

УДК 574.636:502(07)(470.54)

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ПО ОПАСНЫМ МАРКЕРАМ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ЛИПЕЦКА)

Кульнев В. В.¹, Базарский О. В.², Кочетова Ж. Ю.³, Межова Л. А.⁴

¹Центрально-Черноземное межрегиональное управление Федеральной службы по надзору в сфере природопользования, Воронеж, Российская Федерация

^{2,3}Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Воронеж, Российская Федерация

⁴Воронежский государственный педагогический университет, Воронеж, Российская Федерация

E-mail: ¹kulneff.vadim@yandex.ru

В статье рассмотрены проблемы оценки экологической ситуации на урбанизированных территориях, отличающихся по географическим, климатическим условиям, масштабности и природе выбросов. Существующие модели оценки экологической ситуации в различных промышленных центрах предполагают расчет суммарного загрязнения объектов окружающей среды в отдельных точках отбора проб по опасным загрязнителям, с последующим построением карты загрязнения территории. Но этот подход не может дать оценку уровня загрязнения всей территории в целом. Для того чтобы перейти к единому показателю загрязнения территории всего промышленного центра, предлагается переход к стохастическому описанию распределения поллютантов в почвах. На основе построенных распределений коэффициентов концентраций опасных загрязнителей исследуемых территорий вычисляются математические ожидания каждого опасного загрязняющего вещества, и вводится модифицированный средневзвешенный суммарный показатель загрязнения всей территории в целом. Предложена ранговая шкала уровней загрязнения урбанизированных территорий для модифицированного суммарного показателя загрязнения почв. Модель апробирована в крупном промышленном центре (г. Липецк), где в качестве маркеров загрязнения почв выбраны никель и цинк. Модифицированный суммарный показатель загрязнения почв всего города Липецка соответствует уровню загрязнения — «экологический риск». Показано, эти два подхода — классический и статистический дополняют друг друга, и позволяют давать рекомендации по улучшению экологического состояния почв урбанизированных территорий.

Ключевые слова: загрязнение почв, тяжелые металлы, Липецк, суммарный показатель загрязнения, статистическая оценка, математическое ожидание, модифицированный показатель загрязнения.

ВВЕДЕНИЕ

Урбанизированные территории — динамичные, непрерывно изменяющиеся природно-техногенные системы, особенности функционирования и развития которых трудно поддаются однозначной оценке и прогнозированию [11, 18]. В таких системах в той или иной степени изменены все природные составляющие: почвы, растительность, животный мир, литогенная основа, рельеф, гидрогеологические и гидрологические, климатические условия [10, 19].

Актуальность разработки новых подходов к оценке экологической ситуации урбанизированных систем вызвана ростом экологических проблем и несовершенством существующих подходов к интегральной оценке экологической ситуации территорий, сильно различающихся по климатическим характеристикам, степени и генезису загрязнения [5, 8-10]. В литературе часто подвергаются критике

стандартные суммарные показатели загрязнения объектов окружающей среды. При этом из основных их недостатков отмечают низкую точность и слабую информативность [2, 3, 6, 7].

Общепризнанным фактом является то, что наиболее стабильным и информативным показателем при исследовании динамики состояния экологических систем является загрязнение депонирующих сред, в том числе почв [20, 22]. Загрязнения поверхностного слоя почв, как правило, коррелируют с загрязнением атмосферы и поверхностных вод; почвы десятилетиями аккумулируют загрязняющие вещества, переносимые воздушными и водными потоками. Для описания экологической безопасности проживания населения в крупном промышленном центре важно и то, что от чистоты почв зависит безопасность продуктов питания, выращенных на загрязненной территории [1].

Цель работы — оценка опасности экологической ситуации в крупном промышленном центре с применением модифицированной динамической модели суммарного показателя загрязнения почв с использованием маркеров загрязнения почв и статистической обработки результатов измерений.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В статье рассматривается экологическая ситуация на территории крупного промышленного центра – города Липецка, который по валовым объемам выбросов долгое время входил в пятерку самых «грязных» городов Российской Федерации [15, 16]. Наиболее значимыми организованными источниками загрязняющих веществ в городе являются ПАО «Новолипецкий металлургический комбинат», ОАО Липецкий металлургический завод «Свободный сокол», ОАО «Липецкий тракторный завод». Ранее было установлено, что основные выпадения происходят на расстоянии до 2–3 км от промышленных предприятий. К наиболее устойчивым загрязнителям, накапливающимся в почвах десятилетиями, относятся металлы, содержание которых существенно различается в зависимости от источника загрязнения, направления ветра и подстилающей поверхности [14].

Для оценки экологической ситуации в городе Липецке отбирали пробы почв в 76 точках, расположенных вблизи основных источников выбросов, а также на территории детских и спортивных площадок, школ и парков. В сертифицированной лаборатории в пробах почв определяли содержание основных загрязнителей – никеля (Ni), цинка (Zn), свинца (Pb), меди (Cu), марганца (Mn), кадмия (Cd), мышьяка (As).

В методических указаниях уровень загрязнения почвы в отдельных точках отбора проб характеризуется суммарным показателем загрязнения [12, 13]:

$$Z_c = (\sum_{i=1}^n K_i) - (n - 1), \quad (1)$$

K_i — коэффициент концентрации, или опасность, нанесенная антропогенной деятельностью человека окружающей природной среде. При различном уровне загрязнения учитывается опасность загрязняющих веществ: $K_i = C_i/\text{ПДК}_i$ — отношение фактического загрязнения почвы i -тым загрязнителем в точке отбора проб к его предельно допустимой концентрации (ПДК), n — количество проб, в которых $K_i > 1$.

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ПО ОПАСНЫМ МАРКЕРАМ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ЛИПЕЦКА)

По рассчитанным значениям Z_c строятся карты загрязнения территории с набором изолиний вокруг каждой точки отбора проб. Изолинии отражают непрерывное распространение загрязнителей вокруг каждой точки отбора проб и постепенно изменяющийся в пространстве уровень загрязнения почв. Обычно опробование проводится по неравномерной сети с привязкой к источникам выбросов. Карта строится с использованием программного обеспечения Surfer. При этом производится интерполяция результатов, и её точность в местах с малым числом измерений весьма сомнительна. Поэтому в условиях крупных промышленных центров с многочисленными разнообразными точечными источниками выбросов и различными рекреационными зонами стандартная картографическая модель не может адекватно описывать сложившуюся геоэкологическую обстановку по городу в целом.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для оценки экологической ситуации в крупном промышленном центре в целом, выраженным единым показателем, необходимо перейти к стохастической модели распределения поллютантов в почвах всего города.

На первом этапе отбираются опасные загрязняющие вещества, для которых коэффициент опасности $K_i \geq 1$. В противном случае, то есть $K_i < 1$, концентрация загрязняющего вещества не превышает предельно-допустимую концентрацию и это вещество при полученной концентрации не опасно для человека. Для города Липецка условию $K_i > 1$ соответствуют только никель и цинк, что определяется преимущественной структурой промышленных выбросов.

На втором этапе определяется закон распределения случайной величины по выбранным компонентам, то есть строятся гистограммы. Число градаций N в гистограмме зависит от выбранного шага дискретизации ΔK_i . Минимальный шаг дискретизации определяется точностью измерительного прибора для определяемого загрязняющего вещества. Для репрезентативности результатов необходимо, чтобы число измерений коэффициента концентрации загрязняющего вещества в каждой градации ≥ 3 [21]. В работе принята ширина градации $\Delta K_i = 0,5$; число попаданий в каждой градации не менее четырех.

Построенные гистограммы опасных маркеров — Ni и Zn показаны на рисунке 1. Анализ полученных законов распределения случайной величины показывает, что их нельзя аппроксимировать ни одним из известных статистических законов. Это факт говорит о том, что загрязнение почв промышленных городов не является чисто случайным процессом, на него накладывается упорядоченная деятельность человека по созданию технологических кластеров внутри городских территорий. Загрязнение почв города никелем достаточно равномерное, что свидетельствует о наличии нескольких источников загрязнения и высоких миграционных свойствах этого металла. Распределение загрязнения почв города Липецка цинком существенно отличается: высокая повторяемость загрязнения наблюдается только на территориях вблизи металлургического комбината.

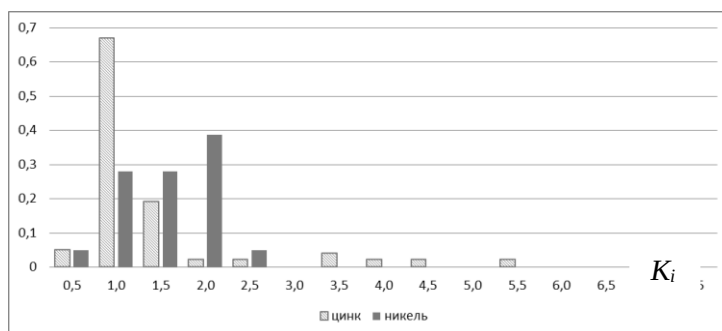


Рис. 1. Повторяемость коэффициентов концентрации цинка и никеля в почвах города Липецка.

За средневзвешенное значение измеряемой величины i -того загрязнителя принимаем его математическое ожидание:

$$M_{Ki} = \sum_{i=1}^N P_i K_i, \quad (2)$$

где P_i — повторяемость коэффициента загрязнения K_i в каждой градации.

Модифицированный средневзвешенный суммарный показатель загрязнения территории всего города можно вычислить по формуле:

$$Z_c^* = (\sum_{i=1}^n M_{Ki}) - (n - 1). \quad (3)$$

В формуле (3) суммируются не коэффициенты концентраций загрязняющих веществ, как в известной модели (1), а их математические ожидания. Предложенная модель расчета модифицированного суммарного показателя загрязнения почв позволяет описывать не загрязнение в отдельных точках, а средневзвешенное загрязнение всей территории n загрязняющими веществами.

Отметим особенности, которые присущи стандартной (1), и предложенной (3) моделям:

1. Обе модели снизу ограничены условием $K_i \geq 1$, то есть загрязняющие вещества с концентрациями меньше ПДК не учитываются при оценке экологической ситуации на исследуемой территории.

2. Сверху суммарные показатели Z_c и Z_c^* не ограничены и зависят от числа загрязняющих веществ, поэтому их ранжирование может производиться только с использованием экспертных оценок.

Предлагаются следующие градации опасной экологической ситуации по модифицированному суммарному показателю загрязнения почв для $n \leq 4$, за основу которой взято ранжирование, представленное в работе Трофимова В.Т. [17]:

$Z_c^* \leq 1$ — экологическая норма (для любого числа загрязняющих веществ);

$1 < Z_c^* \leq 3$ — экологический риск (концентрации загрязнителей в почве C_i не превышают 2 ПДК $_i$);

$3 < Z_c^* \leq 5$ — компенсированный кризис ($C_i < 3$ ПДК $_i$);

$5 < Z_c^* \leq 9$ — некомпенсированный кризис ($C_i < 5$ ПДК $_i$);

$Z_c^* > 9$ — бедствие.

Результаты расчетов Z_c^* и оценка экологической ситуации для исследуемой территории города Липецка представлены в таблице.

**СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ
УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ПО ОПАСНЫМ МАРКЕРАМ
ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ЛИПЕЦКА)**

Таблица 1.

Оценка экологической ситуации на территории города Липецка по опасным
маркерам загрязнения почв

Математическое ожидание коэффициента загрязнения почв M_K		Модифицированный суммарный показатель загрязнения почв Z_c^*	Ранг загрязнения
Ni	Zn	2,0	Экологический риск
1,39	1,61		

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Стандартная модель позволяет получить пространственную карту загрязнения территории, что и было сделано ранее [4]. Но она не позволяет оценить уровень загрязнения территории в целом. Такую оценку позволяет сделать вновь разработанный статистический подход.

Таким образом, эти два подхода дополняют друг друга, и позволяют дать обоснованные рекомендации по улучшению экологического состояния почв территории промышленных центров.

Список литературы

1. Бекшин Ж. М., Турмухамбетова А. А., Узбеков В. А., Белоног А. А., Мамырбаев А. А., Перепичко Н. З. Почва как источник экологических рисков. Проблемы нормирования и ведения мониторинга уровня загрязнения почвы химическими веществами // Медицина и экология. Караганда. Издательство Республиканского государственного предприятия на праве хозяйственного ведения «Карагандинский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Республики Казахстан. 2015. № 3 (76). С. 42–47.
2. Копылов И. Д., Березина Р. Ф., Рапопорт О. А., Рудой Г. Н., Кузьмин Д. В. Влияние выбросов вредных веществ в атмосферу на загрязнение почвы // Медицина труда и промышленная экология. Москва. Издательство НИИ медицины труда. №10. 2016. С. 20–24.
3. Коробов В. Б., Котова Е. И., Кочуров Б. И. Интегральные и интегрированные показатели в геоэкологических оценках территорий и акваторий // Проблемы региональной экологии. Москва. Издательский дом «Камертон». 2021. №4. С. 107–111.
4. Косинова И. И., Фонова С. И., Базарский О. В., Плаксицкая И. П. Комплексная оценка геосферы жизнедеятельности населения территории Липецкого промрайона // Воронеж. Издательство Воронежского ГАСУ. 2014. 175 с.
5. Кочетова Ж. Ю. Авиационно-ракетный кластер как новый класс объектов геоэкологического мониторинга / Ж.Ю. Кочетова // Географический вестник. Пермь. Издательство Пермского государственного национального исследовательского университета. 2019. №3 (50). С. 79–91.
6. Кочетова Ж. Ю., Базарский О. В., Маслова Н. В. Сравнительный анализ интегральных показателей загрязнения почвогрунтов урбанизированных территорий приоритетными компонентами // Вестник Кузбасского государственного технического университета. Кемерово. Издательство Кузбасского государственного технического университета им. Т.Ф. Горбачева 2018. №1 (125). С. 28–37.
7. Кульнев В. В., Насонов А. Н., Жогин И. М., Цветков И. В., Грабарник В. Е., Карелин Н. В. Об опыте проведения управляемой альгоремедиации рекреационного водоема // Экология и промышленность России. Москва. 2020. Т. 24. № 3. С. 58–64. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2020-3-58-64>.
8. Кульнев В. В., Насонов А. Н., Цветков И. В., Межова Л. А., Ларионов А. Н. Фрактальный подход к оценке управляемости экологическими рисками // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. Махачкала. 2019. Т. 13. №4. С. 101–111.

9. Кульнев В. В., Базарский О. В. Комплексная методика геоэкологической оценки территории горнодобывающих предприятий // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. 2011. № 2. С. 142–147.
10. Куролап С. А., Петросян В. С., Клепиков О. В., Кульнев В. В., Мартынов Д. Ю. Оценка влияния метеорологических параметров на техногенное загрязнение канцерогенными химическими веществами воздушного бассейна города Воронежа // Экология и промышленность России. Москва. Издательство «Калвис». 2021. Т. 25. №2 С. 60–65. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-2-60-65>.
11. Летин А. Л., Межова Л. А. Современные природно-антропогенные геосистемы Воронежского государственного природного биосферного заповедника и проблемы биоразнообразия // Успехи современного естествознания. Москва. Издательство «Издательский Дом Академия Естествознания». 2021. №12. С. 154–159.
12. Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами, утвержденные Заместителем Главного государственного санитарного врача СССР 13 марта 1987 г. №4266-87.
13. МУ 2.1.7.730-99. «Почва, очистка населенных мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы. гигиеническая оценка качества почвы населенных мест». Москва. НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А.Н. Сысина РАМН. 1999. 20 с.
14. Прохорова Т. В., Кузнецов В. К., Санжаров А. И. Мониторинг загрязнения агроэкосистем в зоне воздействия Липецкой промышленной агломерации // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. Москва. Научно-информационный издательский центр и редакция журнала «Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук» 2015. №10-1. С. 41–44.
15. Седых В. А., Беляева Л. Н., Климов Д. С. Состояние атмосферного воздуха города Липецк // Проблемы региональной экологии. Москва. Издательство «Камертон». 2019. №3 С. 77–80. doi:10.24411/1728-323X-2019-13077.
16. Состояние и охрана окружающей среды Липецкой области в 2017 году: доклад Управления экологии и природных ресурсов Липецкой области / под ред. Е.В. Бадулиной. Липецк. 2018. 292 с.
17. Трофимов В. Т., Зилинг Д. Г. Инженерная геология и экологическая экология: теоретико-методологические основы и взаимоотношение // Москва. Издательство МГУ им. М.В. Ломоносова. 1999. 119 с.
18. Трубина Л. К. Методологические аспекты экологической оценки состояния урбанизированных территорий // Интерэкспо Гео-Сибирь. Т 2, Вып 3. Новосибирск. Издательство Сибирского государственного университета геосистем и технологий. 2012. С. 203–206.
19. Фридман В. С., Сулов В. В. Микроэволюционные изменения при урбанизации диких видов птиц / В. С. Фридман, В. В. Сулов // Социально-экологические технологии. Москва. Издательство Московского педагогического государственного университета. 2021. Т. 11. № 1. С. 75–120.
20. Чернятина Г. Н., Межова Л. А., Луговской А. М. Оценка миграционных и депонирующих процессов природных сред южных районов Воронежской области // Современные проблемы науки и образования. 2015. №2-2 [Электронный ресурс]. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=22272> (дата обращения: 24.02.2022).
21. Шертайлаков Г.М. Метрология как наука / Г.М. Шертайлаков, Ф.А. Рахманов. Текст: непосредственный // Молодой ученый. 2015. № 5 (85). С. 204–207. URL: <https://moluch.ru/archive/85/15690/> (дата обращения: 18.02.2022).
22. Kochetova Zh. Yu., Bazarskiy O.V., Maslova N.V. Filtration of heavy metals in soils with different degrees of urbanization and technogenic load / Zh.Yu. Kochetova., O.V. Bazarskii, N.V. Maslova // Russian Journal of General Chemistry. 2018. Т. 88. №13. С. 2990–2996.

GEOECOLOGICAL MODEL OF RESIDENTAL COMFORT IN URBAN AGGLOMERATIONS

Kul`nev V. V.¹, Bazarskiy O. V.², Kochetova Zh. Yu.³, Mezhoval L. A.⁴

¹*Central Black Earth Interregional Office Federal Service for Supervision of Natural Resources,
Voronezh, Russian Federation*

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ
УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ПО ОПАСНЫМ МАРКЕРАМ
ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ЛИПЕЦКА)

^{2,3}*Air Force Academy named after Prof. N. Ye. Zhukovskiy and Yu. A. Gagarin, Voronezh, Russian Federation*

⁴*Voronezh State Pedagogical University, Voronezh, Russian Federation*

E-mail: ¹kulneff.vadim@yandex.ru

The article considers the problems of assessing the ecological situation in urbanized territories, differing in geographical, climatic conditions, the scale and nature of emissions. The existing models for assessing the ecological situation in various industrial centres involve the calculation of the total pollution of environmental objects in individual sampling points by hazardous pollutants, with the subsequent construction of a map of pollution of the territory. But this approach cannot give an assessment of the level of pollution of the whole territory. In order to move to a single indicator of pollution of the territory of the entire industrial centre, it is proposed to move to the stochastic description of the distribution of pollutants in soils. On the basis of constructed distributions of concentration ratios of hazardous pollutants of the studied territories the mathematical expectations of each hazardous pollutant are calculated and a modified weighted average total pollution index of the whole territory is introduced. A ranking scale of pollution levels of urbanized territories for the modified total index of soil pollution is proposed. The model has been tested in a large industrial centre (Lipetsk), where nickel and zinc are chosen as markers of soil pollution. Modified total index of soil pollution of the whole city of Lipetsk corresponds to the level of pollution – «environmental risk». It is shown, these two approaches - classical and statistical complement each other, and allow giving recommendations on improvement of ecological condition of soils of urbanized territories.

Keywords: soil pollution, heavy metals, Lipetsk, total pollution index, statistical estimation, mathematical expectation, modified pollution index.

References

1. Bekshin ZH. M., Turmuhambetova A. A., Uzbekov V. A., Belonog A. A., Mamyrbayev A. A., Perepichko N. Z. Pochva kak istochnik ekologicheskikh riskov. Problemy normirovaniya i vedeniya monitoringa urovnya zagryazneniya pochvy himicheskimi veshchestvami // *Medicina i ekologiya*. Karaganda. Izdatel'stvo Respublikanskogo gosudarstvennogo predpriyatiya na prave hozyajstvennogo vedeniya «Karagandinskij gosudarstvennyj medicinskij universitet» Ministerstva zdavoohraneniya Respubliki Kazahstan. 2015. № 3 (76). S. 42–47.
2. Kopylov I. D., Berezina R. F., Rapoport O. A., Rudoy G. N., Kuz'min D. V. Vliyanie vybrosov vrednykh veshchestv v atmosferu na zagryaznenie pochvy // *Medicina truda i promyshlennaya ekologiya*. Moskva. Izdatel'stvo NII mediciny truda. №10. 2016. S. 20–24.
3. Korobov V. B., Kotova E. I., Kochurov B. I. Integral'nye i integrirovannye pokazateli v geoekologicheskikh ocenkah territorij i akvatorij // *Problemy regional'noj ekologii*. Moskva. Izdatel'stkij dom «Kamerton». 2021. №4. S. 107–111.
4. Kosinova I. I., Fonova S. I., Bazarskij O. V., Plaksickaya I. P. Kompleksnaya ocenka geosfery zhiznedeyatel'nosti naseleniya territorii Lipeckogo promrajona // *Voronezh. Izdatel'stvo Voronezhskogo GASU*. 2014. 175 s.
5. Kochetova ZH. YU. Aviacionno-raketnyj klaster kak novyj klass ob'ektov geoekologicheskogo monitoringa / ZH.YU. Kochetova // *Geograficheskij vestnik*. Perm'. Izdatel'stvo Permskogo gosudarstvennogo nacional'nogo issledovatel'skogo universiteta. 2019. №3 (50). S. 79–91.
6. Kochetova ZH. YU., Bazarskij O. V., Maslova N. V. Sravnitel'nyj analiz integral'nykh pokazatelej zagryazneniya pochvogrunтов urbanizirovannykh territorij prioritnymi komponentami // *Vestnik*

- Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Kemerovo. Izdatel'stvo Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. T.F. Gorbacheva 2018. №1 (125). S. 28–37.
7. Kul'nev V. V., Nasonov A. N., ZHogin I. M., Cvetkov I. V., Grabarnik V. E., Karelin N. V. Ob opyte provedeniya upravlyaemoy al'goremediacii rekreacionnogo vodoema // *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. Moskva. 2020. T. 24. № 3. S. 58–64. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2020-3-58-64>.
 8. Kul'nev V. V., Nasonov A. N., Cvetkov I. V., Mezhova L. A., Larionov A. N. Fraktal'nyj podhod k ocenke upravlyaemosti ekologicheskimi riskami // *Izvestiya Dagestanskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. Estestvennye i tochnye nauki*. Mahachkala. 2019. T. 13. №4. S. 101–111.
 9. Kul'nev V. V., Bazarskij O. V. Kompleksnaya metodika geoekologicheskoy ocenki territorii gornodobyvayushchih predpriyatij // *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki*. 2011. № 2. S. 142–147.
 10. Kurolap S. A., Petrosyan V.S., Klepikov O. V., Kul'nev V. V., Martynov D. YU. Ocenka vliyaniya meteorologicheskikh parametrov na tekhnogennoe zagryaznenie kancerogennymi himicheskimi veshchestvami vozdušnogo bassejna goroda Voronezha // *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. Moskva. Izdatel'stvo «Kalvis». 2021. T. 25. №2 S. 60–65. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-2-60-65>.
 11. Letin A. L., Mezhova L. A. Sovremennye prirodno-antropogennye geosistemy Voronezhskogo gosudarstvennogo prirodnogo biosfernogo zapovednika i problemy bioraznoobraziya // *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. Moskva. Izdatel'stvo «Izdatel'skij Dom Akademiya Estestvoznaniya». 2021. №12. S. 154–159.
 12. Metodicheskie ukazaniya po ocenke stepeni opasnosti zagryazneniya pochvy himicheskimi veshchestvami, utverzhdennye Zamestitelem Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha SSSR 13 marta 1987 g. №4266-87.
 13. MU 2.1.7.730-99. «Pochva, ochistka naselennykh mest, bytovye i promyshlennyye othody, sanitarnaya ohrana pochvy. gigenicheskaya ocenka kachestva pochvy naselennykh mest». Moskva. NII ekologii cheloveka i gigieny okruzhayushchej sredy im. A.N. Sysina RAMN. 1999. 20 s.
 14. Prohorova T. V., Kuznecov V. K., Sanzharov A. I. Monitoring zagryazneniya agroekosistem v zone vozdeystviya Lipeckoj promyshlennoj aglomeracii // *Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk*. Moskva. Nauchno-informacionnyj izdatel'skij centr i redakciya zhurnala «Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk» 2015. №10-1. S. 41–44.
 15. Sedyh V. A., Belyaeva L. N., Klimov D. S. Sostoyanie atmosfernogo vozduha goroda Lipeck // *Problemy regional'noj ekologii*. Moskva. Izdatel'stvo «Kamerton». 2019. №3 S. 77–80. doi:10.24411/1728-323X-2019-13077.
 16. Sostoyanie i ohrana okruzhayushchej sredy Lipeckoj oblasti v 2017 godu: doklad Upravleniya ekologii i prirodnym resursom Lipeckoj oblasti / pod red. E.V. Badulinoj. Lipeck. 2018. 292 s.
 17. Trofimov V. T., Ziling D. G. Inzhenernaya geologiya i ekologicheskaya ekologiya: teoretiko-metodologicheskie osnovy i vzaimootnoshenie // Moskva. Izdatel'stvo MGU im. M.V. Lomonosova. 1999. 119 s.
 18. Trubina L. K. Metodologicheskie aspekty ekologicheskoy ocenki sostoyaniya urbanizirovannykh territorij // *Interesko Geo-Sibir'*. T 2, Vyp 3. Novosibirsk. Izdatel'stvo Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta geosistem i tekhnologii. 2012. S. 203–206.
 19. Fridman V. S., Suslov V. V. Mikroevolyucionnye izmeneniya pri urbanizacii dikih vidov ptic / V. S. Fridman, V. V. Suslov // *Social'no-ekologicheskie tekhnologii*. Moskva. Izdatel'stvo Moskovskogo pedagogicheskogo gosudarstvennogo universiteta. 2021. T. 11. № 1. S. 75–120.
 20. CHernyatina G. N., Mezhova L. A., Lugovskoj A. M. Ocenka migracionnykh i deponiruyushchih processov prirodnym sred yuzhnykh rajonov Voronezhskoj oblasti // *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2015. №2-2 [Elektronnyj resurs]. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=22272> (data obrashcheniya: 24.02.2022).
 21. SHertajlakov G.M. Metrologiya kak nauka / G.M. SHertajlakov, F.A. Rahmanov. Tekst: neposredstvennyj // *Molodoj uchenyj*. 2015. № 5 (85). S. 204–207. URL: <https://moluch.ru/archive/85/15690/> (data obrashcheniya: 18.02.2022).
 22. Kochetova Zh. Yu., Bazarskij O.V., Maslova N.V. Filtration of heavy metals in soils with different degrees of urbanization and technogenic load / Zh.Yu. Kochetova., O.V. Bazarskii, N.V. Maslova // *Russian Journal of General Chemistry*. 2018. T. 88. №13. S. 2990–2996. (In Russian).

Поступила в редакцию 04.05.2022 г.