

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2022

Читать  
онлайн  
Read  
onlineМарцев А.А.<sup>1</sup>, Селиванов О.Г.<sup>1</sup>, Трифонова Т.А.<sup>2</sup>

## Оценка почвы придорожной территории автодороги Р72 по содержанию тяжёлых металлов и мышьяка

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», 600000, Владимир, Россия;<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», 119991, Москва, Россия

**Введение.** В работе представлены исследования по оценке уровня загрязнения автотранспортом почвы придорожной территории нового участка реконструированной автодороги.

**Материалы и методы.** Объектом исследования являлась почва придорожной территории нового участка автомобильной трассы регионального значения Владимир – Муром – Арзамас (Р72). Учётный номер на территории Владимирской области 17Р-1.

**Результаты.** Установлено, что с пуском нового участка реконструированной автодороги придорожная территория подверглась значительному загрязнению тяжёлыми металлами (ТМ) и мышьяком, что обусловлено воздействием газовой выхлопной системы проходящего автотранспорта. Газовоздушные выбросы автотранспорта увеличивают в почве содержание частиц техногенного магнетита, которые повышают величину её магнитной восприимчивости. Агрегация частицами магнетита тяжёлых металлов и их сорбция способствуют накоплению тяжёлых металлов в почве придорожной территории. При удалении от автодороги содержание тяжёлых металлов и мышьяка в почве снижается. Показатель накопления ТМ и мышьяка в почве придорожной территории возрастает в ряду: Zn → Ni → As → Cu → Pb. К концу года эксплуатации нового участка реконструированной автодороги выявлено превышение ПДК по свинцу и мышьяку, а содержание Zn и Cu в придорожной почве близко к значениям ПДК.

**Ограничения исследования.** Ограничения исследования связаны с удалённостью точек отбора проб относительно дорожного полотна и небольшим количеством реперных участков, что ограничивает возможности более широкой интерпретации полученных данных.

**Заключение.** Необходимо организовать санитарно-гигиенический мониторинг почвы, подверженной постоянному воздействию и накоплению ТМ, с целью выявления превышений ПДК и ОДК и принять меры по защите данных территорий.

**Ключевые слова:** загрязнение; почва; тяжёлые металлы; магнитная восприимчивость

**Соблюдение этических стандартов.** Исследование не требует заключения комитета по биомедицинской этике.

**Для цитирования:** Марцев А.А., Селиванов О.Г., Трифонова Т.А. Оценка почвы придорожной территории автодороги Р72 по содержанию тяжёлых металлов и мышьяка. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(7): 730-735. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-7-730-735> <https://www.elibrary.ru/aaajbj>

**Для корреспонденции:** Марцев Антон Андреевич, канд. биол. наук, доцент кафедры биологии и экологии ФГБОУ ВО «ВлГУ им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», 600000, Владимир. E-mail: MartsevAA@yandex.ru

**Участие авторов:** Марцев А.А. – концепция и дизайн исследования, сбор материала и обработка данных, статистическая обработка, написание текста; Селиванов О.Г. – лабораторные исследования, обработка данных, написание текста; Трифонова Т.А. – концепция и дизайн исследования, написание и редактирование текста. Все авторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

**Финансирование.** Исследование не имело финансовой поддержки.

Поступила: 22.11.2021 / Принята к печати: 08.06.2022 / Опубликована: 31.07.2022

Anton A. Martsev<sup>1</sup>, Oleg G. Selivanov<sup>1</sup>, Tatyana A. Trifonova<sup>2</sup>

## Evaluation of the roadside soil of the P72 highway by the content of heavy metals and arsenic

<sup>1</sup>Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, 600000, Russian Federation;<sup>2</sup>Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119991, Russian Federation

**Introduction.** The paper presents studies on the assessment of the level of pollution by motor vehicles of the soil of the roadside territory of the new section of the reconstructed highway.

**Materials and methods.** The object of the study was the soil of the roadside territory of the new section of the highway of regional significance “Vladimir-Murom-Arzamas” (P72). The registration number in the territory of the Vladimir region is 17P-1.

**Results.** It was found that with the launch of a new section of the reconstructed highway, the roadside area was found to be significantly contaminated with heavy metals and arsenic due to the impact of gas-air emissions of passing vehicles. Gas-air emissions of motor vehicles increase the content of technogenic magnetite particles in the soil, which increase the magnitude of the magnetic susceptibility of soils. Aggregation of heavy metals (HM) by magnetite particles and their sorption contributes to the accumulation of HM in the soil of the roadside area. When moving away from the highway, the content of heavy metals and arsenic in the soil of the roadside area decreases. The indicator of accumulation of HM and arsenic in the soil of the roadside area increases in the series: Zn → Ni → As → Cu → Pb. By the end of the year of operation of the new section of the reconstructed highway, the excess of the MPC for lead and arsenic was revealed, and the content of Zn and Cu in the roadside soil is close to the values of the MPC.

**Limitations.** The limitations of the study are related to the remoteness of sampling points relative to the roadway and a small number of reference sites, which limits the possibilities of a broader interpretation of the data obtained.

**Conclusion.** To prevent the current dangerous trend, it is necessary to manage sanitary and hygienic monitoring of the soil of the roadside area exposed to constant exposure and accumulation of HM, in order to detect exceedances of the MPC and UEC and take measures to protect these territories.

**Keywords:** Pollution; soil; heavy metals; magnetic susceptibility

**Compliance with ethical standards.** This study does not require the conclusion of a biomedical ethics committee or other documents.

**For citation:** Martsev A.A., Selivanov O.G., Trifonova T.A. Evaluation of the roadside soil of the P72 highway by the content of heavy metals and arsenic. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(7): 730-735. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-7-730-735> <https://elibrary.ru/aaajbj> (in Russian)

**For correspondence:** Anton A. Martsev, MD, PhD, lecturer of the department of biology and ecology, Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, 600000, Russian Federation. E-mail: MartsevAA@yandex.ru

**Information about authors:**

Martsev A.A., <https://orcid.org/0000-0002-3572-9163> Selivanov O.G., <https://orcid.org/0000-0003-3674-0660> Trifonova T.A., <https://orcid.org/0000-0002-1628-9430>

**Contribution:** Martsev A.A. — the concept and design of the study, collection and processing of material, writing a text; Selivanov O.G. — laboratory research, data processing, text writing; Trifonova T.A. — the concept and design of the study, text writing. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Acknowledgement.** The study had no sponsorship.

Received: November 11, 2021 / Accepted: June 08, 2022 / Published: July 31, 2022

## Введение

Наиболее опасными загрязнениями придорожных территорий являются соединения тяжёлых металлов (ТМ), которые поступают в почву преимущественно в результате газовых выбросов автомобильного транспорта. Интенсивное движение автомобильного транспорта приводит к активному загрязнению ТМ почв придорожных территорий, в зону которых нередко попадают населённые пункты и сельскохозяйственные угодья. В результате возникает угроза здоровью местного населения и животных [1–3].

Во Владимирской области, характеризующейся разветвлённой сетью автомобильных дорог, установлено увеличение по сравнению с фоновым значением концентрации свинца в пахотном слое почв сельскохозяйственного назначения 13 из 16 административных районов [4]. Данное обстоятельство с высокой долей вероятности увязывается с антропогенным характером загрязнения, в частности с загрязнением атмосферного воздуха автотранспортом и стационарными промышленными предприятиями [5].

Известно, что большая часть ТМ характеризуется малой подвижностью и высокой способностью к аккумуляции их живыми организмами и депонирующими средами [6]. С автомобильными выбросами в почву придорожных территорий попадают техногенные магнитные частицы, с которыми часто агрегированы ТМ [7]. В почве ТМ сорбируются на поверхности частиц техногенного магнетита, что способствует их накоплению [8]. В результате длительного воздействия ТМ на почвенные микробиоценозы происходит угнетение протекающих в них биохимических процессов, и, как следствие, ухудшается экологическое состояние данных территорий.

Ввиду вышеизложенного мониторинговые исследования почв, подверженных техногенному воздействию, на предмет оценки уровня их загрязнения ТМ являются весьма актуальными.

Влияние техногенной нагрузки, обусловленной работой автотранспорта, на почвенный покров придорожной территории можно оценить и при помощи такого показателя, как магнитная восприимчивость (МВ) почв. МВ — физическая величина, отражающая способность почвенного вещества менять магнитный момент при воздействии внешнего магнитного поля. МВ почв определяется прежде всего содержанием магнитной фракции, под которой понимается минеральная часть почвы, состоящая преимущественно из ферромагнитных минералов железа (магнетит и др.).

Обогащение почвы техногенным магнетитом (оксидом железа  $Fe_3O_4$ ) вследствие газовоздушных выбросов автомобильного транспорта, содержащих его частицы, а также в результате работы тормозных систем автомобилей, износа двигателя и коррозии металлических частей корпуса автомобиля значительно повышает величину МВ придорожных почв. При этом уровень МВ почв во многом определяется и интенсивностью движения автотранспорта [9]. В почву в основном попадают крупные магнитные частицы многодоменного строения в виде агрегатов. С этими магнетитоподобными частицами часто агрегированы ТМ: медь, свинец, цинк, выделяющиеся при сжигании топлива, истирании шин и т. д. [10].

В настоящее время в России в рамках национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги» возводятся новые автомобильные участки различного административного значения. В связи с этим представляется возможным проведение мониторинговых исследований экологического состояния почв придорожных территорий для определения исходного уровня загрязнения с целью изучения в дальнейшем динамики накопления в них ТМ и оценки их опасности.

*Цель исследования* — оценка уровня загрязнения почвы придорожной территории нового участка автомобильной трассы ТМ и мышьяком, а также изучение возможности использования показателя МВ почв в качестве индикатора при техногенном загрязнении.

## Материалы и методы

Объектом исследования являлась почва придорожной территории нового участка автомобильной трассы регионального значения Владимир — Муром — Арзамас (Р72). Учётный номер на территории Владимирской области 17Р-1.

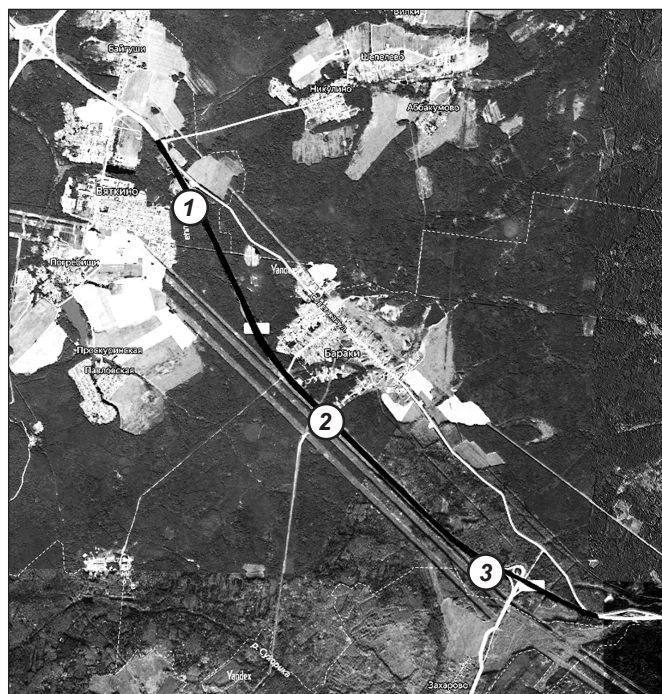
До проведения новых строительных работ данная автотрасса проходила через деревню Бараки Судогодского района Владимирской области. С начала двухтысячных годов в результате ввода в эксплуатацию транспортного обхода города Муром через деревню Бараки резко увеличился поток проходящих транзитных автомобилей — более чем на 5 тыс. в сутки (до 15 тыс. автомобилей в сутки).

В ноябре 2019 г. в рамках реконструкционных работ автотрассы Владимир — Муром — Арзамас запущен транспортный обход деревни Бараки протяжённостью около 10 км. Стоит отметить, что строительство началось в 2016 г., а участок дороги получил статус скоростной трассы (категория 1-Б). Здесь отсутствуют жилые и производственные строения, нет автомобильных заправочных станций, рядом нет крупных промышленных предприятий, а ближайший населённый пункт — деревня Бараки — находится в 5 км. Поэтому мониторинговые исследования уровня загрязнения ТМ и мышьяком, обусловленного исключительно газовоздушными выбросами транзитного автотранспорта, придорожной территории данного участка трассы позволяют произвести прогноз потенциальной экологической опасности воздействия аэрополлютантов на состояние почвенного покрова.

Настоящее исследование начато с момента запуска нового участка автотрассы в ноябре 2019 г. Продолжительность исследования составила 1 год. Было выполнено три отбора проб почвы (ноябрь 2019 г., апрель 2020 г. и ноябрь 2020 г.).

Схема участка автодороги и реперные участки отбора проб представлены на рисунке. Отбор проб почв проводили на расстоянии 5 и 50 м от дороги из горизонта 0–10 см методом конверта в трёх повторностях.

Почва в районе исследования характеризуется как дерново-подзолистая супесчаная с содержанием 10–20% физической глины (< 0,01 мм) и гумуса — 1,89%. Кислотность почвы находится в диапазоне 5,1–6,0, что характеризует её как слабокислую. Известно, что супесчаные почвы являются наименее устойчивыми к загрязнению ТМ за счёт низкой буферной способности, которая определяется прежде всего гранулометрическим составом и кислотно-основными свойствами данной литогеохимической группы почв.



Реперные участки отбора проб почв.

Reference sites of soil sampling.

Определение содержания ТМ и мышьяка ( $C_i$ ) проводили рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре «СПЕКТРОСКАН МАКС-G» в соответствии с ПНД Ф 16.1.42-04<sup>1</sup>.

Для оценки уровня загрязнения почв ТМ и мышьяком использованы показатель накопления ( $P_n$ ) и коэффициент опасности ( $K_o$ ).

Показатель накопления ( $P_n$ ) ТМ и мышьяка рассчитывали по формуле:

$$P_n = \frac{C_i - C_\phi}{C_\phi},$$

где  $C_i$  – концентрация металла и мышьяка в почве, мг/кг;  $C_\phi$  – фоновое содержание ТМ и мышьяка в почве, мг/кг.

Значения фоновых концентраций ТМ и мышьяка в почве получены из письма Министерства охраны окружающей среды и природных ресурсов Российской Федерации от 07.12.1993 г. № 04-25 «О порядке определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами».

Коэффициент опасности ТМ и мышьяка рассчитывали по формуле:

$$K_o = \frac{C_i}{ПДК_i},$$

где  $C_i$  – концентрация металла и мышьяка в почве, мг/кг;  $ПДК_i$  – предельно допустимая концентрация ТМ и мышьяка в почве, мг/кг.

ПДК ТМ и мышьяка в почве ( $ПДК_i$ ) определены согласно СанПиН 1.2.3685-21<sup>2</sup>.

Определение объёмной магнитной восприимчивости почвы проводили при помощи каппаметра КТ-6 с чувстви-

<sup>1</sup> ПНД Ф 16.1.42-04 Методика выполнения измерений массовой доли металлов и оксидов металлов в порошковых пробах почв методом рентгенофлуоресцентного анализа. Издание 2010 г.

<sup>2</sup> «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.01.2021 г. № 2. Зарегистрированы Министерством юстиции Российской Федерации и вступают в силу с 1 марта 2021 г. Срок действия определен до 1 марта 2027 г.

Таблица 1 / Table 1

### Динамика изменения загрязнения тяжёлыми металлами и мышьяком почвы придорожной территории нового участка автотрассы на протяжении 1 года

Trend in changes in soil pollution with heavy metals and arsenic in the roadside area of the new section of the highway over 1 year

Место отбора пробы Sampling area	Период отбора проб Sampling period	Расстояние от автотрассы, м Distance from the highway, m	Содержание ТМ и мышьяка, мг/кг Content of heavy metals (HM) and arsenic, mg/kg				
			Pb	As	Zn	Cu	Ni
1	Ноябрь 2019 November 2019	25	36.6	4.8	48.2	37.2	16.5
		50	31.3	2.6	37.4	23.8	14.2
	Апрель 2020 April 2020	25	38.4	5.9	57.1	48.3	24.1
		50	33.2	4.0	46.2	36.7	20.0
	Ноябрь 2020 November 2020	25	44.5	7.8	64.1	61.8	58.2
		50	39.4	4.1	48.7	59.3	51.6
2	Ноябрь 2019 November 2019	25	34.2	3.6	36.5	32.9	15.3
		50	31.8	3.1	33.4	21.7	13.1
	Апрель 2020 April 2020	25	43.1	7.0	56.8	57.3	27.7
		50	37.5	6.1	39.4	31.9	23.6
	Ноябрь 2020 November 2020	25	58.2	7.3	73.9	59.3	52.8
		50	50.6	6.6	68.3	42.1	41.6
3	Ноябрь 2019 November 2019	25	38.7	4.5	40.1	32.4	14.3
		50	32.4	3.1	36.7	18.9	11.2
	Апрель 2020 April 2020	25	40.7	7.8	48.8	51.1	27.8
		50	36.6	3.5	40.2	37.4	25.4
	Ноябрь 2020 November 2020	25	55.8	8.5	81.2	61.9	42.2
		50	44.1	5.7	68.7	48.4	35.8
Фоновые значения, мг/кг Background values, mg/kg			6	1.5	28	8	6
ПДК, мг/кг (МРС, mg/kg)			32	2	55	33	20

тельностью прибора  $1 \cdot 10^{-5}$  единиц СИ. Замеры проводили в местах отбора проб почв, указанных на рисунке, на расстоянии 5; 25; 50 м от автотрассы.

Статистическую обработку данных проводили в программе Statistica.

## Результаты

Образцы почв исследованы на содержание следующих химических элементов: As, Cu, Ni, Pb, Zn.

Динамика загрязнения ТМ и мышьяком почвы придорожной территории нового участка автотрассы в течение 1 года эксплуатации представлена в табл. 1.

Содержание данных элементов возрастает в следующем ряду: As → Ni → Pb → Cu → Zn.

Для выявления приоритетных загрязнителей почвы использовали показатель накопления ( $P_n$ ) (табл. 2).

Показатель накопления ТМ и мышьяка в почве возрастает в ряду: Zn → As → Cu → Ni → Pb.

Для оценки уровня загрязнения почвенного покрова придорожной территории отдельными поллютантами проведён расчёт коэффициентов опасности ( $K_o$ ) каждого из них (табл. 3).

Использование данных индикации магнитной восприимчивости в анализе техногенной трансформации

Таблица 2 / Table 2

**Показатель накопления ( $P_H$ ) ТМ и мышьяка (%) в почве придорожной территории нового участка автотрассы**  
**Indicator of accumulation ( $Mon$ ) of HM and arsenic (%) in the soil of the roadside territory of the new section of the highway**

Период отбора проб Sampling period	Место отбора проб Sampling area	Расстояние от автотрассы, м Distance from the highway, m	Pb	As	Zn	Cu	Ni
Ноябрь 2019 November 2019	1	25	5.1	2.2	0.72	3.65	1,75
		50	4.22	0.73	0.34	1.98	1,37
	2	25	4.70	1.40	0.30	3.11	1,55
		50	4.30	1.07	0.19	1.71	1,18
	3	25	5.45	2.00	0.43	3.05	1,38
		50	4.40	1.07	0.31	1.36	0,87
Σср $P_H$ The average value of the accumulation indicator		25	5,08	1.87	0.49	3.27	1.56
		50	4,31	0.96	0.28	1.68	1.14
Апрель 2020 April 2020	1	25	5.40	2.93	1.04	5.04	3,02
		50	4.53	1.67	0.65	3.59	2,33
	2	25	6.18	3.67	1.03	6.16	3,62
		50	5.25	3.07	0.41	2.99	2,93
	3	25	5.78	4.20	0.74	5.39	3,63
		50	5.10	1.33	0.44	3.68	3,23
Σср $P_H$ The average value of the accumulation indicator		25	5,79	3.60	0.94	5.53	3.42
		50	4,96	2.02	0.50	3.42	2.83
Ноябрь 2020 November 2020	1	25	6.42	4.20	1.29	6.73	8,70
		50	5.57	1.73	0.74	6.41	7,60
	2	25	8.70	3.87	1.64	6.41	7,80
		50	7.43	3.40	1.44	4.26	5,93
	3	25	8.30	4.67	1.90	6.74	6,03
		50	6.35	2.80	1.45	5.05	4,97
Σср $P_H$ The average value of the accumulation indicator		25	7,81	4.24	1.61	6.63	7.51
		50	6,45	2.64	1.21	5.24	6.17

Таблица 3 / Table 3

**Коэффициент опасности ( $K_O$ ) ТМ и мышьяка в почве придорожной территории нового участка автотрассы**  
**The hazard coefficient ( $C_O$ ) of HM and arsenic in the soil of the roadside territory of the new section of the highway**

Период отбора проб Sampling time	Место отбора проб Sampling area	Расстояние от автотрассы, м Distance from the highway, m	Pb	As	Zn	Cu	Ni
Ноябрь 2019 November 2019	1	25	1.14	2.4	0.65	0.67	0,19
		50	0.97	1.3	0.50	0.52	0,17
	2	25	1.06	1.8	0.49	0.59	0,18
		50	0.99	1.55	0.45	0.39	0,15
	3	25	1.2	2.25	0.54	0.58	0,17
		50	1.01	1.55	0.49	0.34	0,13
Среднее значение $K_O$ по трём точкам отбора The average value of the hazard coefficient for the three selection points		25	1,13	2.15	0.56	0.61	0.18
		50	0,99	1.46	0.48	0.41	0.15
Апрель 2020 April 2020	1	25	1.2	2.95	0.77	0.87	0,28
		50	1.03	2.0	0.62	0.66	0,23
	2	25	1.34	3.5	0.76	1.04	0,32
		50	1.17	3.05	0.53	0.71	0,28
	3	25	1.27	3.9	0.65	0.88	0,33
		50	1.14	1.75	0.54	0.73	0,30
Среднее значение $K_O$ по трём точкам отбора The average value of the hazard coefficient for the three selection points		25	1,27	3.45	0.72	0.93	0.31
		50	1,11	2.26	0.56	0.70	0.27
Ноябрь 2020 November 2020	1	25	1.39	3.9	0.87	1.12	0,68
		50	1.23	2.05	0.65	1.07	0,60
	2	25	1.81	3.65	0.99	1.08	0,62
		50	1.58	3.3	0.92	0.76	0,49
	3	25	1.74	4.25	1.09	1.12	0,49
		50	1.37	2.85	0.92	0.88	0,42
Среднее значение $K_O$ по трём точкам отбора The average value of the hazard coefficient for the three selection points		25	1,64	3.93	0.98	1.10	0.59
		50	1,39	2.73	0.83	0.90	0.50

Таблица 4 / Table 4

**Результаты измерений магнитной восприимчивости почвы придорожной территории**  
**The results of measurements of the magnetic susceptibility of the soil of the roadside territory**

	Место определения магнитной восприимчивости								
	Place of determination of magnetic susceptibility								
	1			2			3		
Расстояние от автодороги, м Distance from the highway, m	5	25	50	5	25	50	5	25	50
Магнитная восприимчивость (МВ), $MB \cdot 10^{-3}$ СИ Magnetic susceptibility (MS), $MS \cdot 10^{-3}$ SI	0.23	0.08	0.01	0.27	0.07	0.02	0.28	0.06	0.01

поверхностных горизонтов почв придорожной территории может дополнить общую картину накопления и распределения ТМ в почве и дать правильную оценку уровня загрязнения. Результаты измерений МВ представлены в табл. 4.

### Обсуждение

Согласно ГОСТ 17.4.1.02-83<sup>3</sup>, устанавливающему классификацию химических веществ антропогенного происхождения по степени опасности, обнаруженные Pb, Zn и As относятся к высокоопасным химическим элементам, а Cu, и Ni – к умеренно опасным. Из табл. 1 видно, что при удалении от автодороги содержание ТМ и мышьяка в почве придорожной территории снижается.

Анализ таблицы показывает, что за период наблюдений произошло накопление в почве придорожной территории свинца и мышьяка. Наибольший показатель накопления в почве – у свинца. Это подтверждает, что Pb является приоритетным поллютантом газовоздушных выбросов автотранспорта, но нельзя однозначно утверждать, что он является и самым опасным для почвы придорожной территории, так как в почве Pb способен образовывать прочные соединения с органическими лигандами, комплексы, которые становятся гораздо менее опасными для живых организмов, чем ионы металла [11].

По показателю накопления Zn занимает в указанном ряду последнее место, тем не менее его накопление за 1 год достигло практически фоновых значений. Техногенный Zn в супесчаных почвах в значительной степени закрепляется с помощью гидроксидов железа, фосфатов, входит в состав филлосиликатов [12, 13]. Миграция Zn в такой форме затруднена, он малоподвижен, выноса его растениями или промывными водами не происходит, поэтому идёт его накопление в почве.

В течение года наблюдалось и увеличение показателей накопления остальных ТМ, что обусловлено спецификой дерново-подзолистой супесчаной почвы, имеющей слабосильные значения почвенного раствора, низкую буферность и сорбционную способность (невысокое содержание илстых частиц и гумуса, гидроксидов железа и оксидов марганца) и, как следствие, низкую способность к самоочищению.

Средние показатели  $K_0$  в исследуемой придорожной почве на расстоянии 50 м от дороги к концу года имеют значения по свинцу и мышьяку 1,39 и 2,73 соответственно, что говорит о значительном превышении предельно допустимых концентраций для этих загрязнителей. Содержание Zn и Cu в почве к концу года эксплуатации нового участка автодороги почти достигло значений ПДК. Следует отметить, что загрязнение почв до уровней ниже нормативов ПДК и ОДК в России по природоохранному законодательству не фиксируется и не влечёт за собой ответственности. Однако в течение ближайших трёх лет ПДК этих металлов могут быть значительно превышены, что с учётом темпов загрязнения

данных почв в итоге может привести к реальной экологической опасности.

Наблюдается чёткая зависимость значений величин МВ от удалённости от автодороги. МВ почв наблюдается на расстоянии 5 м от автодороги, на расстоянии 25 м она резко снижается, что можно объяснить крупным размером агрегатных частиц техногенного магнетита, перенос которых воздушными массами сильно затруднён. Высокие значения МВ почвы на расстоянии 5 м от дорожного полотна на всём исследуемом участке автодороги свидетельствуют об относительно однородном плотном воздействии газовоздушных выбросов автомобильного транспорта и пылевых загрязняющих факторов на почвенный придорожный покров. На расстоянии 50 м от автодороги МВ минимальна и достигает фоновых значений.

Агрегация ТМ с частицами техногенного магнетита, а также сорбция ТМ магнитными техногенными частицами даёт возможность говорить о взаимосвязи процессов накопления и пространственного распределения данных поллютантов на придорожной территории. Механизм связи ТМ с МВ обусловлен, как показывает ряд исследований, сорбируемостью ТМ на поверхности частиц антропогенного магнетита [8, 14].

Содержание таких элементов, как As, Cu, Ni, Pb, Zn, Cr, и одновременно величины МВ достоверно снижались с удалённостью от дорожного полотна до 50 м. Таким образом, измерение величины МВ почвы позволяет определить положение максимума выпадения твёрдых аэрозольных техногенных частиц относительно дорожного полотна.

Анализ полученных результатов показывает, что техногенная нагрузка на почву, обусловленная аэрозольными техногенными выбросами от автомобильного транспорта, с удалением от дороги уменьшается и хорошо коррелирует с накоплением ТМ – их уменьшением по мере удаления от автодороги. Использование данных о МВ позволяет дать оценку степени трансформации почвенного покрова и при внесении магнитных частиц техногенного происхождения в почвы придорожных территорий.

### Заключение

В результате исследований установлено, что придорожная территория нового участка реконструированной автодороги подвергается загрязнению ТМ, такими как Pb, Cu, Zn, Ni, и металлоидом As в результате воздействия газовоздушных выбросов проходящего автотранспорта. Показатель накопления ТМ и мышьяка в почве придорожной территории возрастает в ряду: Zn → As → Cu → Ni → Pb. К концу первого года эксплуатации нового участка реконструированной автодороги выявлено превышение ПДК по свинцу и мышьяку, а содержание Zn и Cu в придорожной почве близко к значениям ПДК. Уровень МВ почв снижается с удалением от дороги, что хорошо коррелирует с содержанием ТМ – снижением их концентраций по мере удаления от автодороги. Данные замеров МВ почвенного покрова позволяют оперативно определить положение максимума выпадения твёрдых аэрозольных частиц относительно дорожного полотна.

<sup>3</sup> Межгосударственный стандарт ГОСТ 17.4.1.02-83 «Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения» (введён в действие постановлением Госстандарта СССР от 17 декабря 1983 г. № 6107).

Рекомендуется организовать санитарно-гигиенический мониторинг почвы придорожной территории, подверженной постоянному техногенному воздействию и накоплению ТМ и мышьяка, с целью выявления превышений ПДК и ОДК данных ТМ; принять меры по защите придорожных

территорий путём введения ограничений на передвижение старого автотранспорта, перевода автотранспорта на газомоторное топливо и топливо стандарта Евро-5, увеличения доли автотранспорта с электрическим приводом и гибридного автотранспорта.

## Литература

(п.п. 6, 8–10, 12–14 см. References)

1. Трифонова Т.А., Подолец А.А., Селиванов О.Г., Марцев А.А., Подолец А.А. Оценка загрязнения почв рекреационных территорий промышленного города соединениями тяжёлых металлов и мышьяка. *Теоретическая и прикладная экология*. 2018; (2): 94–101. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2018-2-094-101/1>
2. Тимофеева Я.О. Роль железомарганцевых конкреций в накоплении тяжёлых металлов в почвах участков, прилегающих к автотрассе. *Известия Иркутского государственного университета. Серия: Биология. Экология*. 2013; 6(3): 94–9.
3. Трифонова Т.А., Марцев А.А. Оценка влияния загрязнения атмосферного воздуха на заболеваемость населения Владимирской области. *Гигиена и санитария*. 2015; 94(4): 14–8.
4. Комаров В.И., Селиванов О.Г., Марцев А.А., Подолец А.А., Лукьянов С.Н. Содержание тяжёлых металлов в пахотном горизонте почв сельскохозяйственного назначения Владимирской области. *Агрохимия*. 2019; (12): 75–82. <https://doi.org/10.1134/S0002188119100089>
5. Трифонова Т.А., Марцев А.А., Селиванов О.Г. Газовоздушные выбросы стеклотарного производства как фактор риска здоровью населения. *Теоретическая и прикладная экология*. 2020; (4): 155–61. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-4-155-161>
7. Водяницкий Ю.Н., Шоба С.А. Магнитная восприимчивость как индикатор загрязнения тяжёлыми металлами городских почв (обзор литературы). *Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение*. 2015; (1): 13–20.
11. Водяницкий Ю.Н. Нормативы содержания тяжёлых металлов и металлоидов в почвах. *Почвоведение*. 2012; (3): 368–75.

## References

1. Trifonova T.A., Podolets A.A., Selivanov O.G., Martsev A.A., Podolets A.A. Assessment of soil contamination in the recreational areas of the city by the industrial compounds of heavy metals and arsenic. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. 2018; (2): 94–101. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2018-2-094-101/1> (in Russian)
2. Timofeeva Ya.O. The role of iron-manganese nodules in accumulation of heavy metals in the soils of areas adjacent to motorway. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Biologiya. Ekologiya*. 2013; 6(3): 94–9. (in Russian)
3. Trifonova T.A., Martsev A.A. A assessment of the impact of air pollution on population morbidity rate in the Vladimir region. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2015; 94(4): 14–8. (in Russian)
4. Komarov V.I., Selivanov O.G., Martsev A.A., Podolets A.A., Lukyanov S.N. Heavy metals contamination in arable horizon of soils of agricultural appointment of the Vladimir region. *Agrokhimiya*. 2019; (12): 75–82. <https://doi.org/10.1134/S0002188119100089> (in Russian)
5. Trifonova T.A., Martsev A.A., Selivanov O.G. Gas-air emissions from glass container production as a risk factor for public health. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. 2020; (4): 155–61. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-4-155-161> (in Russian)
6. Kabata-Pendias A., Pendias H. *Trace Elements in Soils and Plants*. Boca-Raton-London-New-York-Washington: CRC Press; 2001.
7. Vodyanitskiy Yu.N., Shoba S.A. Magnetic susceptibility as an indicator of heavy metal contamination of urban soils. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 17. Pochvovedenie*. 2015; (1): 13–20. (in Russian)
8. Lu S.G., Bai S.Q., Fu L.X. Magnetic properties as indicator of Cu and Zn contamination in soils. *Pedosphere*. 2008; (18): 479–85. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(08\)60038-7](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(08)60038-7)
9. Bučko M.S., Magiera T., Pesonen L., Janus B. Magnetic, geochemical, and microstructural characteristics of road dust on roadsides with different traffic volumes — case study from Finland. *Water Air Soil Pollut.* 2010; (09): 95–306. <https://doi.org/10.1007/s11270-009-0198-2>
10. Bučko M.S., Magiera T., Johanson B., Petrovský E., Pesonen L.J. Identification of magnetic particles in road dust snow using magnetic, geochemical and micromorphological analyses. *Environ. Pollut.* 2011; (159): 1266–76. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.01.030>
11. Vodyanitskiy Yu.N. Standards for the content of heavy metals and metalloids in soils. *Pochvovedenie*. 2012; (3): 368–75. (in Russian)
12. Manceau A., Marcus M.A., Tamura N., Prous O., Geoffroy N., Lanson B. Natural speciation of Zn at the micrometer scale in a clay soil using X-ray fluorescence, absorption, and diffraction. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 2004; (68): 2467–83. [https://doi.org/10.1016/S0016-7037\(03\)00883-4](https://doi.org/10.1016/S0016-7037(03)00883-4)
13. Wang Q., Dong Y., Cui Y., Liu X. Instances of soil and crop heavy metals contamination in China. *Soil Sediment. Contam.* 2001; (10): 497–510. <https://doi.org/10.1080/20015891109392>
14. Jordanova D., Goddu S.R., Kotsev T., Jordanova N. Industrial contamination of alluvial soils near mining site revealed by magnetic and geochemical studies. *Geoderma*. 2013; 192: 237–48.