O.E. 2023. [Assessment of anthropogenic impact on the environment based on raster analysis]. In: *Fundamental'nyye issledovaniya, innovatsionnyye tekhnologii i peredovyye razrabotki v interesakh dolgosrochnogo razvitiya Yuga Rossii. Materialy Mezhdunarodnogo nauchnogo foruma, posvyashchennogo 20-letiyu YUNTS RAN. [Fundamental research, innovative technologies and advanced developments in the interests of long-term development of the South of Russia. Materials of the International Scientific Forum dedicated to the 20<sup>th</sup> anniversary of the SSC RAS]*. Rostov-on-Don, SSC RAS Publishers: 83–88. (In Russian).
2. Berdnikov S.V. 2019. [New approaches and methods for studying natural hazards in southern Russia: coastal processes]. In: *Opasnyye prirodnyye yavleniya i sotsial'nyye protsessy v Prichernomor'ye, Priazov'ye i Prikaspii na protyazhenii XX–XXI vv. Materialy kruglogo stola. [Natural hazards and social processes in the Black Sea region, the Azov Sea and the Caspian Sea during the XX–XXI centuries. Materials of the round table (Rostov-on-Don, April 24, 2019)]*. (Rostov-on-Don, April 24, 2019). Rostov-on-Don, SSC RAS Publishers: 18–27. (In Russian).
3. Alemasova A.S., Safonov A.I. 2022. [Heavy metals in phytosubstrates as indicators of anthropogenic air pollution in industrial region]. *Lesnoy vestnik. [Forestry Bulletin]*. 26(5): 5–13. (In Russian). DOI: 10.18698/2542-1468-2022-6-5-13. (In Russian).
4. Safonov A.I., Glukhov A.Z. 2023. [Phytomonitoring of an anthropogenically altered environment: formalization of terminology and implementation in practice]. *Vestnik Donetskogo natsional'nogo universiteta. Seriya A: Yestestvennyye nauki*. 3: 62–70. (In Russian).
5. Safonov A.I., Germonova E.A. 2023. [Assessment of Donbass geosystems: phytoindication of teratogenicity and cartographic analysis]. *Vestnik Donetskogo natsional'nogo universiteta. Seriya A: Yestestvennyye nauki*. 1: 98–104. (In Russian).
6. Kurolap S.A., Rubtsova L.A., Shish A.V. 2023. [Aero-technogenic pollution and carcinogenic risks for the population of the cities of the Central Black Earth Region]. In: *Ekologicheskaya otsenka faktorov riska zagryazneniya vozdušnogo basseyna krupnykh promyshlennykh tsentrov Chernozem'ya. Sbornik nauchnykh statey*. Voronezh: 6–40. (In Russian).
7. Yeprintsev S.A., Klevtsova M.A., Kalaev V.N., Shekoyan S.V. 2017. [Monitoring the state of the biotechnosphere of urbanized territories (on the example of the city of Voronezh) as a factor

of environmental safety of the population]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya*. 1: 126–132. (In Russian).

8. Yeprintsev S.A., Kurolap S.A., Zavyalova Yu.N. 2006. [Ecological and hygienic assessment of the urban environment using snow measurement observations]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya*. 1: 34–38. (In Russian).

9. Shekoyan S.V., Yeprintsev S.A. 2014. [Analysis of ecotoxicological state of Voronezh territory]. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya: Yestestvennyye i tekhnicheskiye nauki*. 19(5): 1365–1367. (In Russian).

10. Yeprintsev S.A., Kurolap S.A., Dubrovin O.I., Dubrovina I.V., Minnikov I.V. 2013. [Ecological security of population

of urban territories (on example of populated settlements of Voronezh region)]. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya: Yestestvennyye i tekhnicheskiye nauki*. 18(5-3): 2902–2904. (In Russian).

11. Yeprintsev S.A., Arkhipova O.E. 2012. [Environmental comfort of the urban area of Adler district of Sochi in intensive anthropogenic pressure]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya*. 2: 100–104. (In Russian).

12. Stepkin Y.I., Klepikov O.V., Yeprintsev S.A., Shekoyan S.V. 2020. [Morbidity of the population of regions in Russia as a criterion of social and hygienic security of the territory]. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. (Elektronnoye izdaniye)*. 6: 94–99. (In Russian). DOI: 10.24411/2075-4094-2020-16773.