



Марцев А.А., Селиванов О.Г.

## Оценка почв придорожной территории участка федеральной трассы по содержанию тяжёлых металлов, мышьяка и фторид-ионов

ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», 600000, Владимир, Россия

**Введение.** Проведена гигиеническая оценка содержания фторид-ионов, тяжёлых металлов (ТМ) и мышьяка в почвах придорожной территории автомагистрали Рязань – Волгоград.

**Материалы и методы.** Оценка производилась по результатам отбора образцов почв с 11 участков вдоль автомагистрали Рязань – Волгоград на всей её протяжённости на расстояниях 20 и 50 м от дорожного полотна. Для оценки влияния автотранспорта на загрязнение почвы придорожной территории и исключения промышленных источников загрязнения отбор образцов почв производили вне населённых пунктов и промышленных зон городов.

**Результаты.** Установлено, что содержание водорастворимого фтора в исследуемых почвах находится в интервале значительно ниже значений предельно допустимой концентрации. С удалением от автомагистрали концентрация фтора в почве уменьшается, что говорит о его аэрогенном происхождении. Согласно санитарным нормам, содержание фтора соответствует допустимому уровню. Показатель накопления ТМ и мышьяка в почве придорожной территории возрастает в ряду: As → Ni → Zn → Pb → Cu. Медь (Cu) имеет максимальный показатель накопления, он находится в пределах от 1,24 до 4,34 в зависимости от типов почв придорожной территории. Накопление таких загрязнителей, как Pb, Zn, отмечено на участках придорожной территории, представленных чернозёмами южными и тёмно-каштановыми остаточно-карбонатными типами почв. Наибольшие коэффициенты опасности имеют As на чернозёмах южных, Cu и Ni – на серых лесных почвах придорожной территории федеральной трассы.

**Ограничения исследования.** Ограничения исследования связаны с разовым отбором проб и небольшим количеством реперных участков, что ограничивает возможности более широкой интерпретации полученных данных для определения тенденций загрязнения почв придорожных территорий.

**Заключение.** При одной и той же техногенной нагрузке на придорожную территорию, обусловленной движением проходящего автомобильного транспорта, способность к самоочищению у различных типов почв может значительно отличаться. На тех участках придорожной территории, где идёт накопление ТМ, необходима организация постоянного эколого-гигиенического мониторинга и проведение мероприятий по ремедиации почвы.

**Ключевые слова:** федеральная трасса; загрязнение; почва; фтор; тяжёлые металлы; мышьяк

**Соблюдение этических стандартов:** исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

**Для цитирования:** Марцев А.А., Селиванов О.Г. Оценка почв придорожной территории участка федеральной трассы по содержанию тяжёлых металлов, мышьяка и фторид-ионов. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(3): 275–280. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-3-275-280>

**Для корреспонденции:** Марцев Антон Андреевич, канд. биол. наук, доцент кафедры биологии и экологии ВлГУ, 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. Все соавторы – 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 спонсорской поддержки

Поступила: 04.08.2021 / Принята: 25.11.2021 / Опубликована: 08.04.2022

Anton A. Martsev, Oleg G. Selivanov

## Evaluation of soils of the roadside territory area of the federal highway on the maintenance of heavy metals, arsenic and fluoride ions

Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletov, Vladimir, 600000, Russian Federation

**Introduction.** A hygienic assessment of the fluoride ions, heavy metals (HM) and arsenic content in the soils of the roadside area of the Rязань-Volgograd highway was carried out.

**Materials and methods.** The assessment was based on the results of soil sampling from 11 sites over the Rязань-Volgograd highway along its entire length at distances of 20 and 50 m from the roadbed. To assess the impact of vehicles on roadside soil pollution and exclude industrial sources of pollution, soil samples were taken outside settlements and industrial zones of cities.

**Results.** The content of water-soluble fluorine in the studied soils was found to vary in the range significantly lower than the values of the maximum permissible concentration. With distance from the highway, the concentration of fluorine in the soil decreases, indicates its aerogenic origin. According to sanitary standards, its content corresponds to the permissible level. The accumulation index of HM and arsenic in the soil of the roadside area increases in the order: As → Ni → Zn → Pb → Cu. Cu has the maximum accumulation index, which varies from 1.24 to 4.34, depending on the soil types of the roadside territory. The accumulation of such pollutants as Pb, Zn was noted in the roadside areas represented by southern chernozems and dark chestnut residual calcareous soil types. The highest hazard coefficients are related to As on southern chernozems; Cu and Ni – on gray forest soils of the roadside territory of the federal highway.

**Limitations.** The limitations of the study are associated with one-time sampling and a small number of reference sites, which limits the possibilities of a broader interpretation of the data obtained to determine trends in soil pollution of roadside areas.

**Conclusion.** *With the same technogenic load on the roadside area caused by the movement of passing motor vehicles, the self-cleaning ability of different soil types can differ significantly. On those parts of the roadside area where heavy metals are accumulating, it is necessary to organize constant environmental and hygienic monitoring and carry out measures for soil remediation.*

**Keywords:** *federal highway; pollution; soil; fluorine; heavy metals; arsenic*

**Compliance with ethical standards.** *The study does not require the submission of the conclusion of the Biomedical ethics committee or other documents.*

**For citation:** Martsev A.A., Selivanov O.G. Evaluation of soils of the roadside territory area of the federal highway on the maintenance of heavy metals, arsenic and fluoride ions. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(3): 275–280. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-3-275-280> (In Russian)

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

**Information about the authors:**

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

**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. *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: August 4, 2021 / Accepted: November 25, 2021 / Published: April 08, 2022

## Введение

Из всех видов загрязнений, вызванных современными техногенными воздействиями, более половины (около 54%) занимают загрязнения от автомобильного транспорта, которые, по данным Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации, составляют около 14 млн тонн в год. Некоторые источники указывают цифру до 22 млн тонн в год [1]. Возросшая интенсивность автомобильного движения приводит к активному загрязнению почв придорожных территорий (в ряде случаев это сельскохозяйственные угодья, личные подсобные хозяйства) тяжёлыми металлами (ТМ) и мышьяком, которые являются наиболее опасными загрязнителями, поступающими в почву с выхлопными газами, вследствие износа тормозов и шин автотранспортных средств [2–5]. ТМ обладают малой подвижностью и высокой аккумулярующей способностью, что способствует их накоплению и длительному сохранению в почвах [6, 7].

Известно, что способность почв к аккумуляции ТМ или к самоочищению различна и зависит от ряда факторов, таких как гранулометрический и минералогический состав, содержание гумусовых веществ, рН и катионно-анионный состав, а также видовое разнообразие почвенных микроорганизмов, под действием которых происходит минерализация органических остатков и процесс гумусообразования, и т. д. Кроме того, ТМ, попадающие в почву, могут взаимодействовать с активной её фазой (глинистыми минералами, гидроксидами и оксидами железа и марганца, органическими веществами — гумусом, полисахаридами, пентаглицанами, анионными лигандами), вследствие чего способны менять активность, изменяя свою потенциальную опасность [8–10]. Поэтому при одинаковом качественном и количественном составе ТМ, попадающих в почву, их концентрация в почвах разных типов, а также потенциальная опасность могут быть различными.

Помимо ТМ значительную опасность представляет загрязнение почвы придорожной территории соединениями фтора и, в частности, фторид-ионами. Фтор относится к I классу высокотоксичных веществ. Из источников литературы известно, что автотранспорт может служить серьёзным источником загрязнения соединениями фтора придорожных почв и атмосферы [11]. При этом, согласно классификации А.И. Перельмана, фтор относится к сильным водным мигрантам [12], что способно привести к его попаданию в залегающие подземные горизонты воды, которые в свою очередь могут быть использованы в качестве источника питьевого водоснабжения, тем самым создавая угрозу здоровью проживающего населения [13].

Как было отмечено выше, одним из основных источников поступления в почвы ТМ, мышьяка и фторид-ионов является автомобильный транспорт, поэтому целью настоящей работы явилась оценка почв придорожных террито-

рий участка автомобильной трассы федерального значения Рязань — Волгоград по содержанию в них данных поллютантов.

## Материалы и методы

Автомобильная дорога, соединяющая города Рязань и Волгоград, является участком федеральной трассы Р-22. Она имеет протяжённость 798 км и проходит через ряд областных центров, а также через большое количество средних и небольших населённых пунктов. Выбор для исследования этой автотрассы обусловлен её высокой транспортной загруженностью, особенно в летне-осенний период из-за логистики транспортировки плодовоовощной продукции из южных регионов страны в центр. Кроме того, трасса проходит через плодородные земли (особенно в центральной и южной её частях), которые интенсивно используются в растениеводстве.

Исследование проведено в мае 2019 г. С целью оценки влияния автомобильного транспорта на загрязнение почв реперными участками выбраны 11 точек вдоль автомобильной дороги, вне населённых пунктов и промышленных предприятий для исключения влияния хозяйственной деятельности человека на загрязнение почв. Поскольку трасса проходит по территории с различным почвенным покровом, пробы отбирали со всех представленных типов почв. Отбор почв проводили на расстоянии 20 и 50 м от дорожного полотна в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-2017 методом конверта из почвенного горизонта на глубине 0–20 см. Пробы со всех 11 участков отобраны в течение одних суток, что позволяет считать длительность воздействия техногенной нагрузки на почвы всех участков отбора образцов одинаковой. Реперные участки отбора проб с описанием типов почв представлены на рисунке (см. на вклейке) [14]. За счёт большой протяжённости автомагистрали почвы придорожной территории анализируемого участка представлены различными типами. В точках отбора 1–3 — серые и тёмные лесные почвы, в точках отбора 4–9 — почвы зонально-генетического ряда чернозёмов, в точках отбора 10, 11 — тёмно-каштановые карбонатные и каштановые солонцеватые почвы. По механическому составу это в основном глинистые и тяжелосуглинистые почвы.

Определение содержания ТМ в образцах почв проводили рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре «Спектроскан МАКС-G» в соответствии с ПНД Ф 16.1.42-04. Определение водорастворимых форм фтора проводили по ПНД Ф 16.1.54-2008, ФР.1.31.2009-05747 «Количественный химический анализ почв. Методика измерения массовой доли водорастворимых форм фтора (фторид-ионов) в пробах водной вытяжки почв методом прямой потенциометрии». Определение рН водных вытяжек образцов почв проводили потенциометрическим методом на рН-метре «Эксперт-001».

Таблица 1 / Table 1

**рН среды и содержание токсичных элементов (мг/кг) в образцах почв**  
**The pH of the medium and the content of toxic elements (mg/kg) in soil samples**

Участок отбора проб Sampling area	Удалённость от трассы, м Distance from the highway, m	pH	F <sup>-</sup>	As	Cu	Ni	Zn	Pb
1	20	5.4	2.2 ± 0.1	4.9 ± 1.0	93.9 ± 4.3	50.5 ± 3.2	75.7 ± 4.1	34.7 ± 2.5
	50	5.4	2.1 ± 0.2	2.4 ± 0.5	78.4 ± 3.7	43.9 ± 3.1	70.8 ± 3.8	31.2 ± 2.4
2	20	5.4	3.5 ± 0.3	3.3 ± 1.1	96.1 ± 6.2	54.0 ± 3.8	86.3 ± 4.5	19.8 ± 3.1
	50	5.6	3.0 ± 0.2	1.2 ± 0.3	70.5 ± 4.7	49.8 ± 3.5	74.8 ± 3.8	13.2 ± 2.5
3	20	5.6	4.2 ± 0.3	4.2 ± 1.2	59.3 ± 4.1	43.8 ± 4.3	52.9 ± 3.7	28.2 ± 3.5
	50	5.3	2.5 ± 0.1	3.3 ± 1.1	58.7 ± 3.9	37.5 ± 4.1	46.1 ± 3.5	12.6 ± 2.1
4	20	5.5	3.5 ± 0.2	7.5 ± 1.8	73.5 ± 5.1	60.9 ± 3.9	93.7 ± 4.7	18.8 ± 2.1
	50	5.6	3.0 ± 1.0	3.3 ± 0.3	62.9 ± 4.8	55.2 ± 3.2	90.1 ± 4.1	3.1 ± 1.3
5	20	6.0	5.0 ± 0.2	7.5 ± 2.1	78.8 ± 5.3	58.1 ± 3.3	76.7 ± 4.2	26.3 ± 3.3
	50	5.6	2.4 ± 0.1	5.1 ± 1.3	56.6 ± 3.2	50.7 ± 3.1	69.1 ± 3.6	17.2 ± 3.1
6	20	5.5	6.0 ± 0.2	1.9 ± 0.3	83.4 ± 5.1	67.7 ± 4.8	126.9 ± 7.7	25.4 ± 3.2
	50	5.5	3.0 ± 0.1	1.3 ± 0.2	56.1 ± 4.7	56.2 ± 4.3	88.4 ± 5.6	23.1 ± 3.1
7	20	5.7	4.4 ± 0.3	6.3 ± 1.4	99.4 ± 5.5	77.4 ± 3.3	145.9 ± 6.5	19.9 ± 2.5
	50	5.7	4.1 ± 0.2	2.5 ± 0.5	78.6 ± 5.1	63.7 ± 3.5	86.2 ± 4.2	13.5 ± 2.2
8	20	6.0	2.5 ± 0.1	11.9 ± 2.1	87.8 ± 4.5	62.2 ± 4.2	162.8 ± 6.7	58.7 ± 4.3
	50	6.8	2.2 ± 0.1	9.1 ± 2.0	87.2 ± 4.6	58.2 ± 3.9	111.5 ± 5.9	38.4 ± 3.8
9	20	6.7	1.5 ± 0.1	7.5 ± 2.1	74.1 ± 4.3	59.1 ± 4.6	107.4 ± 5.6	33.9 ± 4.5
	50	6.6	1.5 ± 0.1	3.4 ± 0.8	70.7 ± 4.2	58.9 ± 4.1	89.9 ± 5.0	18.5 ± 2.5
10	20	7.4	2.5 ± 0.1	8.7 ± 1.8	73.9 ± 4.4	46.8 ± 3.7	132.5 ± 6.4	52.2 ± 3.5
	50	7.1	2.0 ± 0.1	4.5 ± 0.5	57.1 ± 3.7	45.8 ± 3.6	65.5 ± 2.9	40.9 ± 3.2
11	20	6.6	1.0 ± 0.1	7.5 ± 1.3	78.9 ± 6.4	59.6 ± 4.5	87.9 ± 6.7	47.1 ± 3.6
	50	6.0	1.1 ± 0.1	5.4 ± 1.2	67.3 ± 4.6	61.5 ± 5.1	71.2 ± 5.8	15.9 ± 2.1

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.

Фоновые концентрации валовых форм ТМ и мышьяка в почве взяты из работы [15].

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 (или ориентировочно допустимая концентрация) в почве, мг/кг.

ПДК и ОДК валовых форм ТМ и мышьяка в почве приведены в соответствии с СаПиН 1.2.3685-21.

Статистическую обработку данных и корреляционный анализ проводили в программе Statistica.

**Результаты**

Результаты лабораторных исследований представлены в табл. 1.

Концентрации ТМ в почвах находятся в следующих диапазонах (min → max): As – 1,2–11,9 мг/кг; Pb – 3,1–58,7 мг/кг; Ni – 37,5–77,4; Cu – 56,1–99,4; Zn – 46,1–162,8.

Результаты корреляционного анализа представлены в табл. 2.

Для выявления приоритетных загрязнений почвы придорожной территории рассчитан показатель накопления ( $P_n$ ) (табл. 3).

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

Для оценки уровня загрязнения почвенного покрова придорожной территории ТМ по каждому из них проведён расчёт коэффициентов опасности ( $K_o$ ) (см. табл. 3). При этом ряд имеет следующий вид (min → max): Pb → Zn → As → Cu → Ni.

Таблица 2 / Table 2

**Коэффициенты корреляции между токсикантами придорожной территории (25 м)**

**Correlation coefficients between toxicants of the roadside area (25 m)**

	As	Cu	Ni	Zn	Pb
As	–	–0.94 $p = 0.78$	0.48 $p = 0.89$	0.46 $p = 0.15$	0.69 $p = 0.02$
Cu	–0.94 $p = 0.78$	–	0.54 $p = 0.089$	0.4 $p = 0.2$	–0.13 $p = 0.7$
Ni	0.48 $p = 0.89$	0.54 $p = 0.089$	–	0.6 $p = 0.052$	–0.26 $p = 0.4$
Zn	0.46 $p = 0.15$	0.4 $p = 0.2$	0.6 $p = 0.052$	–	0.4 $p = 0.2$
Pb	0.69 $p = 0.02$	–0.13 $p = 0.7$	–0.26 $p = 0.4$	0.4 $p = 0.2$	–

Таблица 3 / Table 3

Показатель накопления ( $I_n$ ) и коэффициенты опасности ( $K_o$ ) тяжёлых металлов в образцах почв  
Indicator of accumulation ( $I_A$ ) and hazard coefficients ( $H_C$ ) of heavy metals in soil samples

Участок отбора проб Sampling areas	Удалённость от трассы, м Distance from the highway, m	As		Cu		Ni		Zn		Pb		Σср	
		$I_n / I_A$	$K_o / H_C$										
1	20	0.88	0.98	4.22	1.42	0.44	1.26	0.26	0.69	0.95	0.53	1.39	0.98
	50	-0.08	0.48	3.36	1.19	0.25	1.09	0.18	0.64	0.75	0.49	0.93	0.78
2	20	0.27	0.66	4.34	1.46	0.54	1.35	0.44	0.78	0.24	0.31	1.17	0.91
	50	-0.54	0.24	2.92	1.07	0.42	1.25	0.25	0.68	-0.18	0.21	0.57	0.69
3	20	0.62	0.84	2.29	0.89	0.25	1.09	-0.12	0.48	0.76	0.44	0.76	0.75
	50	0.27	0.66	2.26	0.89	0.07	0.94	-0.23	0.42	-0.21	0.19	0.43	0.62
4	20	0.34	0.75	1.94	0.61	0.35	0.76	0.38	0.43	-0.06	0.14	0.59	0.54
	50	-0.41	0.33	1.52	0.52	0.23	0.69	0.33	0.41	-0.85	0.02	0.16	0.39
5	20	0.34	0.75	2.15	0.66	0.29	0.73	0.13	0.35	0.32	0.2	0.65	0.54
	50	-0.09	0.51	1.26	0.47	0.13	0.63	0.02	0.31	-0.14	0.13	0.24	0.41
6	20	-0.66	0.19	2.34	0.69	0.5	0.85	0.87	0.58	0.27	0.19	0.66	0.5
	50	-0.77	0.13	1.24	0.47	0.25	0.70	0.3	0.40	0.16	0.18	0.24	0.38
7	20	0.13	0.63	2.98	0.83	0.72	0.97	1.15	0.66	-0.01	0.15	0.99	0.65
	50	-0.55	0.25	2.14	0.66	0.42	0.79	0.27	0.39	-0.33	0.11	0.39	0.44
8	20	1.13	1.19	2.51	0.73	0.38	0.78	1.39	0.74	1.94	0.45	1.47	0.78
	50	0.63	0.91	2.45	0.73	0.29	0.73	0.64	0.51	0.92	0.29	0.99	0.63
9	20	0.34	0.75	1.96	0.62	0.31	0.74	0.58	0.49	0.69	0.26	0.78	0.57
	50	-0.39	0.34	1.83	0.59	0.31	0.74	0.32	0.41	-0.08	0.14	0.39	0.44
10	20	0.67	0.87	2.7	0.62	0.34	0.59	1.45	0.60	2.26	0.4	1.48	0.62
	50	-0.13	0.45	1.86	0.48	0.31	0.57	0.21	0.30	1.56	0.31	0.76	0.42
11	20	0.34	0.75	2.95	0.66	0.70	0.75	0.63	0.40	1.94	0.36	1.31	0.58
	50	0.04	0.54	2.37	0.56	0.76	0.77	0.32	0.32	-0.01	0.12	0.69	0.46
Среднее значение Average value	20	0.4	0.76	2.77	0.84	0.44	0.89	0.65	0.56	0.87	0.31	1.03	0.67
	50	-0.18	0.44	2.11	0.69	0.31	0.81	0.24	0.44	0.16	0.21	0.53	0.52

## Обсуждение

Известно, что интенсивность сорбции поллютантов зависит от значения рН почвенной среды. Оно определяет подвижность ТМ в почвах, их накопление или вымывание. Значения рН (см. табл. 1) водных вытяжек образцов почв находятся в диапазоне 5,4–7,4, что объясняется разнообразием типов исследуемых почв: серые лесные почвы (точки отбора 1–3) имеют слабокислую среду (рН 5,1–5,5), чернозёмы (точки отбора 4–9) дифференцируются от слабокислой до нейтральной (рН 5,4–6,8), тёмно-каштановые и каштановые (точки отбора 10, 11) имеют нейтральную и слабощелочную (рН 6,0–7,4) среду. Нейтральная и слабощелочная реакция почвенной среды в большей степени способствует накоплению ТМ, в то время как слабокислая среда способствует вымыванию ТМ. С этой точки зрения потенциальная опасность накопления ТМ в тёмно-каштановых и каштановых (точки отбора 10, 11) почвах значительно выше.

Большую опасность представляет загрязнение почв придорожной территории фтором (фторид-ионами), так как этот элемент, через почву и сельскохозяйственные растения попадая в трофическую цепь, может оказывать серьёзное негативное воздействие на здоровье человека. Накопление фторид-ионов способствует изменению кислотно-щелочных и окислительно-восстановительных свойств почв, изменению её биологической активности. Содержание водорастворимого фтора в исследуемых почвах находится в интервале 1,5–6 мг/кг (см. табл. 1), что ниже значения предельно допустимой концентрации (10 мг/кг). С удалением от автомагистрали концентрация фтора в почве уменьшается, что

может являться подтверждением гипотезы о его аэрогенном происхождении, связанном с работой автотранспорта. Согласно санитарным нормам [16], содержание фторид-ионов на исследуемом участке дороги соответствует допустимому уровню.

Проведённый пространственный корреляционный анализ между валовым содержанием в почве придорожной территории ТМ и мышьяка позволил установить высокие положительные статистически достоверные корреляционные зависимости между содержаниями в почве на расстоянии 20 м от дороги свинца и мышьяка (см. табл. 2), и можно предположить, что данные элементы попадают в почву совместно из одного источника – выхлопных газов автотранспорта.

Показатель накопления отражает соотношение между фактическими и фоновыми значениями. Наибольшим суммарным значением данного показателя в почве исследуемого участка характеризуется медь (см. табл. 3). Характерной её особенностью является накопление в верхнем слое почвы. Полученные значения свидетельствуют об интенсивном загрязнении участка (особенно в точках 1 и 2) соединениями меди. Количество меди в почве, необходимое для оптимального обеспечения растений этим элементом, находится в пределах 5–20 мг/кг. В почвах придорожной территории, где были отобраны пробы, содержание меди в разы выше. Высокие концентрации данного элемента в почве способны оказывать токсическое воздействие на живые микроорганизмы и растения.

Превышение фоновых значений отмечено по Pb (участки 8, 10, 11). По санитарно-гигиенической оценке, свинец относится к высокоопасным химическим веществам [17],

поэтому его накопление в почве представляет экологическую опасность. Накоплению свинца в исследуемых почвах способствует нейтральная или почти нейтральная реакция почвенной среды (рН 6,0–7,1), большой запас органических веществ, высокое содержание в верхних слоях почвы гумуса. В почвах со слабокислой реакцией почвенной среды (пробы 1–7) часть соединений свинца, вероятно, вымывается, поэтому его накопления не наблюдается. Положительное влияние на экологию-гигиеническую обстановку может оказывать запрет на использование этилированного бензина, содержащего токсичный тетраэтилсвинец.

Превышение фоновых значений по Zn, согласно табл. 3, наблюдается на реперных участках 7, 8, 10. Накопление этого элемента происходит на чернозёмах оподзоленных, типичных, южных, почвах тёмно-каштановых и каштановых солонцеватых, что обусловлено способностью цинка образовывать прочные соединения, комплексы с органическими лигандами гумусовой составляющей данных почв. Следует отметить, что органические комплексы, содержащие Zn, гораздо менее токсичны, чем просто ионы этих металлов.

Показатель опасности отражает отношение фактических концентраций элемента к значению его ПДК. В среднем по трассе фактические концентрации ТМ не превышают значений их ПДК (см. табл. 3). Отмечено превышение значений ПДК по мышьяку (участок 8), никелю (участки 1–3) и меди (участки 1, 2).

Накоплению мышьяка на участке 8 способствует нейтральная реакция почвенной среды и взаимодействие арсенат-ионов с гумусовыми компонентами, приводящее к образованию прочных комплексов [18]. В связи с тем, что в зоне чернозёмов широко ведётся сельскохозяйственная деятельность, в том числе в непосредственной близости от автомобильных дорог, накопление мышьяка в этих почвах может представлять опасность для здоровья конечных потребителей растениеводческой продукции.

Длительное и непрерывное воздействие газовой воздушной выбросов автомобильного транспорта на придорожные территории федеральной трассы (участки отбора проб 1–3), представленные серыми лесными почвами, приводит к ак-

кумуляции в них таких элементов-загрязнителей, как Cu и Ni. При этом создаётся опасность загрязнения растворимыми соединениями Cu и Ni (вследствие слабокислой среды данной почвы) почвенного раствора и поступления их в выращиваемые сельскохозяйственные культуры.

Самыми высокими суммарными коэффициентами опасности характеризуются участки 1, 2 и 8, поскольку их почвы имеют высокое содержание гумусовых веществ, которые задерживают миграцию ТМ по почвенному профилю. В связи с этим на данной территории (в непосредственной близости от проезжей части) допустимо выращивание растительной продукции исключительно в целях биоремедиации.

Поскольку настоящее исследование ограничено разовым отбором проб, интересными представляются дополнительные мониторинговые работы, направленные на изучение динамических показателей концентраций аэрополлютантов в почвах придорожной территории. Для минимизации ошибки репрезентативности стоит увеличить число реперных участков.

## Заключение

В результате исследования почв придорожной территории федеральной трассы установлено превышение на отдельных участках как фоновых значений, так и ПДК по некоторым элементам. В целях обеспечения безопасности растениеводческой продукции её выращивание на таких почвах допустимо лишь в целях биоремедиации. Для снижения техногенной нагрузки на придорожные территории необходимо постепенное введение ограничений на использование старого автотранспорта, осуществление его перехода на газомоторное топливо, использование бензина стандарта Евро-5, увеличение доли экологического автотранспорта – с электрическим и гибридным приводом. На тех участках придорожной территории, где идёт накопление ТМ в результате дорожного движения, оказывающее потенциальное негативное воздействие на здоровье человека и экологическую среду, необходима организация постоянного эколого-гигиенического мониторинга и проведение мероприятий по ремедиации почвы.

## Литература

(п.п. 5, 7, 9, 10 см. References)

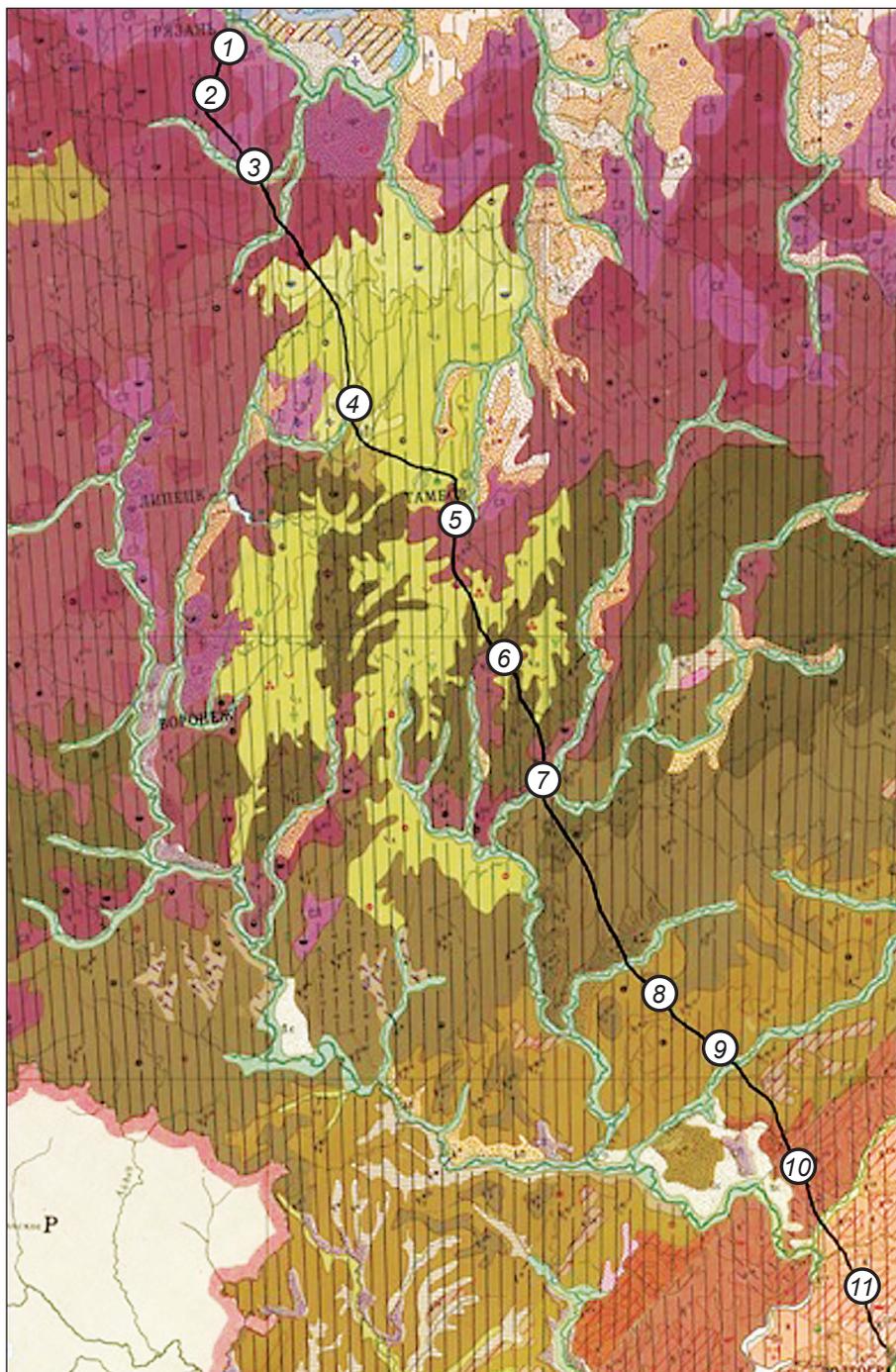
1. Евгеньев И.Е., Каримов Б.Р. *Автомобильные дороги и окружающая среда*. М.; 1997.
2. Трифонова Т.А., Подолец А.А., Селиванов О.Г., Марцев А.А., Подолец А.А. Оценка загрязнения почв рекреационных территорий промышленного города соединениями тяжёлых металлов и мышьяка. *Теоретическая и прикладная экология*. 2018; (2): 94–101. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2018-2-094-101/1>
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. 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>
5. 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.
6. Водяницкий Ю.Н. Нормативы содержания тяжёлых металлов и металлоидов в почвах. *Почвоведение*. 2012; (3): 368–75.
7. Петренко Д.Б., Нестеров И.С., Якунина Ю.Н., Новикова Н.Г., Корсакова Н.В., Васильев Н.В. Фтор в почвах придорожных территорий Московской области. *Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки*. 2013; (4): 75–9.
8. Перельман А.И. *Геохимия элементов в зоне гипергенеза*. М.: Недра; 1972.
9. Трифонова Т.А., Марцев А.А., Селиванов О.Г., Подолец А.А. Гигиеническая оценка содержания фтора в воде централизованного водоснабжения Владимирской области. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(7): 701–6. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-7-701-706>
10. Фридланд В.М., ред. *Почвенная карта РСФСР / ВАСХНИЛ*. М.; 1988.
11. Письмо Министерства охраны окружающей среды и природных ресурсов Российской Федерации № 04-25 «О порядке определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами». М.; 1993.
12. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». М.; 2021.
13. ГОСТ 17.4.1.02-83. Охрана природы (ССОП). Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения. М; 1983.
14. Водяницкий Ю.Н. Хром и мышьяк в загрязнённых почвах. *Почвоведение*. 2009; (5): 551–9.

## References

1. Evgenyev I.E., Karimov B.R. *Highways and the Environment [Avtomobil'nye dorogi i okruzhayushchaya sreda]*. Moscow; 1997. (in Russian)
2. 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)
3. Trifonova T.A., Martsev 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. 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)

5. Yan G., Mao L., Liu S., Mao Y., Ye H., Huang T., et al. Enrichment and sources of trace metals in roadside soils in Shanghai, China: A case study of two urban/rural roads. *Sci. Total. Environ.* 2018; 631–632: 942–50. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.340>
6. 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)
7. Ahmad T., Ahmad K., Khan Z.I., Munir Z., Khalofah A., Al-Qthanin R.N., et al. Chromium accumulation in soil, water and forage samples in automobile emission area. *Saudi J. Biol. Sci.* 2021; 28(6): 3517–22. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.03.020>
8. Vodyanitskiy Yu.N. Standards for the content of heavy metals and metalloids in soils. *Pochvovedenie.* 2012; (3): 368–75. (in Russian)
9. Bhattacharyya K.G., Gupta S.S. Adsorption of a few heavy metals on natural and modified kaolinite and montmorillonite: a review. *Adv. Colloid Interface Sci.* 2008; 140: 114–31. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2007.12.008>
10. Werkenthin M., Kluge B., Wessolek G. Metals in European roadside soils and soil solution – A review. *Environ. Pollution.* 2014; 189: 98–110. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.02.025>
11. Petrenko D.B., Nesterov I.S., Yakunina Yu.N., Novikova N.G., Korsakova N.V., Vasilev N.V. Fluoride in roadside soils of Moscow Region. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki.* 2013; (4): 75–9. (in Russian)
12. Perelman A.I. *Geochemistry of Elements in the Hypergenesis Zone [Geokhimiya elementov v zone gipergeneza]*. Moscow: Nedra; 1972. (in Russian)
13. Trifonova T.A., Martsev A.A., Selivanov O.G., Podolets A.A. Fluorine content in water of centralized water supply in the Vladimir Region. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal).* 2019; 98(7): 701–6. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-7-701-706> (in Russian)
14. Fridland V.M., ed. *Soil Map of the RSFSR / VASKHNIL [Pochvennaya karta RSFSR / VASKhNIL]*. Moscow; 1988. (in Russian)
15. Letter of the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of the Russian Federation No. 04-25 «On the procedure for determining the amount of damage from land pollution with chemicals». Moscow; 1993. (in Russian)
16. SanPiN 1.2.3685-21. Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans. Moscow; 2021. (in Russian)
17. GOST 17.4.1.02-83. Nature Protection (SSOP). Soil. Classification of chemicals for pollution control. Moscow; 1983. (in Russian)
18. Vodyanitskiy Yu.N. Chromium and arsenic in contaminated soils (review of publications). *Pochvovedenie.* 2009; (5): 551–9. (in Russian)

К статье А.А. Марцева и О.Г. Селиванова  
To the article by A.A. Martsev and O.G. Selivanov



Почвы: / Soils:

Серые лесные / Gray forest

Тёмно-серые лесные / Dark gray forest

Лугово-чернозёмные / Meadow-chernozem

Чернозёмы обыкновенные / Ordinary chernozems

Чернозёмы типичные / Typical chernozems

Тёмно-каштановые остаточно-карбонатные и карбонатные / Dark chestnut residual carbonate and carbonate

Каштановые солонцеватые и солончаковые / Chestnut salty and saline

Место отбора проб / Sampling sites

Реперные участки отбора проб с указанием типов почв.

Reference sampling sites with indication of soil types.