

Исследовательская статья

УДК 504.5; 504.053; 504.054; 656.7; 581.5

DOI: 10.24412/2076-9091-2026-262-22-33

**Артемий Алексеевич Березнев¹,
Александр Михайлович Луговской²**^{1, 2} Российский государственный социальный университет,
Москва, Россия² Московский государственный университет геодезии и картографии,
Москва, Россия**ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ
МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОМ ПОКРОВЕ
ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ АВИАЦИОННОГО ТРАНСПОРТА**

Аннотация. Актуальность исследования обусловлена высокой техногенной нагрузкой на окружающую среду в районах интенсивной авиационной деятельности, где формируются сложные геохимические аномалии, влияющие на качество воздуха, почв и водных объектов. Особую значимость представляет территория международного аэропорта Шереметьево, характеризующаяся высокой концентрацией источников выбросов. В связи с этим статья направлена на выявление структуры и пространственной организации техногенного геохимического поля в пределах аэродромного комплекса и прилегающих территорий. Методологическую основу исследования составили геохимический анализ, методы пространственного моделирования, статистическая обработка данных, а также полевые измерения атмосферного воздуха и почв. В статье выявлены уровни распределения ключевых загрязняющих компонентов (тяжелые металлы, нефтепродукты, соединения азота), установлены основные факторы формирования техногенных аномалий, определены направления их распространения, обосновано влияние структуры аэродромной деятельности и технологических процессов на геохимическую дифференциацию территории. Полученные результаты позволяют комплексно оценить экологическое состояние района аэропорта, а разработанная схема техногенного геохимического поля может служить инструментом для экологического мониторинга, оптимизации природоохранных мероприятий и долгосрочного планирования развития авиационной инфраструктуры.

Ключевые слова: техногенное загрязнение, геохимическое поле, аэропортовая территория, Шереметьево, аэротехногенная нагрузка, тяжелые металлы, нефтепродукты, геоэкология, экологический мониторинг

Финансирование: исследование не имело финансовой поддержки.

Research article

UDC 504.5; 504.053; 504.054; 656.7; 581.5

DOI: 10.24412/2076-9091-2026-262-22-33

Artemii Alekseevich Bereznev¹,
Alexander Mikhailovich Lugovskoy²

^{1, 2} Russian State Social University,
Moscow, Russia

² Moscow State University of Geodesy and Cartography,
Moscow, Russia

PATTERNS OF HEAVY METAL DISTRIBUTION IN SOIL AND VEGETATION COVER UNDER THE IMPACT OF AVIATION TRANSPORT

Abstract. The relevance of this study is determined by the high technogenic load on the environment in areas of intense aviation activity, where complex geochemical anomalies are formed, affecting the quality of air, soil, and water bodies. The territory of Sheremetyevo International Airport, characterized by a high concentration of emission sources, is of particular significance. Therefore, this article aims to identify the structure and spatial organization of the technogenic geochemical field within the airfield complex and adjacent areas. The methodological basis of the study consists of geochemical analysis, spatial modeling methods, statistical data processing, and field measurements of atmospheric air and soil. This article identifies the levels and distribution of key pollutants (heavy metals, petroleum products, and nitrogen compounds), establishes the main factors driving technogenic anomalies, and determines their distribution patterns. The influence of airfield operations and technological processes on the geochemical differentiation of the area is substantiated. The results allow for a comprehensive assessment of the airport area's environmental status, and the developed technogenic geochemical field map can serve as a tool for environmental monitoring, optimization of environmental measures, and long-term planning for aviation infrastructure development.

Keywords: echnogenic pollution, geochemical field, airport area, Sheremetyevo, airborne load; heavy metals, petroleum products, geoecology, environmental monitoring

Funding Statement: no funding was received for writing this manuscript.

Введение

Проблема экологического состояния аэропортовых территорий определяется нарастающим техногенным воздействием авиационного транспорта, сопровождаемым поступлением в окружающую среду токсичных элементов, включая тяжелые металлы (ТМ), устойчивые органические соединения и продукты неполного сгорания авиационного топлива [5–7]. По данным современных исследований, аэропорты выступают крупными

локальными центрами формирования техногенных геохимических аномалий, существенно влияющих на качество почвенно-растительного покрова в прилегающих экосистемах [1; 3; 4]. Российские работы также подтверждают тенденцию увеличения концентраций Mn, Cu, Zn, Pb и Cd в наземных экосистемах, расположенных в зоне действия авиационных узлов [7]. Степень разработанности проблемы позволяет говорить о наличии локальных исследований, посвященных оценке загрязнения аэропортовых территорий, однако комплексное выявление закономерностей распределения ТМ в системе «почвы – растения» при воздействии фактического транспорта воздушных судов остается недостаточно изученным [3]. В зарубежной литературе акцент делается преимущественно на влиянии выхлопов авиационных двигателей и аэрозольных частиц на качество воздуха [2; 5; 6], тогда как исследования пространственных закономерностей накопления ТМ в почвах и биоте вокруг аэродромов представлены фрагментарно [4].

Анализ литературных данных показывает, что в большинстве работ аэропорты рассматриваются как источники точечного загрязнения, при этом игнорируется динамическая структура аэротехногенного поля, формируемого взлетно-посадочной активностью, ветровым режимом и особенностями техногенных потоков. Многие работы в целом не рассматривают ТМ как загрязняющее вещество, а делают акцент на шумовом загрязнении и рисках глобального потепления вследствие выбросов углекислого газа. Современные тенденции в геоэкологических исследованиях смещаются в сторону пространственно-временного анализа и ГИС-моделирования, позволяющего реконструировать распределение ТМ и выявлять зоны накопления, миграции и биологического поглощения. Однако оценка сопряженной реакции почв и растительности на совокупное воздействие авиации также разработана недостаточно [3; 4]. Отсутствуют систематизированные исследования, объединяющие почвенно-геохимические данные, ботанический анализ и картографические методы на реальном примере крупного авиационного узла. В случае аэропорта Шереметьево, одного из крупнейших транспортных хабов Восточной Европы, задача приобретает особую значимость. На его территории и в зоне воздействия фиксируется интенсивный техногенный поток, включающий выбросы авиационных двигателей, аэрозольные частицы, технические жидкости и продукты многокомпонентного обслуживания воздушных судов [2]. При этом данные о распределении ТМ в почвенно-растительном покрове территории Шереметьево остаются ограниченными [4], а существующие публикации не отражают долгосрочных изменений техногенного геохимического поля за период 2022–2026 гг. Противоречие заключается в том, что, с одной стороны, известны механизмы аэротехногенного загрязнения, а с другой — отсутствует комплексное понимание пространственной структуры техногенного поля и сопряженной реакции биоты на многолетнее воздействие аэропорта. Авторская позиция заключается в необходимости системного анализа, включающего геохимические методы,

ботанические индикаторы и ГИС-подходы и позволяющего выявить устойчивые закономерности распределения Mn, Cu, Zn, Cr, Ni, Pb, Co, As, Hg и Cd в системе «почвы – растения» на примере крупнейшего отечественного авиационного узла.

Материалы и методы исследования

Методика настоящего исследования была ориентирована на комплексное выявление закономерностей пространственного распределения тяжелых металлов в почвенно-растительном покрове территории, прилегающей к международному аэропорту Шереметьево, и оценку степени аэротехногенного воздействия авиационного комплекса на экологическое состояние ландшафта. Основной научной целью работы являлось установление пространственной структуры техногенного геохимического поля и выявление факторов, определяющих концентрации Mn, Cu, Zn, Cr, Ni, Pb, Co, As, Hg и Cd в почвах и надземных органах растений. Достижение данной цели предполагало решение ряда частных задач, включавших определение содержания указанных элементов в компонентах экосистемы, построение геохимических моделей распределения, оценку отклонений от фоновых условий и анализ влияния расстояния до линейных и площадных авиационных источников. Объект исследования охватывал почвы и растительные сообщества, расположенные в пределах разных зон влияния авиационного транспорта: непосредственной приаэродромной территории, буферной зоны, расширенной зоны и фоновых участков, удаленных от инфраструктуры аэропорта на 12–15 км. На данных участках формировалась репрезентативная выборка почвенных (84) и растительных (112) образцов, включая 20 контрольных проб. Схема размещения точек пробоотбора была организована по восьми маршрутам, направленным как параллельно, так и перпендикулярно осям взлетно-посадочных полос. Таким образом обеспечивалась возможность сопоставить концентрации элементов с интенсивностью авиадвижения, направлением господствующих ветров и структурой техногенного ландшафта. Почвенный покров исследуемой территории представлен преимущественно дерново-подзолистыми и аллювиальными разновидностями, тогда как растительные сообщества включают луговые формации, опушечные биотопы и древесно-кустарниковые насаждения. Растительный покров территории, прилегающей к аэропорту, представлен в основном сегетальными и рудеральными сообществами, формирующимися на нарушенных урбанизированных землях. Среди доминантных видов отмечены:

1. *Poa pratensis* — мятлик луговой;
2. *Plantago major* — подорожник большой;
3. *Taraxacum officinale* — одуванчик лекарственный;
4. *Achillea millefolium* — тысячелистник обыкновенный;
5. *Elymus repens* — пырей ползучий.

Эти виды являются надежными фитоиндикаторами техногенного загрязнения благодаря: высокой площади листовой поверхности; поверхностной корневой системе, активно поглощающей ТМ из верхнего горизонта; способности аккумулировать поллютанты в органах растения [1].

Полевые методы включали отбор почвенных проб в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01–2017 и действующими методическими рекомендациями Минприроды России. Пробы брались из слоя 0–20 см как наиболее чувствительного к техногенному загрязнению, а на части контрольных площадок — из слоя 20–40 см. Каждая общая проба формировалась из нескольких точечных подпроб, отбираемых по схеме 10 × 10 м, что позволяло снизить внутриплощадочную вариабельность. Растительный материал собирался с использованием методики, адаптированной для оценки фитоаккумуляции: надземная биомасса луговых трав после отбора высушивались при 65 °С и измельчались до однородной фракции. Данные отборы проб проводились с повторностью 1 раз в год в течение 3 лет, что может свидетельствовать о неслучайности полученных результатов.

Лабораторные методики включали определение концентраций металлов методом атомно-абсорбционной спектроскопии (AAS) для Mn, Cu, Zn, Cr, Ni, Pb, Co и Cd, а также методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) для As и Hg. Пробоподготовка осуществлялась посредством кислотного разложения в системе микроволновой минерализации с использованием смеси HNO₃ и H₂O₂, после чего растворы фильтровались и подвергались анализу на спектрометрах PerkinElmer AAnalyst 400 и Agilent 7900. Точность определений подтверждалась сертифицированными стандартами и межлабораторным контролем, а погрешность измерений не превышала 3–5 % для AAS и 1,5–2 % для ICP-MS. Лабораторные исследования проводились на базе лаборатории МГУ. Уникальный номер записи об аккредитации: RA.RU.21OM11. Дата внесения сведений об аккредитованном лице: 25.11.2021.

Для пространственного анализа данных использовались геоинформационные технологии, реализованные в программных пакетах ArcGIS Pro и QGIS. Все результаты были географически привязаны в системе координат WGS-84.

Исследование проводилось поэтапно в течение 2022–2026 гг. На первом этапе была сформирована сеть пробных точек, проведен пилотный отбор и создана предварительная геоинформационная структура. На втором этапе был выполнен массовый пробоотбор и полный химический анализ образцов. На третьем — выполнены статистическая обработка и построение геохимических карт, а затем сделан повторный отбор образцов. Заключительный, четвертый этап включал интеграцию всех полученных данных за 3 года исследований, построение сводной модели техногенного воздействия авиационного комплекса, формирование окончательных выводов и апробация материалов.

Результаты исследования

Проведенные исследования почвенно-растительного покрова территории, прилегающей к международному аэропорту Шереметьево, позволили получить количественные данные о содержании тяжелых металлов (Mn, Cu, Zn, Cr, Ni, Pb, Co, As, Hg, Cd) в поверхностных горизонтах почв, а также в надземных органах доминирующих видов растений [1]. Представлены полученные результаты, систематизированные по компонентам ландшафта и пространственным зонам.

Во всех почвенных образцах, отобранных в приаэродромной зоне (0–500 м от источников авиационного воздействия), наблюдались максимальные концентрации тяжелых металлов (табл. 1).

Таблица 1

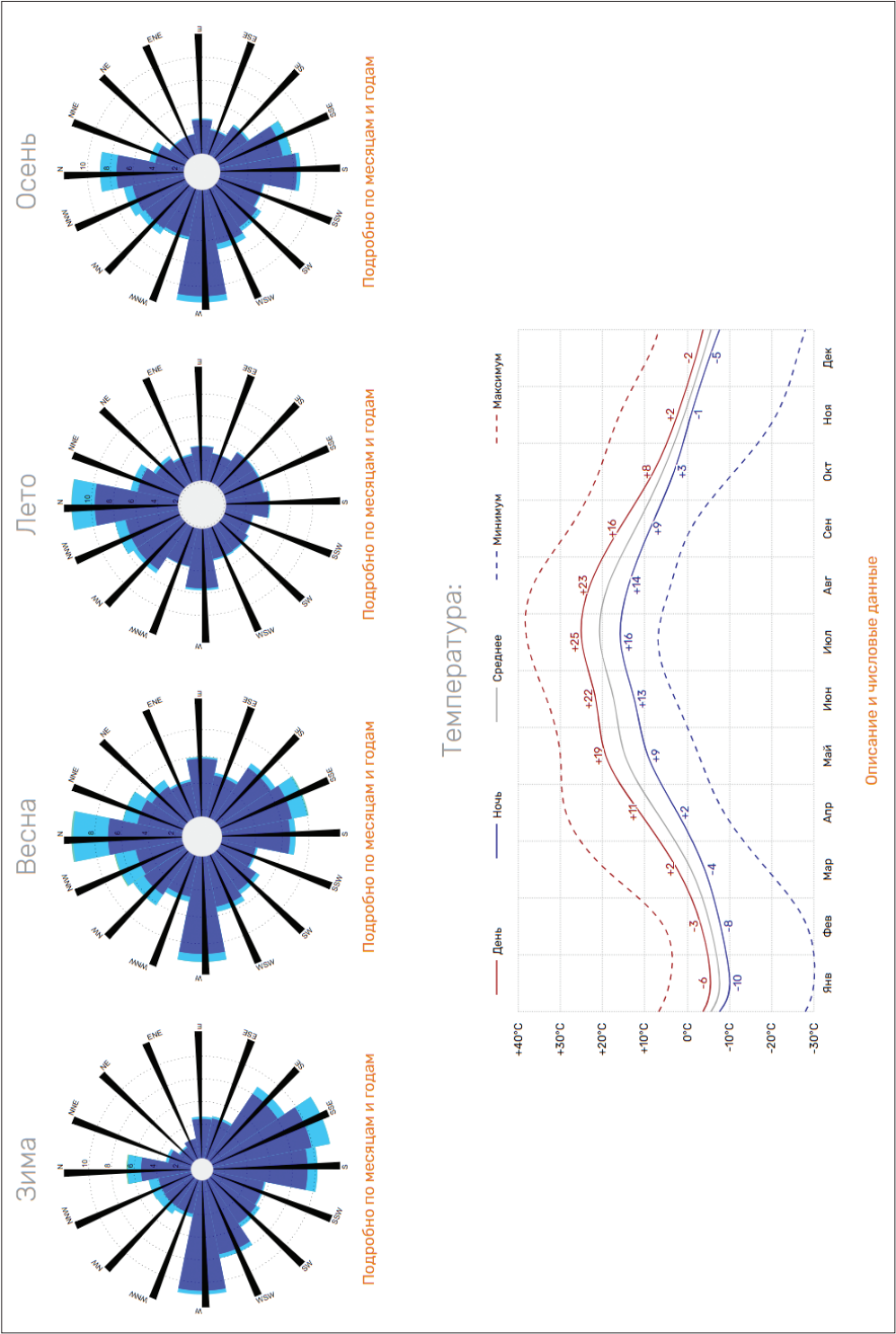
Средние значения по зоне, мг/кг

Элемент / зона	Приаэродромная зона (0–500 м)	Буферная зона (500–2 000 м)	Расширенная зона (2 000–5 000 м)	Фоновая зона (> 12 км от аэропорта)
Mn	690	518	401	286
Cu	42,6	31,8	22,4	14,6
Zn	97,4	76,1	53,9	32,4
Cr	58,2	43,7	32,2	20,6
Ni	39,7	28,4	19,1	12,2
Pb	52,1	34,6	22,3	11,7
Co	14,3	10,8	7,4	4,8
As	6,2	4,1	3,1	1,7
Hg	0,128	0,082	0,051	0,026
Cd	1,14	0,79	0,54	0,27

Таким образом, был зафиксирован устойчивый градиент снижения концентраций тяжелых металлов с увеличением расстояния от аэродромного комплекса. Это указывает на определение аэродрома Шереметьево (взлетно-посадочные полосы) как ключевой локации, с которой распределяется загрязнение ТМ. Данные розы ветров свидетельствуют о непостоянстве, поэтому распределение ТМ методом аэрации (что характерно для воздушного транспорта [4]) не имеет четко выраженного направления, а имеет сезонность (см. рис.), при смене которой, соответственно, меняется направление господствующих ветров, а вследствие этого изменяется схема распределения и накопления ТМ почвой и растениями.

Пространственный анализ позволил установить следующие количественные характеристики:

- максимальные значения Zn, Pb и Cu локализовались в секторе 190–240° от взлетно-посадочной полосы № 1;
- значения Mn, Cr и Ni демонстрировали форму вытянутых геохимических шлейфов длиной 1,2–2,4 км;



- зона повышенных концентраций Pb площадью 1,8 км² имела асимметричную структуру в направлении господствующих южных ветров;
- ареал Hg, согласно интерполяционным моделям, был наиболее компактным и ограничивался радиусом 700–900 м от технических зон;
- коэффициенты контрастности (отношение концентрации к фону) в центре поля достигали: Zn — 3,1; Pb — 4,4; Cu — 2,9; Cd — 4,2.

Несмотря на сезонность направления ветра, во всех четырех сезонах прослеживается постоянность двух направлений: северного и южного. Эти данные при необходимости можно использовать для согласования плана ремедиации почв.

Концентрации тяжелых металлов в надземных органах растений

Приводится таблица усредненных концентраций (2022–2026 гг.) в листьях доминантных растений (табл. 2).

Таблица 2

Средние концентрации ТМ в растениях (мг/кг сухого вещества)

Расстояние от ВПП, м	Mn	Zn	Cu	Pb	Ni	Cr	Co	As	Cd	Hg
50–150 (зона максимального воздействия)	620	185	42	18,6	12,4	8,1	1,7	0,48	1,26	0,062
150–300	540	150	33	12,3	9,5	6,4	1,3	0,40	0,92	0,048
300–600	470	118	27	9,1	8,0	4,9	1,1	0,32	0,55	0,037
> 600 (фон)	390	86	19	6,2	6,1	3,5	0,8	0,22	0,31	0,025

Основные закономерности:

1. Zn, Mn, Cu — характеризуются наибольшей биоаккумуляцией (до $\times 2$ – $\times 3$ относительно фона);
2. Pb и Cd проявляют резко выраженный градиент снижения с расстоянием;
3. Hg → минимальная аккумуляция, но сохраняется четкий аэропортовый тренд;
4. As и Co — слабая, но статистически значимая тенденция увеличения концентрации в зоне 50–150 м.

Важным этапом нашего исследования явилось выявление закономерностей и принципов накопления ТМ в растениях, так как в большей части случаев ТМ попадает в растение не напрямую [1], а через почву (см. табл. 3).

Биологические коэффициенты накопления (BCF) рассчитывался по формуле:

$$BCF = \frac{C_{\text{раст}}}{C_{\text{почв}}},$$

где BCF — биологические коэффициенты накопления; $C_{\text{раст}}$ — содержание ТМ в растении; $C_{\text{почв}}$ — содержание ТМ в почве.

Таблица 3

Коэффициенты биологического накопления ТМ растениями

Характеристика	Металл	BCF (50–150 м)	BCF (> 600 м)
Активный биогенный элемент, высокий перенос	Zn	0,46	0,28
Умеренная аккумуляция	Cu	0,32	0,21
Активное поглощение в зоне выбросов	Mn	0,54	0,41
Слабый перенос, но сильная зависимость от источника	Pb	0,09	0,04
Высокая мобильность и биодоступность	Cd	0,41	0,26
Средняя аккумуляция	Ni	0,23	0,17
Низкий перенос	Cr	0,10	0,07
Слабая аккумуляция	As	0,12	0,06
Минимальное накопление	Hg	0,05	0,03

Еще одним важным аспектом было выявить растения, способные больше поглощать то или иное вещество, что в будущем могло бы быть использовано для ремедиации территорий (табл. 4).

Таблица 4

Межвидовые различия (мг/кг, зона 50–150 м)

Вид растения	Zn	Cu	Pb	Cd
<i>Poa pratensis</i> (мятлик луговой)	210	48	22	1,41
<i>Plantago major</i> (подорожник большой)	190	44	19	1,33
<i>Elymus repens</i> (пырей ползучий)	165	36	17	1,09
<i>Achillea millefolium</i> (тысячелистник обыкновенный)	158	33	16	0,98
<i>Taraxacum officinale</i> (одуванчик лекарственный)	210	48	22	1,41

Преимущественные накопители:

- *Taraxacum officinale* — лидер по Zn, Cu, Pb, Cd → как основной фитоиндикатор.
- Злаки (*Poa pratensis*) аккумулируют меньше металлов.

Заключение

Проведенное исследование позволило установить особенности пространственного распределения и уровней накопления техногенных тяжелых металлов в почвах прилегающей территории международного аэропорта Шереметьево. Картирование техногенного геохимического поля показало выраженную зональность загрязнения, связанную с эксплуатационной деятельностью аэропорта и интенсивностью воздушного движения.

Наиболее высокие концентрации Mn, Cu, Zn, Cr, Ni, Pb, Co, As, Hg и Cd выявлены в зонах непосредственного влияния взлетно-посадочных полос, участков стоянки воздушных судов и транспортно-логистических площадок. По мере удаления от этих объектов наблюдалось закономерное снижение содержания металлов. Установленные уровни загрязнения демонстрируют устойчивый техногенный сигнал, подтверждающий длительное и непрерывное воздействие воздушного транспорта на геохимическое состояние почвенного покрова.

Полученные в ходе работы данные позволяют сделать вывод о наличии локальных участков критического экологического напряжения, требующих первоочередного внимания и проведения рекультивационных мероприятий. Формирование техногенной аномалии отдельных элементов указывает на необходимость регулярного мониторинга состояния почв, а также пересмотра регламентов природоохранной деятельности на территории аэропорта и прилегающих зонах.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на:

- оценку миграционной активности выявленных загрязнителей в различных сезонных и климатических условиях;
- изучение влияния аэротехногенного загрязнения на биоту и состояние наземных экосистем;
- разработку научно обоснованных методов оптимизации системы экологического контроля;
- моделирование динамики загрязнения с учетом планируемого увеличения транспортной нагрузки.

Важным возможным продолжением данного исследования может стать выявление закономерности и отличительные черты переноса ТМ в системе «почва – растение» на участках с высокой техногенной нагрузкой, так как все исходные данные для такого исследования уже имеются.

Одной из главных задач аэропорта остается контроль за выбросами загрязняющих веществ. Согласно последним экологическим отчетам, Шереметьево активно внедряет автоматизированные системы мониторинга. Регулярно службы аэропорта производят контрольные замеры и публикуют ежегодные экологические отчеты на официальном сайте. Однако в этих отчетах не проводятся исследования депонирующих сред на содержание загрязняющих веществ. Наибольший акцент делается на сточные воды и шумовое загрязнение. Авторы данной статьи считают целесообразным внедрение дополнительных показателей в данные экологические отчеты.

Результаты исследования могут быть использованы в практической деятельности экологических служб аэропорта, при разработке программ экологической безопасности, а также при планировании природоохранных мероприятий, направленных на снижение техногенной нагрузки и устойчивое управление территорией.

Список источников

1. Байсеитова Н. М., Сартаева Х. М. Накопление тяжелых металлов в растениях в зависимости от уровня загрязнения почв // Молодой ученый. 2014. № 2 (61). С. 379–382. EDN: QBEIQR.
2. Бечина И. Н. Накопление и перераспределение тяжелых металлов в почвах г. Новодвинска / И. Н. Бечина, Л. Ф. Попова, А. И. Васильева, Ю. С. Коробицина // Научный диалог. 2013. № 3 (15). С. 7–25. EDN: PXQKOL.
3. Ефремова О. А., Прохорова Н. В. Особенности накопления тяжелых металлов в почвах промышленных и рекреационных зон города Ульяновска // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13. № 1-5. С. 1190–1193. EDN: OORZMH.
4. Иванова А. Р. Влияние авиации на окружающую среду и меры по ослаблению негативного воздействия // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. 2017. № 365. С. 5–14. EDN: ZUCYGR.
5. Мессинева Е. М. Проблемы и особенности воздействия авиационных горюче-смазочных материалов на окружающую среду / Е. М. Мессинева, Н. Б. Мануйлова, С. И. Горбачев, С. Н. Булычев // Журнал технических исследований. 2016. Т. 2. № 1. С. 2. EDN UDXFZF.
6. Миягашева В. А. Экологические проблемы в авиации и пути их решения / В. А. Миягашева, Д. Р. Иншаков, А. В. Пономарев, О. Г. Бойко // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2016. Т. 1. № 12. С. 808–810. EDN: WTOBKX.
7. Сотволдиев У. О. Особенности накопления тяжелых металлов в различных продуктах питания // Центральноеазиатский журнал образования и инноваций. 2024. Т. 3. № 7. С. 37–40. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13193741>
8. Юрчук А. П. Влияние авиации на окружающую среду и меры по ослаблению негативного воздействия // Молодой ученый. 2021. № 8 (350). С. 198–201. EDN: WAUGDQ.

References

1. Baiseitova N. M., Sartaeva Kh. M. Accumulation of heavy metals in plants depending on the level of soil pollution. Young Scientist. 2014;2(61):379–382. EDN: QBEIQR. (In Russ.).
2. Bechina I. N., Popova L. F., Vasilieva A. I., Korobitsina Yu. S. Accumulation and re-distribution of heavy metals in soils of Novodvinsk. Nauchnyi Dialog. 2013;3(15):7–25. EDN: PXQKOL. (In Russ.).
3. Efremova O. A., Prokhorova N. V. Features of heavy metals accumulation in soils of industrial and recreational zones of Ulyanovsk city. Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2011;13(1-5):1190–1193. EDN: OORZMH. (In Russ.).
4. Ivanova A. R. Influence of aviation on the environment and measures to mitigate the negative impact. Proceedings of the Hydrometeorological Research Center of the Russian Federation. 2017;365:5–14. EDN: ZUCYGR. (In Russ.).
5. Messineva E. M., Manuilova N. B., Gorbachev S. I., Bulychev S. N. Problems and features of the impact of aviation fuels and lubricants on the environment. Journal of Technical Research. 2016;2(1):2. EDN UDXFZF. (In Russ.).

6. Miyagasheva V. A., Inshakov D. R., Ponomarev A. V., Boyko O. G. Environmental problems in aviation and ways to solve them. Actual Problems of Aviation and Cosmonautics. 2016;1(12):808–810. EDN: WTOBKX. (In Russ.).

7. Sotvoldiev U. O. Features of accumulation of heavy metals in various food products. Central Asian Journal Of Education And Innovation. 2024;3(7):37–40. (In Russ.). <https://doi.org/10.5281/zenodo.13193741>

8. Yurchuk A. P. Influence of aviation on the environment and measures to mitigate the negative impact. Young Scientist. 2021;8(350):198–201. EDN: WAUGDQ. (In Russ.).

Информация об авторах / Information about the authors:

Березнев Артемий Алексеевич — аспирант, Российский государственный социальный университет, Москва, Россия.

Bereznev Artemii Alekseevich — Postgraduate Student, Russian State Social University, Moscow, Russia.

artemybereznev@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-5372-1904>

Луговской Александр Михайлович — доктор географических наук, кандидат биологических наук, доцент, профессор кафедры географии, Московский государственный университет геодезии и картографии; Российский государственный социальный университет; Московский городской педагогический университет, Москва, Россия.

Lugovskoy Alexander Mikhailovich — Doctor of Geographical Sciences, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Geography, Moscow State University of Geodesy and Cartography; Russian State Social University; Moscow City University, Moscow, Russia.

alug1961@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3985-4535>

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no relevant conflict of interests.

Статья поступила в редакцию: 27.02.2026;
одобрена после доработки: 01.03.2026;
принята к публикации: 05.03.2026.

The article was submitted: 27.02.2026;
approved after reviewing: 01.03.2026;
accepted for publication: 05.03.2026.