

Евсеева И.С., Ушакова О.В., Русаков Н.В., Алексеев М.М.

Санитарно-химическая оценка влияния полигонов захоронения твёрдых коммунальных и промышленных отходов на качество почв

Научно-исследовательский институт экологии человека и гигиены окружающей среды имени А.Н. Сысина
ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью»
Федерального медико-биологического агентства, 119121, Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. В настоящее время отходы в основном захоранивают на полигонах. Такой метод утилизации используют все страны независимо от уровня экономического развития. Полигоны являются источниками непрерывного и долгосрочного химического воздействия на объекты окружающей среды. При нарушении гигиенических требований при захоронении отходов загрязняются в первую очередь почвы. С бытовыми и промышленными отходами в них поступают тяжёлые металлы и органические соединения, что может вызывать миграцию токсических веществ в контактирующие среды, особенно в грунтовые воды.

Цель работы – санитарно-химические исследования почв полигонов захоронений различных отходов в Алтайском крае для выявления опасности загрязнения территорий тяжёлыми металлами и нефтепродуктами.

Материалы и методы. Исследования выполнены в г. Яровом Алтайского края. Проведена санитарно-химическая оценка 82 проб почвы, отобранных на двух полигонах захоронения твёрдых бытовых и промышленных отходов и на территории лесополосы (фон). По результатам определения в почве валовых и подвижных форм тяжёлых металлов и нефтепродуктов рассчитаны коэффициент опасности (K_o), концентрации химических веществ (K) и суммарный коэффициент опасности (Z_c).

Результаты. Санитарно-гигиеническая оценка почв полигонов захоронения твёрдых коммунальных (ТКО) и промышленных отходов (ПО) показала, что с учётом всех исследуемых показателей (содержание валовых и подвижных форм металлов суммарный показатель загрязнения) почвы этих полигонов относятся к категории умеренно опасных. Наибольший вклад в загрязнение почв полигона захоронения ТКО вносят нефтепродукты, никель, медь, молибден, а полигона ПО – хром, свинец, бор, сурьма, стронций, барий.

Ограничения исследования. 1. Число проб, отобранных только в одном населённом пункте. 2. Оценивали содержание тяжёлых металлов и нефтепродуктов, но ввиду отсутствия нормативных значений сравнение по тем показателям, для которых отсутствуют ПДК/ОДК, проводили с фоновыми значениями.

Заключение. Санитарно-гигиеническая оценка почв полигонов ТКО и ПО, расположенных на территории Ярового, показала, что с учётом всех исследуемых показателей (содержание валовых и подвижных форм металлов, суммарного показателя загрязнения) данные почвы необходимо отнести к категории умеренно опасных.

Ключевые слова: твёрдые коммунальные; промышленные отходы; полигоны захоронения; химическое загрязнение почвы

Соблюдение этических стандартов. Исследование не требует одобрения локального этического комитета.

Для цитирования: Евсеева И.С., Ушакова О.В., Русаков Н.В., Алексеев М.М. Санитарно-химическая оценка влияния полигонов захоронения твёрдых коммунальных и промышленных отходов на качество почв. *Гигиена и санитария*. 2024; 103(10): 1105–1110. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-10-1105-1110> <https://elibrary.ru/axpfjw>

Для корреспонденции: Евсеева Ирина Сергеевна, e-mail: IEvseeva@cspfmba.ru

Участие авторов: Евсеева И.С. – концепция и дизайн исследования, написание текста, сбор материала и обработка данных, редактирование; Ушакова О.В. – концепция и дизайн исследования, написание текста, сбор материала и обработка данных, редактирование; Русаков Н.В. – концепция и дизайн исследования, редактирование; Алексеев М.М. – сбор материала и обработка данных. *Все соавторы* – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

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

Финансирование. Исследования проводились в рамках государственного задания по теме шифр «Мониторинг» в ФГБУ «ЦСП» ФМБА России.

Поступила: 11.07.2024 / Принята к печати: 02.10.2024 / Опубликована: 19.11.2024

Irina S. Evseeva, Olga V. Ushakova, Nikolay V. Rusakov, Mikhail M. Alekseev

Sanitary-chemical assessment of the impact of solid municipal and industrial waste disposal sites on the soil quality

A.N. Sysin Research Institute of Human Ecology and Environmental Hygiene of the Centre for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency, Moscow, 119121, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Currently, most of the waste is disposed of in landfills. Burial as a method of waste disposal is one of the main methods of waste management in the territories in all countries, regardless of their level of economic development. Landfills are sources of continuous and long-term chemical effects on environmental objects. Chemicals entering the soil with household and industrial waste are heavy metals and organic substances. If hygienic requirements are violated during waste disposal, the soil is primarily polluted, which can contribute to the migration of toxic substances into the media in contact with it, especially into groundwater.

The purpose of the work was to conduct a sanitary and chemical assessment of the impact of landfills on soil quality.

Materials and methods. Sanitary and chemical assessment of eighty two soil samples taken in the territories of landfills for solid household and industrial waste, and in the territory of the forest belt (background). Based on the results of the detection of gross and mobile forms of heavy metals and petroleum products in the soil, the hazard coefficient (K_o) and the chemical concentration coefficient (C_s) and the total hazard coefficient Z_c were calculated.

Results. A sanitary and hygienic assessment of the soils of landfills for the disposal of solid municipal and industrial waste and located on the territory of Yarovoje showed that, taking into account all the studied indices (the content of gross and mobile forms of metals, the total pollution index), these landfill soils belong to the

category of moderately hazardous. The greatest contribution to soil pollution in the landfill is made by petroleum products, nickel, copper, molybdenum, chromium, lead, boron, antimony, strontium, barium in the landfill.

Limitations. The limitation of the study is that the assessment was carried out according to the content of heavy metals and petroleum products, but due to the lack of normative values, the comparison for those indicators that do not have maximum permissible concentrations (MPC) / approximate permissible concentrations (APC) was conducted with background values.

Conclusion. A sanitary and hygienic assessment of the soils of solid waste and waste disposal sites located on the territory of the city of Yarovoye showed that, taking into account all the studied indices (the content of gross and mobile forms of metals, the total pollution indicator), these soils must be classified as moderately hazardous.

Keywords: risk factors; chemical pollution; landfill; waste

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

For citation. Evseeva I.S., Ushakova O.V., Alekseev M.M. Sanitary and chemical assessment of the impact of landfills on soil quality. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal.* 2024; 103(10): 1105–1110. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-10-1105-1110> <https://elibrary.ru/axpfjw> (In Russ.)

For correspondence: Irina S. Evseeva, e-mail: IEVseeva@cspfmba.ru

Contribution: Evseeva I.S. – concept and design of research, writing text, collecting material and processing data, editing; Ushakova O.V. – concept and design of research, writing text, collecting material and processing data, editing; Rusakov N.V. – research concept and design, editing; Alekseev M.M. – material collection and data processing.

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 research was carried out within the framework of the state assignment on the topic “Monitoring” at the Centre for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency.

Received: July 11, 2024 / Accepted: October 02, 2024 / Published: November 19, 2024

Введение

Утилизация опасных химических веществ и управление свалками и полигонами признаны глобальной проблемой. Как свидетельствуют санитарная практика и результаты исследований, методические вопросы организации наблюдений и контроля за санитарно-гигиенической ситуацией на полигонах и в зонах их влияния разработаны недостаточно. Во всех странах количество твёрдых коммунальных и промышленных отходов, приходящиеся на душу населения неуклонно возрастает.

В настоящее время отходы в основном захоранивают на полигонах. Такой метод утилизации используется повсеместно независимо от уровня экономического развития стран [1, 2]. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) подчеркнула риски, связанные с неадекватной утилизацией твёрдых отходов, для почвы, воды и воздуха, а также связанные с этим угрозы здоровью населения, проживающего вблизи полигонов [3]. Загрязнение почвы имеет ряд важных отличий от загрязнения воды и атмосферного воздуха, поскольку вещества, поступающие с отходами на полигоны в течение относительно длительного периода, остаются на одном и том же месте. В результате возрастают загрязнения почвы полигонов химическими веществами, в том числе тяжёлыми металлами и продуктами переработки нефти, которые могут включаться в пищевые цепочки, поступать в поверхностные и грунтовые воды и в конечном итоге оказывать негативное воздействие на здоровье населения.

Различают полигоны для твёрдых коммунальных отходов и отходов, привыкнувших к этой категории, полигоны для захоронения промышленных отходов и полигоны для захоронения опасных отходов. Исследования влияния этих объектов на окружающую среду имеют в основном экологическую направленность и связаны с оценкой качества атмосферного воздуха и образующихся фильтратов [4–6]. Влияние захоронений отходов на почвенный покров изучено недостаточно [7]. С бытовыми и промышленными отходами в почву поступают тяжёлые металлы и органические соединения [8–14]. В отходах, поступающих на полигоны, потенциально присутствуют растворимые токсические вещества, которые, накапливаясь в почве, способны концентрироваться в различных организмах, входящих в естественные пищевые цепочки человека, и оказывать отрицательное воздействие на здоровье населения [7, 15, 16]. В г. Яровом Алтайского края находятся два полигона: предназначенный для захоронения бытовых и промышленных нетоксичных и малоопасных отходов (полигон ТКО) и полигон захоронения промышленных отходов предприятия

ОАО «Алтайский Химпром» (полигон ПО). Эти объекты внесены в Государственный реестр как не оказывающие негативного воздействия на окружающую среду. Район расположения полигонов по природным условиям является одним из самых неблагоприятных в Алтайском крае: осадков выпадает мало, почвы бедные, почти отсутствует гумус.

Цель работы – провести санитарно-химические исследования почв на полигонах захоронений различных отходов в Алтайском крае для выявления опасности загрязнения территорий тяжёлыми металлами и нефтепродуктами.

Материалы и методы

Для санитарно-химической оценки почвы отобраны 82 пробы на территориях двух полигонов по захоронению отходов в г. Яровом (полигон ТКО и полигон ПО), а также в лесопосадке вдали от возможных источников загрязнения (фоновая площадка). Почвенные образцы отобраны согласно нормативным требованиям¹. Исследования проводили в соответствии с общепринятыми принципами оценки качества почв по действующим нормативным документам^{2,3,4}.

На основании анализа точечных проб проводили анализ химического загрязнения почв полигонов для определения концентраций металлов и нефтепродуктов. Выполнено сравнение фактического содержания валовых и подвижных форм металлов в почве с предельно (ПДК) или ориентировочно допустимыми концентрациями (ОДК). Концентрации нефтепродуктов и металлов 2–3-го классов опасности, для которых отсутствуют нормативы содержания в почве, сопоставляли с фоновыми значениями. По результатам определения в почве валовых и подвижных форм тяжёлых металлов, органических соединений (нефтепродуктов) рассчитывали коэффициент опасности (K_o), коэффициент концентрации химического вещества (K_c) и суммарный

¹ ГОСТ Р 58595–2019 «Национальный стандарт Российской Федерации «Почвы. Отбор проб».

² 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, организаций и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий».

³ СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

⁴ МУ 2.1.7.730–99 «Гигиеническая оценка качества почвы населённых мест».

Таблица 1 / Table 1

Содержание металлов (валовое) в почве полигонов (г. Яровое, Алтайский край)

Metal content (gross content) in the soil of Yarovoye landfills, Altai Krai

Показатель Index	Класс опасности Hazard class	ПДК/ОДК, мг/кг Maximum permissible concentrations (MPC)/ approximate permissible concentrations (APC), mg/kg	Полигон захоронения твёрдых коммунальных отходов Landfill of municipal solid waste		Полигон захоронения промышленных отходов Industrial waste landfill	
			мг/кг mg/kg	коэффициент опасности hazard ratio K_o	мг/кг mg/kg	коэффициент опасности hazard ratio K_o
Кадмий / Cadmium	1	2.0	0.07 ± 0.03	0.05	0.13 ± 0.06	0.095
Ванадий / Vanadium	3	150	10 ± 2.5	0.08	15.1 ± 3.8	0.13
Мышьяк / Arsenic	1	10.0	2.6 ± 1.3	0.39	3.8 ± 1.9	0.57
Сурьма / Antimony	2	4.5	0.013 ± 0.007	0.0044	0.04 ± 0.02	0.0044
Ртуть / Mercury	1	2.1	0.26 ± 0.13	0.19	1.1 ± 0.5	0.76

коэффициент опасности (Z_c). Для оценки химического загрязнения металлами, имеющими утверждённый норматив, расчёт K_o проводили по формуле (1):

$$K_o = C_i / \text{ПДК}, \quad (1)$$

где K_o – коэффициент опасности; C_i – фактическое содержание вещества в почве (мг/кг) по отношению к региональному фоновому.

Для остальных металлов и нефтепродуктов, идентифицированных в пробах, расчёт коэффициента концентрации проведён по формуле (2):

$$K_c = C_i / C_\Phi, \quad (2)$$

где K_c – коэффициент концентрации химического вещества; C_Φ – региональное фоновое содержание вещества.

Также для оценки степени опасности загрязнения почв комплексом металлов по формуле (3) рассчитан суммарный показатель загрязнения (Z_c):

$$Z_c = \sum(K_{C_i} + \dots + K_c \cdot n) - (n - 1), \quad (3)$$

где n – число определяемых суммирующих веществ; K_{C_i} – коэффициент концентрации i -компоненты загрязнения.

Результаты

Содержание валовых форм металлов, для которых имеются гигиенические нормативы (ПДК/ОДК) в почве, с расчётом коэффициента опасности K_o представлены в табл. 1.

Рассчитанный суммарный показатель загрязнения (Z_c) по валовому содержанию металлов для полигона ТКО и для полигона ПО составляет менее 16 (категория допустимого загрязнения почв).

Результаты определения подвижных форм металлов в пробах почвы, отобранных на полигонах захоронения различных видов отходов, отражены в табл. 2.

Содержание подвижных форм металлов в пробах почв, отобранных на полигонах, превышает ПДК/ОДК для хрома, свинца, цинка, никеля, меди. Наибольшее превышение отмечено для меди, никеля, хрома – более чем в 2,5 раза. Поскольку превышения зафиксированы для металлов, относящихся к 1–2-му классам опасности, категория почв полигонов ТКО и ПО оценивается как опасная. Суммарный показатель (Z_c) загрязнения почв металлами (подвижная форма) для полигона ТКО составлял 9,77, для полигона по захоронению промышленных отходов – 10,84. Такие значения соответствуют категории допустимого загрязнения почв.

Таблица 2 / Table 2

Содержание металлов (подвижная форма) в почве полигонов (г. Яровое, Алтайский край)

Content of metals (mobile form) in the soil of Yarovoye landfills, Altai Krai

Показатель Index	Класс опасности Hazard class	ПДК/ОДК, мг/кг MPC/APC, mg/kg	Полигон захоронения твёрдых коммунальных отходов Landfill of municipal solid waste		Полигон захоронения промышленных отходов Industrial waste landfill	
			мг/кг mg/kg	коэффициент опасности hazard ratio K_o	мг/кг mg/kg	коэффициент опасности hazard ratio K_o
Хром / Chrome	2	6.0	15.7 ± 3.1	2.6	16.7 ± 3.3	2.7
Свинец / Lead	1	6.0	9.2 ± 2.3	1.5	18 ± 4.5	3
Цинк / Zinc	1	23	44.7 ± 8.9	1.94	55.3 ± 11.1	2.4
Марганец / Manganese	3	500	116.1 ± 34.8	0.23	190 ± 57	0.38
Никель / Nickel	2	4.0	14.3 ± 5	3.56	9.9 ± 3.5	2.48
Медь / Copper	2	3.0	15.4 ± 3.1	5.1	14.7 ± 2.9	4.9
Кобальт Cobalt	2	5.0	4.2 ± 1.7	0.84	4.9 ± 1.9	0.98

Таблица 3 / Table 3

Содержание в пробах почв подвижных форм металлов 2–3-го классов опасности (г. Яровое, Алтайский край)

Content of mobile forms of metals of hazard class 2–3 in soil samples taken on the territory of Yarovoye, Altai Krai

Показатель Index	Фоновые концентрации, мг/кг Background concentrations, mg/kg	Полигон захоронения твёрдых коммунальных отходов Landfill of municipal solid waste		Полигон захоронения промышленных отходов Industrial waste landfill	
		мг/кг mg/kg	коэффициент концентрации химического вещества chemical concentration coefficient K_c	мг/кг mg/kg	коэффициент концентрации химического вещества chemical concentration coefficient K_c
2-й класс опасности / Hazard class 2					
Бор / Boron	1.3 ± 0.4	1.2 ± 0.4	0.92	3.6 ± 1.1	2.7
Молибден / Molybdenum	0.05 ± 0.02	0.4 ± 0.16	8	0.26 ± 0.1	5.2
Сурьма / Antimony	0.006 ± 0.003	0.013 ± 0.07	2.1	0.04 ± 0.002	6.7
3-й класс опасности / Hazard class 3					
Стронций / Strontium	12 ± 3.6	32.4 ± 9.7	2.7	47.7 ± 14.3	4
Барий / Barium	53.8 ± 16.1	61.2 ± 18.4	1.13	87.4 ± 26.2	1.65

Таблица 4 / Table 4

Содержание нефтепродуктов в почве полигонов (г. Яровое, Алтайский край)

Content of petroleum products in the soil of Yarovoye landfills, Altai Krai

Показатель Index	Фоновые концентрации, мг/кг Background concentrations, mg/kg	Полигон захоронения твёрдых коммунальных отходов Landfill of municipal solid waste		Полигон захоронения промышленных отходов Industrial waste landfill	
		мг/кг mg/kg	коэффициент концентрации химического вещества chemical concentration coefficient K_c	мг/кг mg/kg	коэффициент концентрации химического вещества chemical concentration coefficient K_c
Нефтепродукты Petroleum products	415 ± 62.2	6618 ± 1654	15.9	792.8 ± 118.9	1.9

В пробах, отобранных на полигонах и на территории лесопосадки (фон), обнаружены подвижные формы металлов 2–3-го классов опасности, для которых не установлены ПДК (табл. 3).

По полученным данным рассчитаны коэффициент концентрации химического вещества (K_c), который превышал 1 для данных металлов, и суммарный показатель загрязнения почв с учётом их отношения к фону, который составил на полигоне ТКО 11,02, а на полигоне ПО – 16,2. С целью санитарно-химической оценки качества почв полигонов проведено исследование проб почв на содержание нефтепродуктов (табл. 4).

Для нефтепродуктов уровень химического загрязнения почвы был рассчитан с помощью коэффициента концентрации химического вещества K_c , который был равен 15,9 на полигоне ТКО и 1,9 на полигоне ПО.

Обсуждение

Санитарно-химическая оценка влияния полигонов захоронения твёрдых коммунальных и промышленных отходов на качество почв, отобранных на территории г. Ярового Алтайского края, проведена на основании данных о содержании подвижных и валовых форм металлов и нефтепродуктов. Для валового содержания тяжёлых металлов 1–3-го классов опасности не отмечено превышения ПДК/ОДК химических веществ в почве, суммарный показатель составлял менее 16, коэффициент опасности K_c не превышал 1. Следует отметить, что определение валовых форм металлов наиболее часто встречается в раз-

личных исследованиях при оценке загрязнения почв, но оно характеризует только общее их загрязнение [16, 17]. Для санитарно-гигиенической оценки почв полигонов наиболее важно определение подвижных форм тяжёлых металлов [18, 19]. Выполненный нами анализ проб почв показал, что содержание подвижных форм металлов превышает ПДК/ОДК для всех металлов, за исключением марганца и кобальта. Наибольшее превышение отмечено для меди, никеля, хрома – более чем в 2,5 раза. Поскольку превышения зафиксированы для металлов 1–2-го классов опасности, категорию почв полигонов ТКО и ПО следует считать умеренно опасной, несмотря на то, что рассчитанный суммарный показатель загрязнения почв (Z_c) металлами (подвижная форма) для полигона ТКО и полигона ПО не превышает 16 (категория допустимого загрязнения).

Санитарно-гигиеническая оценка проб с полигонов ТКО и ПО вывела наличие валовых форм металлов 2–3-го классов опасности, для которых не определены ПДК/ОДК содержания в почве. Рассчитанный коэффициент концентрации химического вещества (K_c) на двух полигонах превышал 1 для всех веществ за исключением бора. Суммарный показатель загрязнения почв бором был менее 1 на полигоне ТКО, а на полигоне ПО составлял 2,7. Суммарный показатель загрязнения почв (Z_c) с учётом их отношения к фону составлял 11,02 на полигоне ТКО и 16,2 на полигоне ПО. Оценка степени опасности загрязнения почв комплексом металлов по показателю Z_c позволяет отнести почву полигона ПО к умеренно опасной категории.

Таким образом, как показывают исследования, химические вещества, для которых не установлены нормативы, вносят значительный вклад в загрязнение почв полигонов. В связи с этим при санитарно-гигиенической оценке целесообразно учитывать вещества 1–3-го классов опасности.

Определение нефтепродуктов в почвах полигонов обусловлено тем, что в настоящее время эти вещества являются одними из основных загрязнителей почвы на любых территориях. Процессы самоочищения почв от нефтепродуктов протекают медленно и зависят от многих факторов, а отсутствие ПДК/ОДК делает контроль достаточно сложным. Нами проведено сравнение содержания нефтепродуктов в пробах почвы, отобранный на полигонах и на фоновом участке. Анализ показал превышение уровня содержания нефтепродуктов на территории полигонов по отношению к фону в несколько раз. Для оценки степени химического загрязнения почвы полигонов рассчитывали коэффициент концентрации химического вещества Кс, который составлял 15,9 для полигона ТКО и 1,9 для полигона ПО. Полученные данные коррелируют с данными других исследователей, которые также отмечают превышение содержания нефтепродуктов более чем в 6 раз по сравнению с фоном на полигонах по захоронению твёрдых коммунальных отходов [20, 21].

Заключение

Санитарно-гигиеническая оценка почв полигонов ТКО и ПО, расположенных на территории г. Ярового, показала, что с учётом всех исследуемых показателей (содержание валовых и подвижных форм металлов, суммарный показатель загрязнения) данные почвы относятся к категории умеренно опасных. Наибольший вклад в загрязнение почвы на территории полигона по захоронению ТКО вносят нефтепродукты, никель, медь, молибден, на территории полигона ПО – хром, свинец, бор, сурьма, стронций, барий. Поскольку полигоны по захоронению различных видов отходов могут представлять существенную опасность для населения и окружающей среды, необходимо в рамках социально-гигиенического мониторинга территорий включить полигоны в государственные формы отчётности. В дальнейшем при организации мониторинга почв территорий полигонов по захоронению отходов следует учитывать концентрации всех веществ, относящихся к 1–3-му классам опасности, и нефтепродуктов. Это позволит оценить влияние данных объектов на заболеваемость населения и в долгосрочной перспективе оценить возможность мероприятий по рекультивации земель после консервации полигонов, а также использовать эти данные при планировании застройки населённых пунктов.

Литература (п.п. 1–5, 11–13, 16 см. References)

- Стёпкин Ю.И., Гайдукова Е.П. Оценка и управление риском при обращении с отходами. *Гигиена и санитария*. 2018; 97(8): 693–8. <https://elibrary.ru/vbfnue>
- Еремин В.Н., Решетников М.В., Шешнёв А.С. Влияние полигонов захоронения отходов в Саратовской области на санитарное состояние почв. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(2): 117–21. <https://elibrary.ru/yirey>
- Мироненко О.В., Киселев А.В., Магомедов Х.К., Панькин А.В., Суворова О.К., Федорова Е.А. Гигиеническая оценка воздействия выбросов из тела полигона для складирования осадков сточных вод на здоровье населения. *Экология человека*. 2020; (11): 4–12. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2020-11-4-13> <https://elibrary.ru/tkllqv>
- Комбарова М.Ю., Радилов А.С., Аликаева Л.А., Якубова И.Ш., Кудрявцев М.А., Ринчиндоржиев Б.Б. и др. Оценка влияния утилизации опасных отходов на Полигоне «Красный Бор» на окружающую среду. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(11): 1216–21. <https://elibrary.ru/hfwkz>
- Попова Е.И. Содержание тяжёлых металлов в почве и растительности на территории хранения твёрдых бытовых отходов. *Современные проблемы науки и образования*. 2015; (5): 652. <https://elibrary.ru/ytigxu>
- Оразымбетова А.М. Состояние здоровья населения региона полигона «Азгыр» и качество окружающей среды. *Вестник Казахского национального медицинского университета*. 2019; (4–1): 90–2. <https://elibrary.ru/twizi>
- Жаббаров З.А. Загрязнение почв тяжёлыми металлами вокруг полигона твёрдых бытовых отходов города Ташкента научное обозрение. *Биологические науки*. 2021; (2): 17–23. <https://elibrary.ru/wwwqba>
- Анциферова О.А. Сравнительная характеристика валового содержания тяжёлых металлов и мышьяка в почвах Замандского полуострова. В кн.: *Материалы VII Международного Балтийского морского форума. Том 1*. Калининград; 2019: 235–9. <https://elibrary.ru/lcuuvb>
- Виноградов Д.В., Павлова К.М., Новиков А.В., Габибов А.В. Анализ валового содержания тяжёлых металлов в тёмно-серой лесной почве. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2023; (6): 9–14. <https://elibrary.ru/leamzn>
- Медведев И.Ф., Деревягин С.С. *Тяжёлые металлы в экосистемах*. Саратов: Ракурс; 2017. <https://elibrary.ru/zuocfr>
- Гололобова А.Г. Подвижные формы тяжёлых металлов и микроэлементов в почвах криолитозоны в условиях техногенеза. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2020; (12–2): 49–55. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.102.12.043> <https://elibrary.ru/msdjoj>
- Куршакова Х.В. Закамская Е.С. Нефтепродукты в почве полигона ТКО. В кн.: *Современные проблемы естественных наук и медицины: Сборник статей Всероссийской научной конференции с международным участием*. Йошкар-Ола; 2021: 226–30. <https://elibrary.ru/aexfpt>

References

- Siddiqua A., Hahladakis J.N., Al-Attiya W.A.K.A. An overview of the environmental pollution and health effects associated with waste landfilling and open dumping. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2022; 29(39): 58514–36. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21578-z>
- Wu C., Liu J., Liu S., Li W., Yan L., Shu M., et al. Assessment of the health risks and odor concentration of volatile compounds from a municipal solid waste landfill in China. *Chemosphere*. 2018; 202: 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.03.068>
- Vinti G., Bauza V., Clasen T., Medlicott K., Tudor T., Zurbrügg C., et al. Municipal Solid Waste Management and Adverse Health Outcomes: A Systematic Review. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2021; 18(8): 4331. <https://doi.org/10.3390/ijerph18084331>
- Paul S., Choudhury M., Deb U., Pegu R., Bhattacharya S.S. Assessing the ecological impacts of ageing on hazard potential of solid waste landfills: A green approach through vermicomposting. *J. Clean. Prod.* 2019; 236(1692): 117643. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117643>
- Rezapour S., Samadi A., Kalavrouziotis I.K., Ghaemian N. Impact of the uncontrolled leakage of leachate from a municipal solid waste landfill on soil in a cultivated-calcareous environment. *Waste Manag.* 2018; 82: 51–61. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.10.013>
- Stepkin Yu.I., Gaydukova E.P. Estimation and risk management in the waste treatment. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2018; 97(8): 693–8. <https://elibrary.ru/vbfnue> (in Russian)
- Eremin V.N., Reshetnikov M.V., Sheshnev A.S. Impact of waste landfills in the Saratov region on the sanitary condition of the soil. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2017; 96(2): 117–21. <https://elibrary.ru/yirey> (in Russian)
- Mironenko O.V., Kiselev A.V., Magomedov Kh.K., Pankin A.V., Suvorova O.K., Fedorova E.A. Hygienic assessment of the impact of emissions from the body sewage sludge landfill on public health. *Ekologiya cheloveka*. 2020; (11): 4–12. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2020-11-4-13> <https://elibrary.ru/tkllqv> (in Russian)
- Kombarova M.Yu., Radilov A.S., Alikbayeva L.A., Yakubova I.Sh., Kudryavtsev M.A., Rinchindorzhiev B.B., et al. Assessment of the environmental impact of toxic waste disposal at the Krasny Bor landfill. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2019; 98(11): 1216–21. <https://elibrary.ru/hfwkz> (in Russian)
- Popova E.I. Heavy metals in soil and vegetation storage area solid waste. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2015; (5): 652. <https://elibrary.ru/ytigxu> (in Russian)
- Peprah P., Kwarteng M.A., Asiedu K., Agyemang-Duah W., Morgan A.K., Adjei Gyimah A. Self-reported symptoms of ocular allergy and its comorbidity factors among residents living near a landfill site in Ghana. *Int. J. Environ. Health Res.* 2023; 33(4): 386–97. <https://doi.org/10.1080/09603123.2022.2031912>
- Vinti G., Bauza V., Clasen T., Medlicott K., Tudor T., Zurbrügg C., et al. Municipal solid waste management and adverse health outcomes:

- a systematic review. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2021; 18(8): 4331. <https://doi.org/10.3390/ijerph18084331>
13. Singh S.K., Chokhandre P., Salve P.S., Rajak R. Open dumping site and health risks to proximate communities in Mumbai, India: A cross-sectional case-comparison study. *Clin. Epidemiol. Global Health.* 2021; 9(9): 34–40. <https://doi.org/10.1016/j.cegh.2020.06.008>
 14. Orazymbetova A.M., Akhmad N.S., Abiyrova N.B. The state of health of the population of the region of the Azgyr training ground and the quality of the environment. *Vestnik Kazakhskogo naatsional'nogo meditsinskogo universiteta.* 2019; (4–1): 90–2. <https://elibrary.ru/twizsi> (in Russian)
 15. Zhabbarov Z.A., Atoeva G.R., Sayitov S.S. Soil pollution with heavy metals around the household waste landfill of Tashkent. *Biologicheskie nauki.* 2021; (2): 17–23. <https://elibrary.ru/wwwqba> (in Russian)
 16. De Souza V.B., Hollas C.E., Bortoli M., Manosso F.C., de Souza D.Z. Heavy metal contamination in soils of a decommissioned landfill southern Brazil: Ecological and health risk assessment. *Chemosphere.* 2023; 339: 139689. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139689>
 17. Antsiferova O.A. Comparative characteristics of the gross content of heavy metals and arsenic in the soils of the Zamland peninsula. In: *Materials of the VII International Baltic Sea Forum. Volume 1 [Materialy VII Mezhdunarodnogo Baltiiskogo morskogo foruma. Tom 1].* Kaliningrad; 2019: 235–9. <https://elibrary.ru/leuvwb> (in Russian)
 18. Vinogradov D.V., Pavlova K.M., Novikov A.V., Gabibov A.V. Analysis of the gross content of heavy metals in dark gray forest soil. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta.* 2023; (6): 9–14. (in Russian)
 19. Medvedev I.F., Derevyagin S.S. *Heavy Metals in Ecosystems [Tyazhelye metally v ekosistemakh].* Saratov: Rakurs; 2017. <https://elibrary.ru/zuocrl> (in Russian)
 20. Gololobova A.G. Heavy metal mobility and trace elements in permafrost soils under anthropization. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal.* 2020; (12–2): 49–55. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.102.12.043> <https://elibrary.ru/msdoig> (in Russian)
 21. Kurshakova Kh.V., Zakamskaya E.S. Petroleum products in the soil of the MSW landfill. In: *Modern Problems of Natural Sciences and Medicine: A Collection of Articles of the All-Russian Scientific Conference with International Participation [Sovremennye problemy estestvennykh nauk i meditsiny: Sbornik statei Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii s mezdunarodnym uchastiem].* Ioshkar-Ola; 2021: 226–30. <https://elibrary.ru/aexfpt> (in Russian)

Сведения об авторах

Ессеева Ирина Сергеевна, канд. мед. наук, ст. науч. сотр. отд. гигиены ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: Ievseeva@cspfmba.ru

Ушакова Ольга Владимировна, канд. мед. наук, вед. науч. сотр. отд. гигиены ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: Oushakova@cspfmba.ru

Русаков Николай Васильевич, Академик РАН, доктор мед. наук, вед. специалист отд. гигиены ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: NRusakov@cspfmba.ru

Алексеев Михаил Максимович, химик, отд. физико-химических исследований гигиены ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: MAlekseev@cspfmba.ru

Information about the authors

Irina S. Esvseeva, PhD (Medicine), Senior Researcher at the Hygiene Department of A.N. Sysin Research Institute of Human Ecology and Environmental Hygiene of the Centre for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-5765-0192> E-mail: Ievseeva@cspfmba.ru

Olga V. Ushakova, PhD (Medicine), Leading Researcher at the Hygiene Department of the A.N. Sysin Research Institute of Human Ecology and Environmental Hygiene of the Centre for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-2275-9010> E-mail: Oushakova@cspfmba.ru

Nikolay V. Rusakov, DSc (Medicine), academician of the RAS, Leading specialist of the Hygiene Department of the Centre for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-3754-009X> E-mail: NRusakov@cspfmba.ru

Mikhail M. Alekseev, Chemist, Department of Physico-Chemical Research of Hygiene, A.N. Sysin Research Institute of Human Ecology and Environmental Hygiene of the Centre for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency, Moscow, 119121, Russian Federation. E-mail: MAlekseev@cspfmba.ru