



DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-4-533-543

EDN: RVPBYU

УДК 504.05

Научная статья / Research article

## Оценка влияния выбросов автомобильного транспорта на геоэкологическое состояние почв и растительности городов Иркутской агломерации

С.А. Новикова  *Иркутский государственный университет путей сообщения,**Иркутск, Российская Федерация* [eco-science@mail.ru](mailto:eco-science@mail.ru)

**Аннотация.** Рассмотрена проблема влияния выбросов автотранспортных средств на состояние почв и растительности придорожных полос городов Иркутской агломерации. Осуществлен отбор проб вблизи перекрестков, характеризующихся интенсивным движением автотранспортных потоков. В результате массового (полуколичественного) полного спектрального анализа отобранных проб выявлено содержание в них тяжелых металлов, превышающее значения предельно допустимой и фоновой концентраций. Проведены расчеты суммарного показателя загрязнения, позволившие установить, что почвы придорожных зон урбанизированных территорий агломерации относятся к категориям «опасная» и «чрезвычайно опасная». Даны рекомендации по улучшению геоэкологического состояния почв и растительности урбанизированных территорий.

**Ключевые слова:** урбанизированные территории, автотранспорт, тяжелые металлы, придорожные зоны, почва и растительность

**История статьи:** поступила в редакцию 25.06.2023; доработана после рецензирования 30.07.2023; принята к публикации 25.09.2023.

**Для цитирования:** Новикова С.А. Оценка влияния выбросов автомобильного транспорта на геоэкологическое состояние почв и растительности городов Иркутской агломерации // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 4. С. 533–543. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-4-533-543>

© Новикова С.А., 2023



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

## Assessment of the impact of vehicle emissions on the geoecological state of soils and vegetation in the cities of the Irkutsk agglomeration

Svetlana A. Novikova  

*Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russian Federation*  
eco-science@mail.ru

**Abstract.** The study examines the problem of the influence of vehicle emissions on the condition of soils and vegetation of roadside strips in the cities of the Irkutsk agglomeration. Sampling was carried out near intersections characterized by intense traffic flows. As a result of a mass (semi-quantitative) full spectral analysis of selected samples, the content of heavy metals in them was revealed to be higher than the maximum permissible and background concentrations. Calculations of the total pollution indicator were carried out, which made it possible to establish that the soils of roadside zones in urbanized areas of the agglomeration belong to the categories “dangerous” and “extremely dangerous”. Recommendations for improving the geoecological condition of soils and vegetation in urban areas are given.

**Keywords:** urbanized areas, vehicles, heavy metals, roadside areas, soil and vegetation

**Article history:** received 25.06.2023; revised 30.07.2023; accepted 25.09.2023

**For citation:** Novikova SA. Assessment of the impact of vehicle emissions on the geoecological state of soils and vegetation in the cities of the Irkutsk agglomeration. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(4):533–543. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-4-533-543>

### Введение

Почва и растительность являются аккумуляторами вредных веществ и, как следствие, биоиндикаторами качества компонентов окружающей природной среды, в частности атмосферного воздуха. Наибольшую опасность представляют тяжелые металлы, поскольку они являются весьма токсичными и плохо выводятся из среды. Как известно, тяжелые металлы входят и в состав выхлопных газов автомобилей. Кроме того, они выделяются во время различных операций, связанных с эксплуатацией автотранспортных средств, таких как износ шин и тормозных колодок, утечка масла, коррозия аккумуляторов и других металлических деталей [1–2].

Увеличение количества автомобилей влечет за собой ухудшение состояния городской среды. Влияние автомагистралей особенно интенсивно в районах пониженного обмена воздуха. Примерно 20 % частиц оседает в придорожном пространстве, порядка 60 % частиц осаждаются в зоне от 10 до 100 м, остальные частицы, как правило, переносятся ветром на большие расстояния. Наибольшему накоплению частиц тяжелых металлов подвержены территории, расположенные с подветренных сторон [3].

Состояние зеленых насаждений городов напрямую влияет на выполняемые ими экологические функции. Растительность урбанизированных территорий испытывают на себе воздействие ряда негативных факторов, напрямую

связанных с антропогенной деятельностью [4]. Растения поглощают тяжелые металлы не только корнями из почвы, но и листьями из атмосферы, иногда до половины содержащихся в этих средах элементов. Согласно литературным данным, в хвое и листьях древесной растительности тяжелых металлов накапливается в несколько раз больше, чем в их ствольной части [5].

Так, в Иркутской агломерации была проведена оценка воздействия выбросов автотранспорта на геоэкологическое состояние почв и растительности придорожных территорий [6; 7]. В городах Иркутск, Ангарск и Усолье-Сибирское были отобраны пробы почвы, листвы, хвои и травы на ключевых участках – перекрестках, характеризующихся повышенной интенсивностью движения автотранспортных потоков. На рис. 1 представлена диаграмма количества автомобилей, зафиксированных во время обследования на перекрестках в часы пик. В результате проведенных исследований была сформирована и зарегистрирована база данных показателей содержания тяжелых металлов в почвах и растительности придорожных полос агломерации [8].

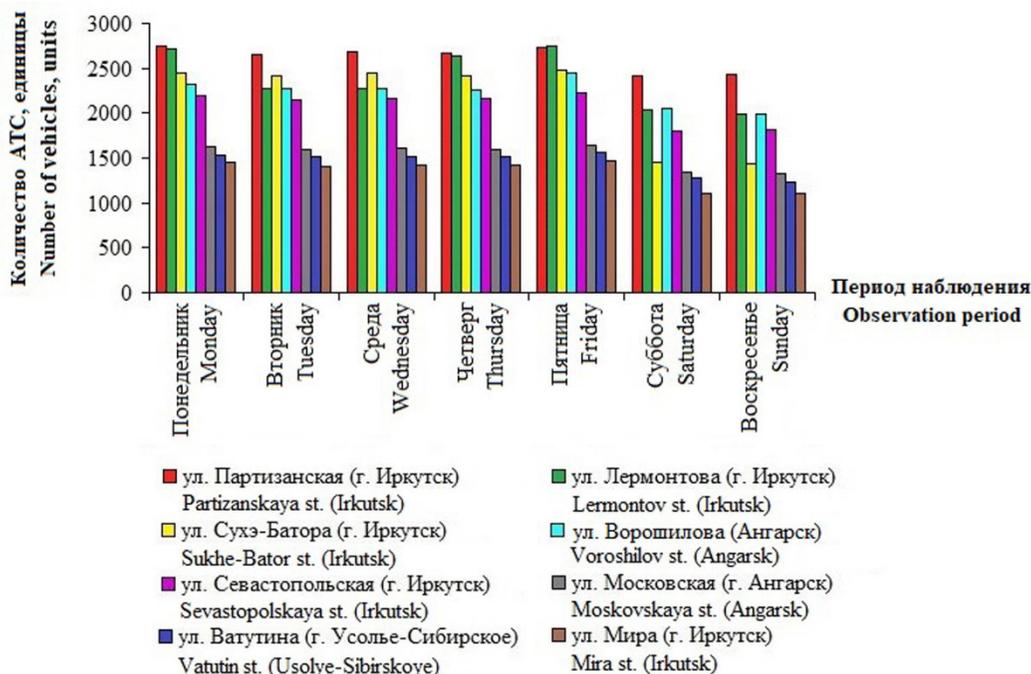


Рис. 1. Динамика количества автотранспортных средств (АТС), зафиксированных на перекрестках в часы пик

## Методы исследования

В результате санитарно-гигиенических исследований на ключевых участках было отобрано 160 проб почвы, травы, листвы и хвои – по 40 проб на каждую среду. Отбор проб почвы и растительности производился методом «конверта». Суть данного метода заключается в отборе пяти проб, расположенных в виде запечатанного конверта на выбранной площадке (четыре

точки располагаются по краям и одна – в центре). Почва отбиралась послойно с глубины 0–5 и 5–20 см. После отбора точечных проб путем соединения и перемешивания из них были сформированы объединенные пробы [9; 10].

Согласно СанПиН 2.1.3684-21, перечень химических показателей должен включать определение содержания тяжелых металлов: свинец, кадмий, цинк, медь, никель, мышьяк, ртуть как потенциально опасных для человека химических веществ и суммарного показателя загрязнения почвы<sup>1</sup>.

В лаборатории Байкальского филиала «Сосновгеология» Федерального государственного унитарного геологического предприятия (ФГУГП) «Урангео» (г. Иркутск) был проведен массовый (полуколичественный) полный спектральный анализ. Отобранные пробы высушивались при комнатной температуре, взвешивались, затем измельчались в порошок до размеров частиц 75 мкм и прокаливались в специальных установках при температуре 400 °С с целью избежать потерь летучих элементов.

Применяемая «Методика массового (полуколичественного) полного спектрального анализа»<sup>2</sup> позволяет определить в отобранных пробах 50 химических элементов: Si, Al, Mg, Ca, Fe, Na, K, Mn, Ni, Co, Ti, V, Cr, W, Mo, Zr, Hf, Nb, Ta, Cu, Pb, Zn, Sn, Sb, Tl, As, Ge, Bi, Cd, Ag, Be, Sc, Ga, Ce, La, Y, Yb, P, U, Th, Ba, Sr, Li, Rb, Cs, B, Te, In, Gd, Au. Каждый химический элемент обладает характерным, присущим только ему спектром испускания. Интенсивность испускаемого линейчатого спектра является функцией содержания определяемого элемента в исследуемом образце. В качестве источника возбуждения характеристического спектра используется вертикальная электрическая дуга между угольными электродами, в один из которых помещается порошок исследуемого геологического образца. Для разделения в спектре линий элементов, отличающихся летучестью и другими физико-химическими константами, используется явление фракционного испарения элементов анализируемого материала – способ токовременной развертки. Для разложения излучения в спектр и его фотографической регистрации применялся дифракционный спектрограф ДФС-8-1.

Фотографическая регистрация спектров осуществлялась на спектральные фотопластинки размером 13×18 см. Каждая анализируемая проба испаряется в дуговом разряде один раз. После окончания съемки фотопластинку проявляли, фиксировали и сушили. Визуальная интерпретация спектров анализируемых проб проводилась по способу «появления–усиления линий» в сочетании со способом «сравнения интенсивности линий».

<sup>1</sup> СанПиН 2.1.3684-21. Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий.

<sup>2</sup> Методика массового (полуколичественного) полного спектрального анализа. Стандарт предприятия Сосновского производственно-геологического объединения (ПГО) (СТП-ПГО-009-84). Приказ от 14.11.1984 № 251, Иркутск, 1984. 35 с.

Спектры стандартных геологических материалов с известными содержаниями определяемых химических элементов сравнивались со спектрами анализируемых проб, полученными в идентичных условиях. Пределы обнаружения элементов оценивались по искусственным смесям и пробам с известными содержаниями химических элементов.

## Результаты и их обсуждение

На рис. 2–5 представлены диаграммы некоторых результатов спектрального анализа содержания в почвах и придорожной растительности тяжелых металлов в сравнении с нормативом – предельно допустимой концентрацией (ПДК) и фоном. В качестве фоновых концентраций содержания тяжелых металлов в почве использовались рекомендуемые значения условно незагрязненной почвы, характерные для территории рассматриваемого региона, позволяющие наиболее объективно оценить степень геохимических изменений, происходящих под влиянием антропогенного фактора<sup>3</sup>. Ввиду того, что ПДК тяжелых металлов для растительности не разработаны, в данном эксперименте сравнение фактических концентраций тяжелых металлов в листе, хвое и траве придорожной растительности проводилось в отношении ПДК, установленных для почвы.

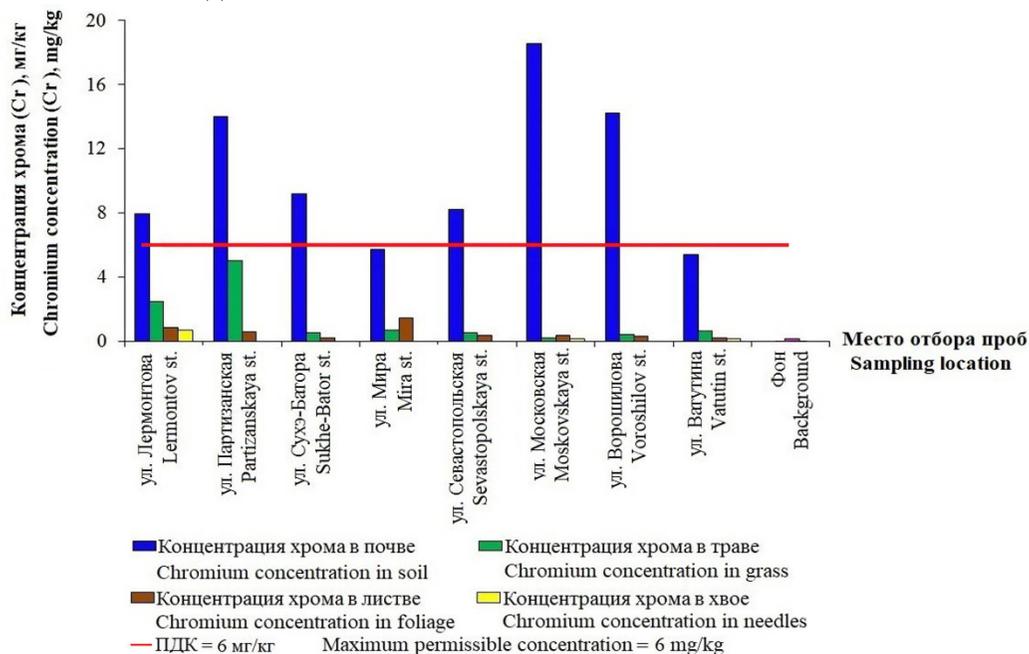
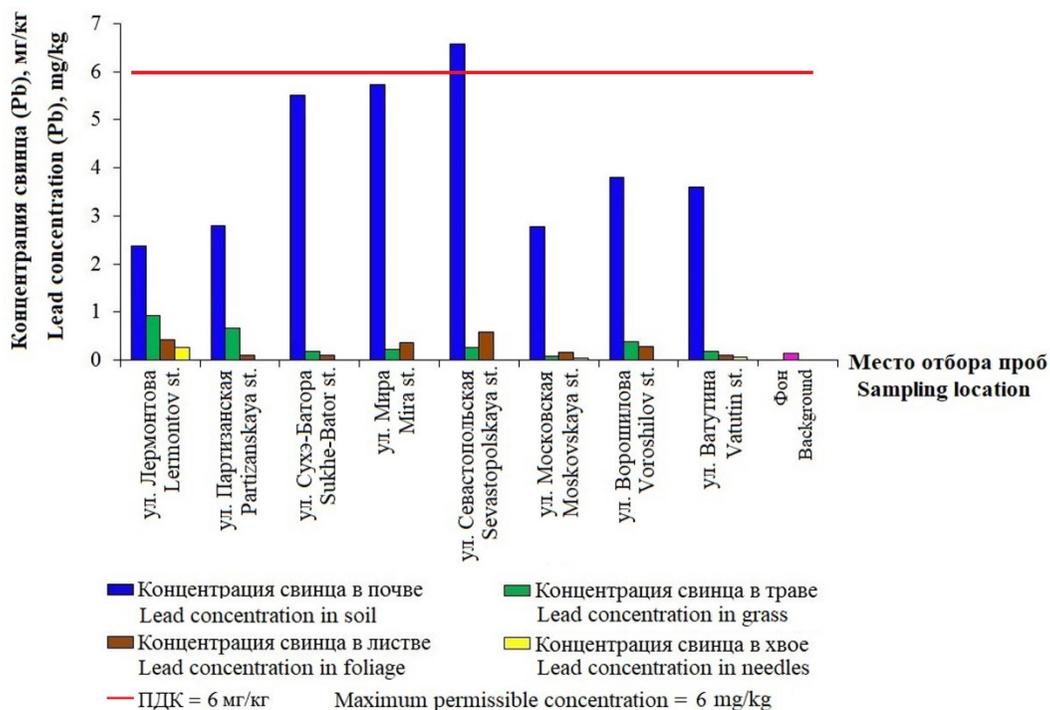
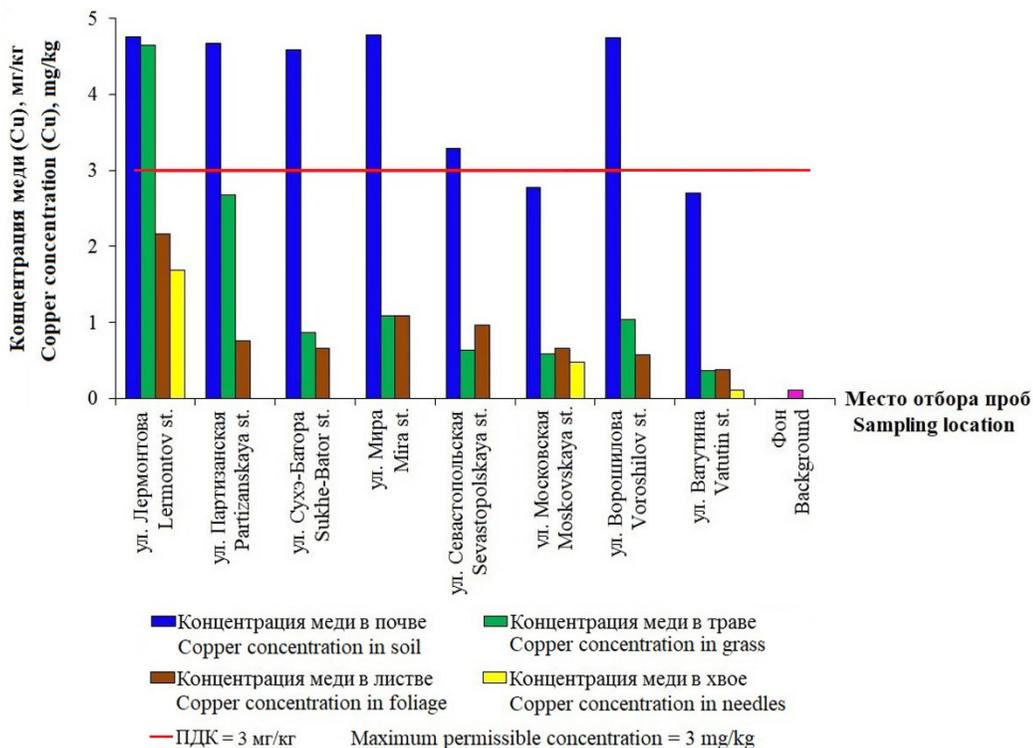


Рис. 2. Концентрация хрома в отобранных образцах /

<sup>3</sup> ГОСТ 17.4.3.01–2017. Межгосударственный стандарт. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб (введен в действие Приказом Росстандарта от 01.06.2018 № 302-ст.); ГОСТ Р 58588–2019. Отбор и подготовка растительных проб для изотопного анализа (введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 09.10.2019 № 928-ст.).



**Рис. 3. Концентрация свинца в отобранных образцах**



**Рис. 4. Концентрация меди в отобранных образцах**

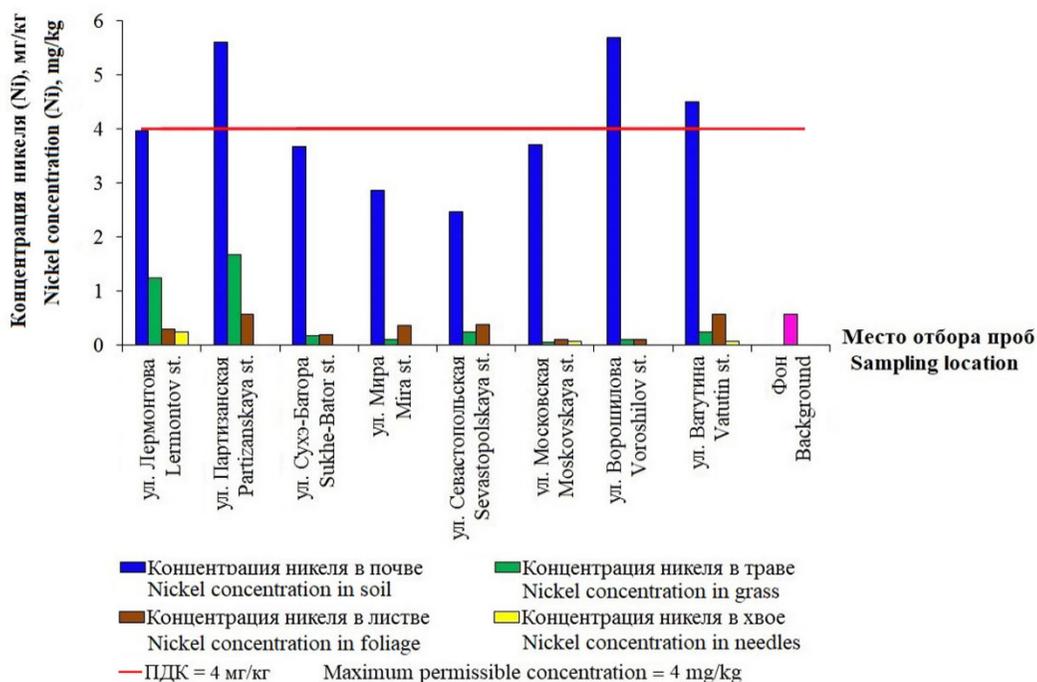


Рис. 5. Концентрация никеля в отобранных образцах

Так, концентрации хрома в придорожных почвах превышают значение ПДК в отобранных образцах: на ул. Московской (Ангарск) – в 3 раза, ул. Ворошилова (Ангарск) – в 2,4 раза, ул. Партизанской (Иркутск) – в 2,3 раза, ул. Сухэ-Батора (Иркутск) – в 1,5 раза, ул. Севастопольской (Иркутск) – в 1,4 раза, ул. Лермонтова (Иркутск) – в 1,3 раза. Концентрации хрома в образцах почв, отобранных на улицах Мира (Иркутск) и Ватутина (Усолье-Сибирское), находятся на границе ПДК. Концентрации хрома во всех образцах почв превышают фоновые значения в 41–143 раза. Во всех образцах травы концентрации хрома превышают фоновые в 1,5–38,7 раза. Содержание хрома во всех образцах листвы превышает фоновое в 1,5–11,2 раза. Содержание хрома в хвое, отобранной на ул. Лермонтова, превышает значения фона в 5,2 раза, на ул. Московской и Ватутина – в 1,1 раза (см. рис. 2).

Концентрация свинца в придорожной почве, отобранной на ул. Севастопольской, превышает ПДК в 1,1 раза. Содержание свинца в образцах почв, отобранных на улицах Сухэ-Батора и Мира, находятся на границе ПДК. Концентрации свинца во всех образцах почв превышают фоновую в 15–44 раза. Концентрации свинца практически во всех образцах травы (кроме образцов с ул. Московской) превышают фоновую в 1,2–6,2 раза. Значения концентраций свинца в отобранных образцах листвы на следующих улицах: Севастопольской, Лермонтова, Мира, Ворошилова, Московской – превышают фоновую концентрацию в 3,8; 2,9; 2,4; 1,9; 1,1 раза соответственно. Содержание свинца в хвое, отобранной на ул. Лермонтова, превышает значение фона в 1,7 раза, в остальных образцах – значения ниже фоновой (см. рис. 3).

Содержание меди в придорожных почвах, отобранных на улицах: Лермонтова, Мира, Партизанская, превышает ПДК в 1,6 раза, на ул. Сухэ-Батора – в 1,5 раза, ул. Ворошилова – в 1,6 раза, ул. Севастопольской – в 1,1 раза. Концентрации меди в образцах почвы на улицах Московской и Ватутина находятся на границе ПДК. Концентрации меди во всех образцах почв превышают фоновую в 25–44 раза. Концентрации меди в траве, отобранной на ул. Лермонтова, превышают значение ПДК в 1,6 раза; в траве, отобранной на ул. Партизанской, – концентрации близки к значению ПДК. Во всех образцах травы концентрации меди превышают фоновую концентрацию в 5,3–42,2 раза. Содержание меди во всех образцах листвы превышает фоновое значение в 3,5–19,6 раза. Содержание свинца в хвое, отобранной на ул. Лермонтова, превышает значение фона в 15,3 раза, на ул. Московской – в 4,4 раза, на ул. Ватутина – значения концентраций находятся на уровне фона (см. рис. 4).

Содержание никеля в придорожных почвах, отобранных на улицах Партизанской и Ворошилова, превышает установленный санитарно-гигиенический норматив в 1,4 раза; на ул. Ватутина – в 1,1 раза. Концентрации никеля в образцах почв, отобранных на улицах Лермонтова, Сухэ-Батора, Московской, находятся на границе ПДК. Концентрации никеля во всех образцах почв превышают фоновые значения в 4–10 раз. Содержание никеля во всех образцах придорожной травы, листвы и хвои не превышает ПДК, однако концентрации никеля в траве, отобранной на ул. Партизанской и ул. Лермонтова, превышают фоновую в 3 и 2,2 раза соответственно. В образцах травы, отобранной на ул. Ватутина, концентрация никеля находится на уровне фоновой, в остальных экземплярах – ниже фонового значения (см. рис. 5).

Таким образом, значения концентраций тяжелых металлов коррелируют с плотностью движения автотранспорта (см. рис. 1), что объясняет их происхождение выхлопными газами автомобилей.

Оценка уровня химического загрязнения почв как индикатора неблагоприятного воздействия на здоровье населения проводится в том числе по показателям, разработанным при сопряженных геохимических и гигиенических исследованиях окружающей среды урбанизированных территорий с действующими источниками загрязнения. Такими показателями являются:

– коэффициент концентрации химического вещества, который определяется отношением фактического содержания загрязняющего вещества в почве ( $C_i$ ) в мг/кг почвы к региональному фоновому ( $C_{\text{фони}}$ );

– суммарный показатель загрязнения ( $Z_c$ ).

Для оценки совокупного действия 6 основных загрязняющих веществ (Ni, Co, Cr, Cu, Pb, Zn) использовался суммарный показатель загрязнения почвы исследуемой территории, рассчитываемый по формуле<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Постановление главного санитарного врача РФ от 28.01.2021 г. № 2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685–21 „Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания“».

$$Z_c = \sum_{i=1}^N \left( \frac{C_i}{C_{\text{фон}i}} \right) - (n - 1),$$

где  $Z_c$  – суммарный показатель загрязнения почвы;  $C_i$  – фактическая концентрация  $i$ -го элемента в почве;  $C_{\text{фон}i}$  – фоновая концентрация  $i$ -го элемента в почве;  $N$  – количество загрязнителей;  $n$  – число определяемых суммируемых веществ.

В зависимости от величины  $Z_c$  выделяют несколько категорий загрязнения почв:

- 0 – чистая;
- меньше 16 – допустимая;
- 16–32 – умеренно опасная;
- 32–128 – опасная;
- больше 128 – чрезвычайно опасная.

Результаты проведенных расчетов представлены в таблице.

**Категория загрязнения почв**

Место отбора проб	Значение $Z_c$	Категория загрязнения почв
Ул. Лермонтова	107,6	Опасная
Ул. Партизанская	161,0	Чрезвычайно опасная
Ул. Сухэ-Батора	133,8	Чрезвычайно опасная
Ул. Мира	114,8	Опасная
Ул. Севастопольская	118,7	Опасная
Ул. Московская	170,7	Чрезвычайно опасная
Ул. Ворошилова	166,6	Чрезвычайно опасная
Ул. Ватутина	77,2	Опасная

## Заключение

Результаты проведенных анализов свидетельствуют о загрязнении придорожных полос рассматриваемых ключевых участков Иркутской агломерации тяжелыми металлами, входящими в том числе в состав выхлопных газов автотранспорта. Так, в результате массового (полуколичественного) спектрального анализа выявлены превышения концентраций следующих элементов: Cr, Cu, Ni, Pb, Co, Zn, Mo:

– в образцах почв выявлены превышения значений *ПДК*: хрома (в 1,3–3,1 раза), меди (в 1,1–1,6 раза), никеля (в 1,1–1,4 раза);

– в образцах почв превышены значения *фоновых концентраций*: хрома (в 41,5–142,8 раза), меди (в 24,6–43,5 раза), свинца (в 15,8–43,8 раза), никеля (в 4,3–10,0 раза), кобальта в (3,9–8,2), цинка (в 3,2–8,3 раза), молибдена (в 1,9–3,3 раза);

– в образцах травы превышены значения *ПДК* меди (в 1,6 раза);

– превышены значения *фоновых концентраций*: меди (в образцах травы – в 3,4–42,2 раза, листвы – в 3,5–19,6 раза, хвои – в 4,4–15,3 раза), хрома (в образцах травы – в 1,5–38,7 раза, листвы – в 1,5–11,2 раза, хвои – в 1,1–5,2 раза), никеля (в образцах травы – в 2,2–2,9 раза), свинца (в образцах

травы – в 1,2–6,2 раза, листья – в 1,1–3,8 раза, хвои – в 1,7 раза), кобальта (в образцах травы – в 1,5–3,0 раза), цинка (в образцах травы – в 1,1–2,0 раза), молибдена (в образцах травы – в 1,2 раза; листья – в 1,3 раза).

Расчеты показали, что почвы придорожных территорий городов Иркутской агломерации относятся к категориям «опасная» и «чрезвычайно опасная» (значение суммарного показателя загрязнения почвы лежит в диапазоне 77,2–170,7), что свидетельствует о значительном загрязнении придорожных зон тяжелыми металлами, входящими в состав преимущественно выхлопных газов автомобильного транспорта (см. табл.). Статистическая обработка позволила сделать выводы о степени однородности и корректности данных, полученных в результате осуществления массового (полуколичественного) полного спектрального анализа отобранных образцов почв и растительности.

Частицы почвы с содержащимися в ней загрязняющими веществами с помощью ветра могут подниматься в атмосферный воздух и, как следствие, ухудшать его качество. Для улучшения состояния придорожных почв следует предусматривать санацию урбанизированных территорий.

Как видно из результатов проведенного исследования, листва и трава придорожных зон содержат тяжелые металлы в довольно больших концентрациях. Согласно нормативному акту<sup>5</sup> сжигание листьев деревьев, кустарников на территории населенных пунктов запрещено. Собранные листья деревьев, кустарников подлежат вывозу на объекты размещения, обезвреживания или утилизации отходов. Однако в населенных пунктах Иркутской агломерации нередко выявляют случаи сжигания травы<sup>6</sup>, что, помимо угрозы стихийного возгорания прилегающих территорий, может являться причиной, способствующей ухудшению экологической ситуации.

Таким образом, для того чтобы не допустить ухудшения экологической обстановки путем поступления тяжелых металлов и других токсичных компонентов в атмосферный воздух, необходимо регулярно осуществлять мониторинг территории городов Иркутской агломерации с помощью беспилотных летательных аппаратов, особенно в пожароопасный период и привлекать виновных к ответственности. О случаях возгорания сухой придорожной растительности следует сообщать в Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС России).

<sup>5</sup> СанПиН 2.1.3684-21. Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий.

<sup>6</sup> Общественно-политическая газета «Областная». Иркутск на первом месте в регионе по поджогам сухой травы. URL: <https://www.ogirk.ru/2020/04/27/irkutsk-na-pervom-meste-v-regione-po-podzhogam-suhoy-travy/> (дата обращения: 10.10.2023).

### Список литературы

- [1] *Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.* Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.
- [2] *Алексеевко В.А., Алексеенко А.В.* Химические элементы в геохимических системах. Кларк почв селитебных ландшафтов: монография. Ростов н/Д: Изд-во Южного федерального университета, 2013. 380 с.
- [3] *Jin Y., Luan Y., Ning Y., Wang L.* Effects and mechanisms of microbial remediation of heavy metals in soil: a critical review // *Applied Science*. 2018. № 8(8). P. 1336. <http://doi.org/10.3390/app8081336>
- [4] *Макаренко В.П., Фетисов Д.М., Жучков Д.В.* Изучение растительного покрова малых и средних городов России: современное состояние // *Региональные проблемы*. 2022. Т 25. № 1. С. 3–15. <http://doi.org/10.31433/2618-9593-2022-25-1-3-15>
- [5] *Kumar P, Fulekar M.H.* Rhizosphere Bioremediation of Heavy Metals (Copper and Lead) by *Cenchrus ciliaris* // *Res. J. Environmental Science*. 2018. № 12. P. 166–176.
- [6] *Новикова С.А.* Оценка загрязнения почв придорожных территорий Иркутской агломерации // *Материалы XX Межрегиональной молодежной научно-практической конференции «Российская цивилизация: история, проблемы, перспективы» (15 апреля 2018 г.)*. Иркутск: ИрНИТУ, 2018. С. 248–253.
- [7] *Новикова С.А.* Содержание тяжелых металлов в почвах придорожных зон Иркутской агломерации // *XXV рабочая группа «Аэрозоли Сибири» (27–30 ноября 2018 г.)*. Томск: Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, 2018. С. 25–26.
- [8] *Новикова С.А.* Показатели содержания тяжелых металлов в почвах и растительности придорожных полос Иркутской области / *Свидетельство о регистрации базы данных RU 2017621197, 16.10.2017. Заявка № 2017620941 от 24.08.2017.*
- [9] *Седых Е.С.* Геохимия основных типов почв Приангарья: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Иркутск, 2003. 22 с.

### Сведения об авторе:

*Новикова Светлана Александровна*, старший преподаватель кафедры техносферной безопасности, Иркутский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация, 664074, Иркутск, ул. Чернышевского, д. 15. ORCID: 0000-0003-2534-3379. eLIBRARY SPIN-код: 8593-1545. E-mail: [eco-science@mail.ru](mailto:eco-science@mail.ru)