

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2024

Читать
онлайн
Read
online

Кучерова А.В., Колесников С.И., Храпай Е.С., Минникова Т.В., Кузина А.А.

Оценка влияния токсического действия твёрдых коммунальных отходов на экологическое состояние почвы

ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», 344090, Ростов-на-Дону, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. Загрязнение твёрдыми коммунальными отходами негативно влияет на экологическое состояние окружающей среды, так как в ходе их хранения на территории полигонов и прилегающей территории аккумулируются тяжёлые металлы (ТМ), которые могут изменять биологические показатели состояния почв: микробиологические, биохимические и фитотоксические.

Цель исследования — оценить влияние токсического действия полигона твёрдых коммунальных отходов «Азовский» Ростовской области на экологическое состояние почвы.

Материалы и методы. Исследовано влияние погона ТКО «Азовский» Ростовской области на экологическое состояние чернозёма обыкновенного в теле полигона и по мере удаления от него (140; 260; 380 и 540 м). Определяли содержание в почве таких ТМ, как ванадий (V), хром (Cr), кобальт (Co), никель (Ni), цинк (Zn), медь (Cu), мышьяк (As), свинец (Pb) и стронций (Sr) в почве и их взаимосвязь с биологическими показателями и интегральный показатель биологического состояния (ИПБС). Экологическое состояние почв оценивали по чувствительным и информативным биологическим показателям загрязнённых почв: обилие бактерий рода *Azotobacter*, общая численность почвенных бактерий, активность каталазы, дегидрогеназы, длина корней редиса.

Результаты. Установлено загрязнение почв по ПДК/ОДК (Россия) мышьяком: превышение ПДК в 7 раз на полигоне и превышение ПДК от 4 до 6 раз на прилегающей территории. Загрязнение почв хромом превышало ПДК (Германия) в 1,4 раза. Наибольшая концентрация ТМ преобладала в теле полигона. С увеличением расстояния от полигона концентрация ТМ в почве снижалась. Загрязнение ТМ привело к ухудшению экологического состояния чернозёма обыкновенного: наблюдалось достоверное снижение общей численности бактерий (до 95% от контроля), обилие бактерий рода *Azotobacter* (до 95% от контроля), ферментативная активность каталазы (до 25% от контроля) и дегидрогеназ (до 30% от контроля) и повышение фитотоксичности почвы (до 60% от контроля). Можно сделать вывод, что эксплуатация полигона приводит к ухудшению экологической обстановки на территории полигона и за его пределами.

Ограничения исследования. Экотоксическое действие ТМ на менее буферных к загрязнению почвах будет выше, чем на исследованных в статье чернозёмах.

Заключение. Выявлено негативное влияние полигона твёрдых коммунальных отходов «Азовский» на микробиологические, биохимические и фитотоксические показатели почвы, связанное с загрязнением почвы ТМ. Наиболее чувствительные и информативные биологические показатели: длина корней редиса и общая численность бактерий.

Ключевые слова: чернозём обыкновенный; тяжёлые металлы; ферменты почв; микробиология почв; воздействие на окружающую среду

Соблюдение этических стандартов. Исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

Для цитирования: Кучерова А.В., Колесников С.И., Храпай Е.С., Минникова Т.В., Кузина А.А. Оценка влияния токсического действия твёрдых коммунальных отходов на экологическое состояние почвы. *Гигиена и санитария*. 2024; 103(1): 22–30. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-1-22-30> <https://elibrary.ru/dmfkpa>

Для корреспонденции: Кучерова Анна Владимировна, аспирант каф. экологии и природопользования Академии биологии и биотехнологии, 344090, Ростов-на-Дону. E-mail: ania.kucherova@mail.ru

Участие авторов: Кучерова А.В. — сбор и обработка материала, статистическая обработка, написание текста; Колесников С.И. — концепция исследования, редактирование, утверждение окончательного варианта статьи; Храпай Е.С. — статистическая обработка и написание текста; Минникова Т.В. — редактирование; Кузина А.А. — ответственность за целостность всех частей статьи.

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

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания в сфере научной деятельности (№ FENW-2023-0008), Программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета («Приоритет 2030») (№ СП-12-23-01) и Министерства науки и высшего образования РФ в лаборатории «Здоровье почвы» Южного федерального университета (соглашение № 075-15-2022-1122).

Поступила: 06.02.2023 / Принята к печати: 28.12.2023 / Опубликовано: 31.01.2024

Anna V. Kucherova, Sergey I. Kolesnikov, Ekaterina S. Hrapay, Tatyana V. Minnikova,
Anna A. Kuzina

Assessment of the influence of the toxic effect of municipal solid waste on the ecological state of the soil

Southern Federal University, Rostov-on-Don, 344090, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The municipal solid waste of pollution negatively affects on the state of the environment, since during their storage on the territory of landfills and the adjacent territory, accumulation of heavy metals (HM) can change the biological indicators of soil conditions: microbiological, biochemical, and phytotoxic.

The aim of the study was to assess the influence of the toxic effect of the municipal waste landfill “Azov” in the Rostov region on the ecological state of the soil.

Materials and methods. It was explored the influence of municipal solid waste landfill “Azov” of the Rostov region on the ecological condition of the ordinary chernozem in the landfill and adjacent territory (140, 260, 380, and 540 m). The content of heavy metals in the soil, such as chromium (Cr), strontium (Sr), zinc (Zn), vanadium (V), copper (Cu), nickel (Ni), cobalt (Co), lead (Pb), and arsenic (As) were defined. The ecological state is assessed by sensitive and informative-biological indicators of soil pollution: the abundance of bacteria of the genus *Azotobacter*, the total prevalence of soil bacteria, the activity of catalase, dehydrogenases.

Results. Soils were found to contaminate with arsenic by MAC / TAC (exceeding the MAC by 7 times at the landfill and exceeding the MAC by 4 to 6 times in the territory). Pollution with heavy metals according to German MACs with chromium exceeded by 1.4 times). The highest concentration of heavy metals

prevailed in the body of the landfill. Depending on distance from the landfill the concentration of heavy metals in the soil decreased. HM contamination leads to negative consequences for the ecological state of ordinary chernozem: the total number of bacteria decreases (until to 95% of the control), the number of the genus *Azotobacter* decreases (up to 95% of the control), the activity of catalase (up to 25% of the control) and dehydrogenase decreases (up to 30% of control) and increased soil phytotoxicity (up to 60% of control). It can be concluded that the exploitation of the landfill leads to a deterioration of the environmental situation on the territory of the landfill and beyond.

Limitations. The ecotoxic effect of HMs on soils less buffered to pollution will be higher than on the chernozems studied in the article.

Conclusion. The Landfill "Azov" was found to impact on the microbiological, biochemical, and phytotoxic parameters of the soil negatively. This problem connects with in fluence of heavy metals which get into the soil of during the operation of the landfill. The most sensitive and informative biological indicators are total number of bacteria and length of radish roots.

Keywords: municipal solid waste; burial; solid waste landfill; heavy metals; environmental impact; biodiagnostics

Compliance with ethical standards. The study does not require an opinion from a biomedical ethics committee or other documents.

For citation: Kucherova A.V., Kolesnikov S.I., Hrapay E.S., Minnikova T.V., Kuzina A.A. Assessment of the influence of the toxic effect of municipal solid waste on the ecological state of the soil. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2024; 103(1): 22–30. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-103-1-22-30> <https://elibrary.ru/dmfkpa> (In Russ.)

For correspondence: Anna V. Kucherova, Postgraduate student, Department of Ecology and Nature Management, Academy of Biology and Biotechnology, Rostov-on-Don, 344090, Russian Federation. E-mail: ania.kucherova@mail.ru

Contribution: Kucherova A.V. – collection and processing of material, statistical processing, writing text; Kolesnikov S.I. – concept of the study, editing, approval of the final version of the article; Hrapay E.S. – statistical processing and text writing; Minnikova T.V. – editing, responsibility for the integrity of all parts of the article; Kuzina A.A. – responsibility for the integrity of all parts of the article. 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.

Acknowledgment. The study was financially supported by Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of the state task in the field of scientific activity No. FENW-2023-0008, the Strategic Academic Leadership Program of the Southern Federal University ("Priority 2030") (No. SP-12-23-01) and the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation in the Soil Health laboratory of the Southern Federal University (agreement No. 075-15-2022-1122).

Received: February 2, 2023 / Accepted: December 23, 2023 / Published: January 31, 2024

Введение

В России и других странах количество отходов жизнедеятельности с каждым годом увеличивается [1], поэтому необходимо исследовать экологическое состояние почв территорий полигонов твёрдых коммунальных отходов (ТКО), так как образование и накопление ТКО негативно влияет на окружающую среду [2, 3], в частности приводит к трансформации структурных компонентов биогеоценоза и видового состава разных экологических групп организмов [4–6]. Важную роль играет проблема загрязнения почвы прилегающей территории в ходе эксплуатации мест скопления ТКО в городах Юга Российской Федерации [7]. Накопление ТКО может привести к ухудшению биологических показателей почв исследуемой территории, а также отмечается повышенное содержание тяжёлых металлов (ТМ) в данной почве [8], которые могут накапливаться и приводить к деградации экосистем [9, 10]. Чаще всего на таких территориях выявляется достаточно высокое содержание кадмия (Cd) в почве, на втором месте – цинка (Zn), уровень меди (Cu) и свинца (Pb) превышает в 2 раза [11]. В Ростовской области количество полигонов растёт с каждым годом [12].

На территории Ростовской области выявлены отличительные особенности состояния чернозёма обыкновенного при влиянии полигонов ТКО [13]. В условиях постоянного воздействия свалок на почву также прослеживается изменение видового состава микроорганизмов в почве [14, 15]. В основном на таких территориях стремительно развивается патогенная, условно патогенная и паразитирующая микрофлора [16]. При исследовании взаимосвязи между активностью почвенных ферментов и ТМ предполагается влияние повышенного содержания ТМ на активности разных почвенных ферментов [17].

При попадании в почву ТМ происходит процесс биоаккумуляции растительными и животными организмами, который может повлиять на развитие организмов [18, 19]. При оценке фитотоксичности на территории свалок ТКО обнаружен низкий показатель прорастания растительного тест-объекта [20].

Цель работы – оценка влияния токсического действия полигона твёрдых коммунальных отходов «Азовский» Ростовской области на экологическое состояние почвы.

Задачи: 1) оценить степень загрязнения чернозёма ТМ; 2) исследовать изменение степени загрязнения почвы в зависимости от расстояния от полигона; 3) исследовать

закономерности изменения биологических показателей чернозёма обыкновенного в зависимости от содержания ТМ; 4) оценить степень чувствительности биологических показателей; 5) оценить степень информативности биологических показателей.

Материалы и методы

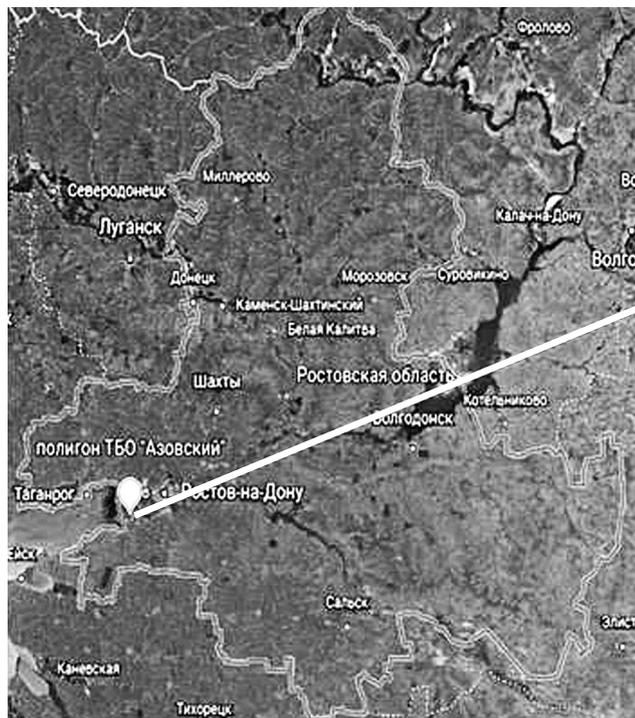
Объектом исследования выбран чернозём обыкновенный южноевропейской фации (североприазовский) карбонатный слабогумусированный тяжелосушливый [21]. Образцы почвы были отобраны на территории полигона «Азовский» и на территории, прилегающей к полигону. Полигон ТКО «Азовский» расположен неподалёку от села Кагальник в черте г. Азова (юго-западное направление относительно г. Ростова-на-Дону).

Пробоотбор почвы. Проводили отбор образцов почвы с санкционированного полигона ТКО «Азовский» (рис. 1). Образцы почвы в каждой точке отбирали на глубине 0–10; 10–20; 20–30 см.

Биологические показатели. Для оценки изменения микробиологических показателей исследовали обилие бактерий рода *Azotobacter* и общую численность почвенных бактерий методом люминесцентной микроскопии [22]. Для определения биохимических свойств почвы анализировали активность двух ферментов – каталазы и дегидрогеназ. Для определения активности каталазы использовали газометрический метод, активность дегидрогеназ определяли по восстановлению солей тетразолия хлористого в трифенилформазаны с колориметрическим окончанием [23]. О фитотоксичности почвы судили по изменению длины корней редиса (*Raphanus sativus*) раннеспелого сорта «Любава».

Расчёт интегрального показателя биологического состояния почв (ИПБС). Для оценки экологического состояния почв полигона ТКО по полученным биологическим показателям рассчитывали ИПБС чернозёма. Для расчёта ИПБС необходимы такие показатели, как общая численность бактерий, обилие бактерий рода *Azotobacter*, активность каталазы и дегидрогеназ, длина корней редиса, максимальное значение которых принимается за 100%, и по отношению к нему в процентах выражается значение этого же показателя в остальных вариантах [23].

Метод исследования массовой доли тяжёлых металлов и мышьяка. Измерение массовой доли металлов в порошковых пробах почв проводили рентгенофлуоресцент-



ТКО «Азовский» / ТКО "Azovsky"



Координаты точек отбора проб:
Coordinates of sampling points:

№ точки Point number	Расположение Location	Координаты Coordinates
1	540 м от точки № 5 – контроль 540 m from point No. 5 – control	47.093569 N, 39.364544 E
2	380 м от точки № 5 380 m from point No. 5	47.093629 N, 39.366387 E
3	260 м от точки № 5 260 m from point No. 5	47.093615 N, 39.367953 E
4	140 м от точки № 5 140 m from point No. 5	47.093615 N, 39.367953 E
5	Тело полигона Polygon body	47.093643 N, 39.371585 E

Рис. 1. Расположение точек отбора проб на полигоне ТКО «Азовский» (Ростовская область).

Fig. 1. Location of sampling points at the MSW landfill "Azov" (Rostov region).

ным методом при помощи спектрометра «Спектроскан, ТУ 4276-002-23042550-96». Изучали распределение в почве ТМ – ванадий (V), хром (Cr), кобальт (Co), никель (Ni), цинк (Zn), медь (Cu), мышьяк (As), свинец (Pb) и стронций (Sr) и их взаимосвязь с биологическими показателями и ИПБС.

Расчёт суммарного коэффициента загрязнения (Zc) проводили по Методическим указаниям «Гигиеническая оценка качества почвы населённых мест». Фоновые значения содержания ТМ определены в чернозёме обыкновенном на целине Персиановской степи (учебное хозяйство ДонГАУ, Октябрьский район, Ростовская область) (табл. 1).

Коэффициент загрязнения (Zc) рассчитывали по формулам (1), (2) и оценивали по табл. 2:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n (K_{Ci} - (n - 1)), \quad (1)$$

где Zc – суммарный коэффициент техногенного загрязнения; n – количество загрязнителей; KCi – коэффициент концен-

трации i-го загрязняющего компонента, равный кратности превышения содержания данного компонента над фоновым значением.

Расчёт коэффициента концентрации проводили по формуле (2):

$$K_{Ci} = C_i / C_{\phi}, \quad (2)$$

где Ci – фактическое содержание i-го элемента в пробе, мг/кг; Cφ – фоновое содержание i-го элемента, мг/кг.

Статистические методы. Статистическую обработку результатов проводили методом корреляционного анализа и определения зависимости между концентрацией ТМ и биологической активностью почвы, а также между концентрацией ТМ и микробиологическими показателями и между концентрацией ТМ и ИПБС. Отдельно оценивали зависимость между суммарным показателем загрязнения и биологическими показателями, в том числе ИПБС. Для визуализации различий между показателями использованы планки погрешностей в программе MS Excel.

Таблица 1 / Table 1

ПДК/ОДК и фоновое содержание ТМ и мышьяка в чернозёме обыкновенном карбонатном, мг/кг
MPC/APC and background content of HMs in ordinary carbonate chernozem, mg/kg

Показатель Indicator	Химический элемент / Chemical element								
	Cr	V	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Pb
ПДК / ОДК (Россия)* MAC / AAC (Russia)*	- / -	150 / -	- / -	- / 80	- / 132	- / 220	2 / -	-	- / 130
ПДК (Германия) [24] MAC (Germany) [24]	100	-	50	100	100	300	50	-	100
Фон [25] / Background [25]	74.57	68.54	2.10	22.73	34.92	79.72	7.75	128.83	30.20

Примечание. * Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28 января 2021 г. № 2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». https://base.garant.ru/400274954/

Note. * Resolution No. 2 of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation dated January 28, 2021 "On approval of sanitary rules and Norms SanPiN 1.2.3685–21 "Hygienic standards and requirements for ensuring safety and (or) harmlessness of environmental factors to humans". https://base.garant.ru/400274954/

Таблица 2 / Table 2

Оценка степени загрязнения почв по суммарному показателю загрязнения (Z_c)

Evaluation of the soils pollution degree according to the total indicator of pollution (Z_c)

Суммарный показатель загрязнения Total pollution index Z_c	Категория загрязнения почв Soils pollution rank
Менее 16 / Less 16	Допустимая / Acceptable
16–32	Умеренно опасная / Moderately dangerous
32–128	Опасная / Dangerous
Более 128 / Over 128	Чрезвычайно опасная / Extremely dangerous

Результаты

Изменение микробиологических показателей. Снижение обилия бактерий рода *Azotobacter* установлено на глубине 10–20 см в точке № 2, на глубине 20–30 см в точке № 3, во всех слоях почв (0–10; 10–20 и 20–30 см) точки № 4 обнаружено снижение численности бактерий рода *Azotobacter* на 50; 87 и 89% от контроля соответственно (рис. 2, а). Во всех слоях почв (0–10; 10–20 и 20–30 см) точки № 4 обнаружено снижение численности бактерий рода *Azotobacter* на 50; 87 и 89% от контроля соответственно. Наименьшее количество бактерий рода *Azotobacter* обнаружено в точке № 5 на глубине 20–30 см – на 94% ниже контроля. Стимуляция численности бактерий обнаружена на глубине 20 см в точке № 4 на 18% относительно контроля (рис. 2, б). Общая численность бактерий, так же как и обилие бактерий рода *Azotobacter*, в точке

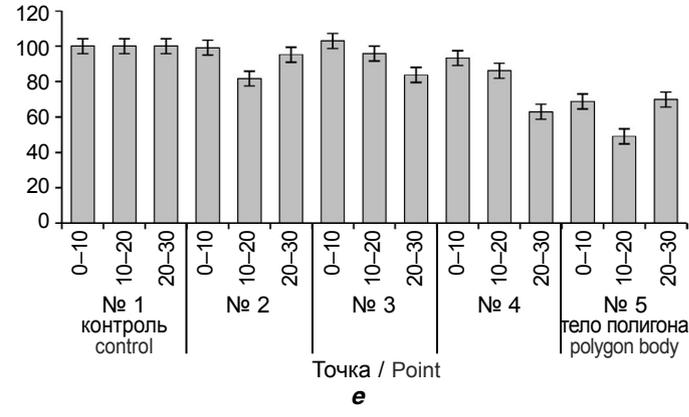
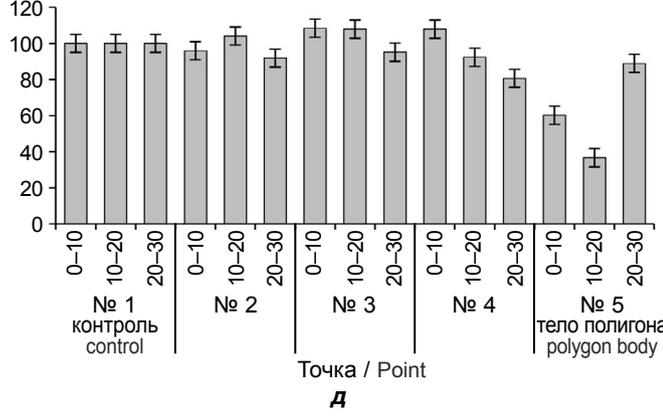
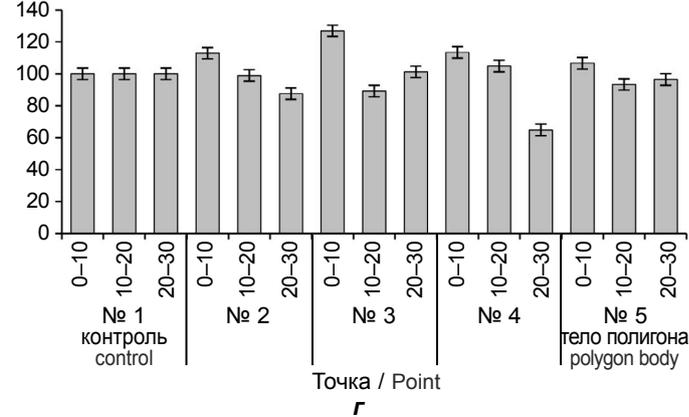
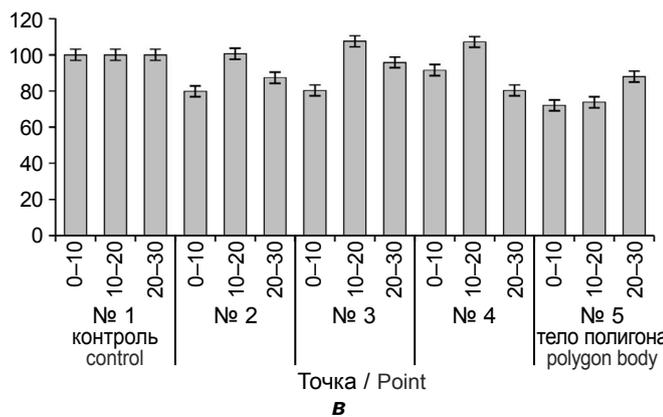
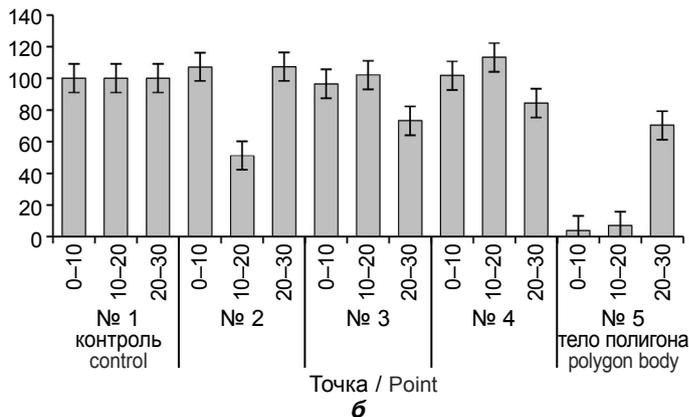
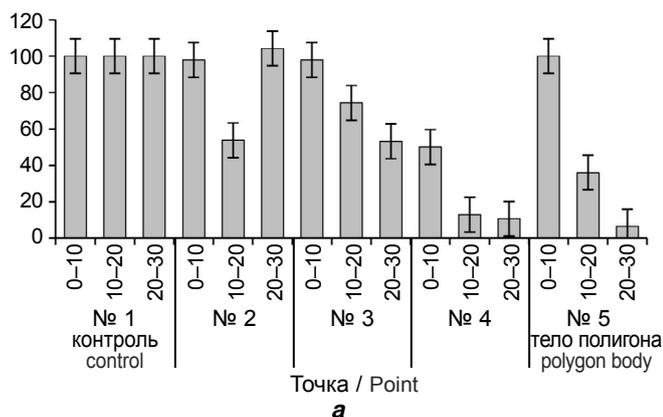


Рис. 2. Изменение биологических показателей на полигоне, % от контроля: а – обилие бактерий рода *Azotobacter*; б – общая численность бактерий; в – активность каталазы; г – активность дегидрогеназ; д – изменение длины корней редиса; е – интегральный показатель биологического состояния почв полигона.

Fig. 2. Change of biological indicators at the landfill, % of control: а – the abundance of bacteria of the genus *Azotobacter*; б – the total number of bacteria; в – catalase activity; г – activity of dehydrogenases; д – change in the length of radish roots on the soils of the polygon; е – integral indicator of the biological state of the soils.

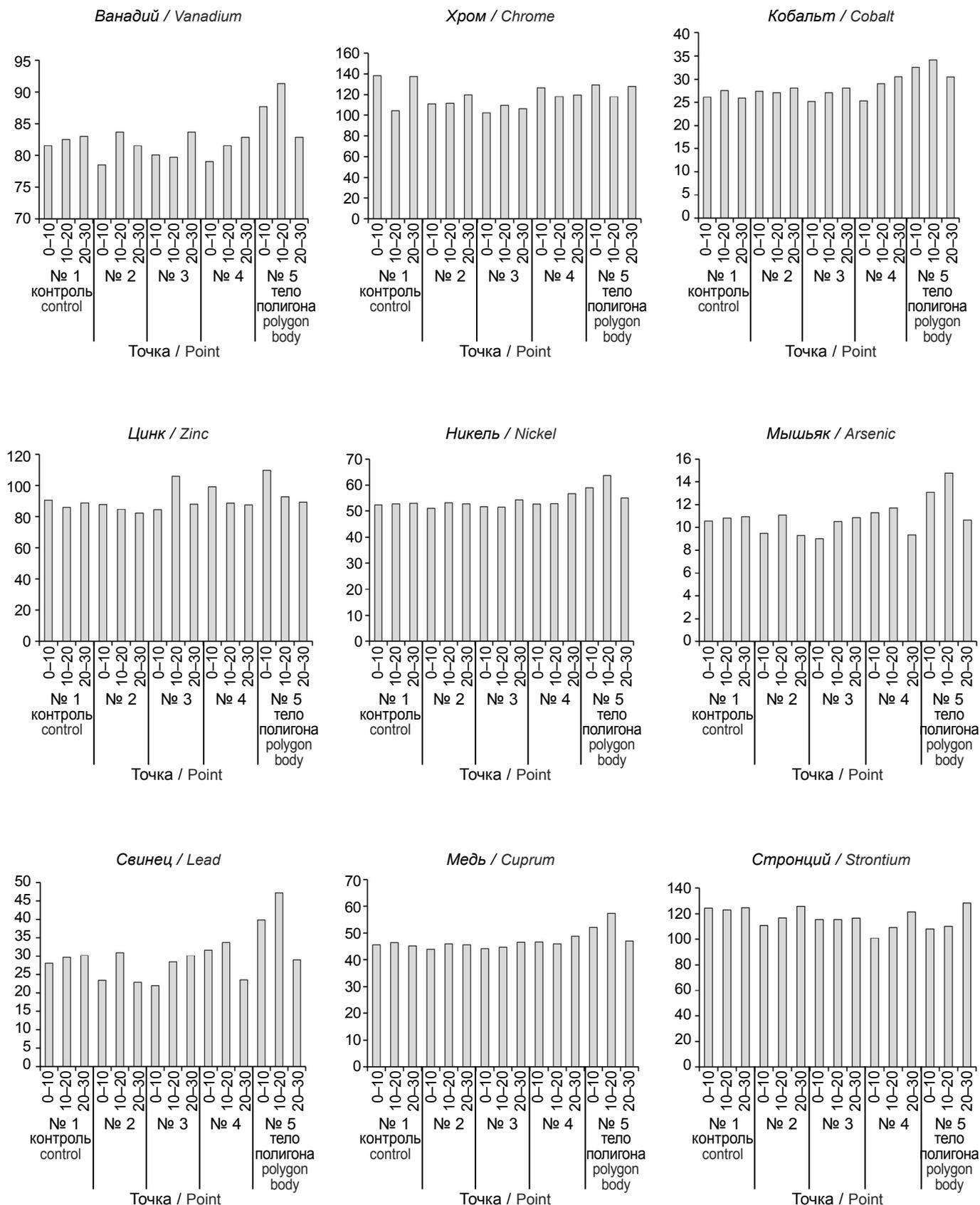


Рис. 3. Распределение тяжёлых металлов и мышьяка в почвах полигона, мг/кг.
 Fig. 3. Distribution of heavy metals and arsenic in landfill soils, mg/kg.

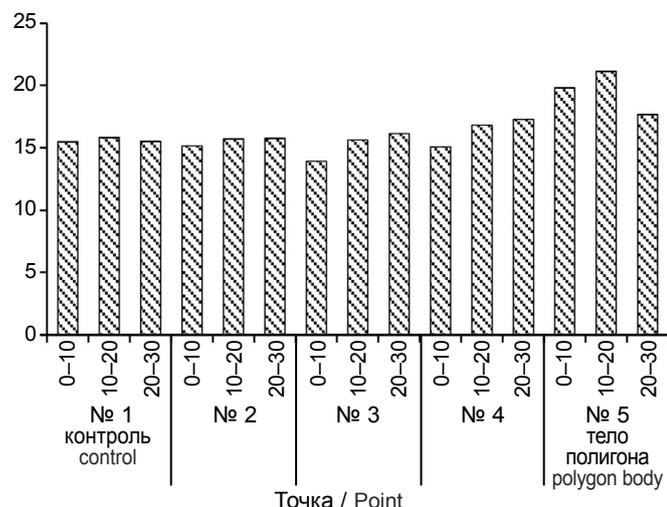


Рис. 4. Коэффициенты техногенного загрязнения (Z_c) почвы территории полигона.

Fig. 4. Technogenic pollution coefficients (Z_c) soil of the landfill area.

№ 2 на глубине 10–20 см снижалась на 49% относительно контроля. Максимальное снижение численности бактерий обнаружено в точке № 5 в слое 0–10 и 10–20 см на 96 и 93% от контроля соответственно. Общая численность почвенных бактерий снижалась от точки № 1 до точки № 5 более чем на 90%.

Изменение ферментативной активности. Прослеживается тенденция к снижению активности каталазы на глубине 0–10 см от точки № 1 до точки № 5 на 8–28% относительно контроля (рис. 2, в). При этом активность фермента в точках № 2, 3 и 4 с углублением в почву до слоя 10–20 см повышается на 16–27% по сравнению со слоем 0–10 см.

Активность дегидрогеназ почв полигонов изменялась иначе: с углублением в почву активность фермента снижалась по сравнению со слоем 0–10 см на 9,14 и 38% в точках № 4, 2 и 3 соответственно. Наибольшее снижение активности дегидрогеназ установлено в точке № 4 на глубине 20–30 см на 35% по сравнению с контролем. На полигоне (точка № 5) выявлено недостоверное повышение активности дегидрогеназ (на 1,1%) в отличие от контроля (рис. 2, г).

Изменение фитотоксических показателей. Наблюдалось возрастание токсичности почвы от точки № 1 к точке № 5 на глубине 0–10 см и увеличение токсичности почвы на глубине 10–20 см в точках № 4 и 5 на 16 и 24% (рис. 2, д). В точке № 5 на глубинах 0–10 и 10–20 см происходило увеличение токсичности почвы на 40 и 60% в отличие от контроля соответственно, а на глубине 20–30 см (за пределами корнеобитаемого слоя) токсичность почвы снижалась до 11% ниже, чем в контроле.

Интегральный показатель биологического состояния почвы. Для оценки совокупности биологических показателей проводили расчёт ИПБС и оценивали его взаимосвязь с содержанием ТМ почв полигонов ТКО (рис. 2, е). На глубине 10–20 см точки № 2 ИПБС снижался на 19% по сравнению с контролем. На этой глубине снижение ИПБС установлено также в почвах точек № 4 и 5. Обнаружено, что на глубине 0–10 см в точке № 5 почва наиболее загрязнена, где ИПБС на 51% ниже, чем в контроле. Достаточно загрязнённой являлась почва в точке № 5 на глубинах 10–20 и 20–30 см: ИПБС ниже на 32 и 31% от контроля соответственно. В ходе статистической обработки результатов обнаружена тесная отрицательная корреляция между ИПБС и Co ($r = -0,76$).

Распределение ТМ и мышьяка в почве и степень их влияния на биологические показатели. По результатам исследования выявлено, что в наибольшем количестве в почве обнаружены Сг, Sg и Zn, в наименьшем – As (рис. 3). Установлено загрязнение ТМ исследуемой почвы по российским ПДК/ОДК* мышьяком: превышение ПДК в 7 раз на полигоне и превышение ПДК в 4–6 раз на территории, прилегающей к полигону.

Загрязнение Сг превысило ПДК ФРГ [24] в 1,4 раза. Прослеживается нормальное плавное распределение ТМ в почве: при удалении от полигона концентрация ТМ снижается. С глубиной прослеживается тенденция к уменьшению концентрации ТМ. В точке № 5 на глубинах 0–10 и 10–20 см установлена наибольшая концентрация ТМ.

Согласно формулам (1) и (2), рассчитаны коэффициенты техногенного загрязнения Z_c. По табл. 2 проведена оценка техногенного загрязнения почв полигонов ТМ. Результаты расчёта представлены на рис. 4.

Согласно суммарному коэффициенту техногенного загрязнения (Z_c), почва территории полигона относится к умеренно опасной категории загрязнений (Z_c > 16), а почва прилегающей территории на расстоянии от 280 м от тела полигона – к допустимой (Z_c < 16) (см. рис. 4).

Таблица 3 / Table 3

Оценка информативности биологических показателей по коэффициентам корреляции (r)

Evaluation of the information content of biological indicators by correlation coefficients (r)

Элемент Element	Общая численность бактерий Total number of bacteria	Обилие бактерий рода Azotobacter Number of the genus Azotobacter	Активность каталазы Catalase activity	Активность дегидрогеназ Dehydrogenases activity	Длина корней Roots length	ИПБС PBS
V	-0.86**	-0.01	-0.57*	-0.17	-0.71**	-0.13
Cr	-0.09	-0.02	-0.04	-0.29	-0.04	-0.06
Co	-0.78**	-0.01	-0.71**	-0.36	-0.75**	-0.76**
Zn	-0.20	-0.47*	-0.01	+0.02	-0.05	-0.03
Ni	-0.79**	-0.12	-0.70**	-0.28	-0.69*	-0.52*
As	-0.59*	-0.09	-0.20	+0.16	-0.44*	-0.18
Pb	-0.61*	-0.31	-0.21	+0.15	-0.46*	-0.15
Cu	-0.72**	-0.18	-0.64*	-0.22	-0.59*	-0.43*
Sr	-0.12	-0.70**	-0.43*	-0.45*	-0.30	-0.17
Zc	-0.80**	-0.38	-0.56*	-0.18	-0.68**	-0.55*

Примечание. Статистическая значимость: * – p < 0,01; ** – p < 0,05.

Note: Statistical significance: * – p < 0.01; ** – p < 0.05.

Обсуждение

Современное состояние почв полигона ТКО «Азовский» и прилегающей территории приводит к снижению общей численности бактерий и обилия бактерий рода *Azotobacter*, ингибированию активности каталазы, а также увеличению фитотоксичности почвы. Вероятнее всего, это вызвано высоким содержанием ТМ в почве полигона и прилегающих территорий, оказывающим токсическое действие на исследованные биологические показатели [26, 27]. В почвах полигона и прилегающей территории обнаружены высокие концентрации Co и Zn . Содержание Co во всех точках (в том числе на полигоне и контроле) превышало фоновое содержание элемента более чем в 10 раз. Зачастую повышенное содержание кобальта в почве полигонов обусловлено аэротехногенными выбросами промышленных предприятий, работой автотранспорта, применением сельскохозяйственных удобрений [28–31]. Учитывая расположение полигона, расположенного в Ростовской области, высокий уровень загрязнения Co , вероятно, обусловлен работой сельскохозяйственных предприятий и применением кобальтсодержащих удобрений. Прослеживалось негативное влияние Co на ряд биологических показателей: общая численность бактерий, активность каталазы, длина корней.

Анализируя распределение ТМ в исследованных образцах, можно сделать вывод, что большинство металлов накапливаются на территории полигона (точка № 5) и в 140 м от тела полигона в точке № 4 во всех слоях почвы. При удалении от полигона концентрация ТМ уменьшается.

Определены коэффициенты корреляции между содержанием ТМ в почве и биологическими показателями. Данные представлены в табл. 3.

Наиболее информативными биологическими показателями являлись: общая численность бактерий, активность каталазы и длина корней редиса. Общая численность бактерий наиболее тесно коррелировала с содержанием в почве V ($r = -0,86$), Co ($r = -0,78$), Ni ($r = -0,79$), Cu ($r = -0,72$), активность каталазы – с содержанием Co ($r = -0,71$) и Ni ($r = -0,7$), длина корней редиса – с содержанием V ($r = -0,71$) и Co ($r = -0,75$). Обилие бактерий рода *Azotobacter* коррелировало только с содержанием Sr ($r = -0,7$). ИПБС наиболее тесно коррелировал с содержанием Co ($r = -0,76$). Не установлено тесной корреляции между содержанием ТМ и активностью дегидрогеназ.

При оценке информативности между суммарным показателем и исследуемыми показателями обнаружено, что Z_c тесно коррелировал с общей численностью бактерий ($r = -0,8$) и длиной корней редиса ($r = -0,68$).

После проведения статистического анализа данных и вычисления коэффициентов корреляции между концентрацией ТМ и биологическими показателями на глубинах 0–10, 10–20 и 20–30 см установлено, что наиболее высокие коэффициенты корреляции наблюдались в слое 10–20 см.

Степень чувствительности данных показателей оценивалась в зависимости от снижения исследуемых показателей от контроля – общая численность бактерий, обилие бактерий рода *Azotobacter*, активность каталазы и дегидрогеназ, длина корней редиса, интегральный показатель загрязнения почвы. Наиболее чувствительными биологическими показателями являются общая численность бактерий (до 95% от контроля) и обилие бактерий рода *Azotobacter* (до 95% от контроля), наименее чувствительными – активности каталазы (до 25% от контроля) и дегидрогеназы (до 30% от контроля).

Наиболее информативным показателем является общая численность бактерий, который имеет тесную отрицательную взаимосвязь с несколькими металлами, такими как V , Co , Ni . Аналогичные результаты получены ранее для почв полигона поселения Ранитала (Индия) [32]. Также этот показатель являлся самым чувствительным из исследованных – снижение его значений составило до 95% от контроля, что отмечено и в других исследованиях [33]. Высокая экотоксичность V , Co , Ni при дозе до 10 мг/кг в серопесках (Усть-Донецкий район, Ростовская область) снижала численность почвенных бактерий на 21, 28 и 32% от контроля соответственно [34].

По результатам биодиагностики исследуемая территория подвергается негативному воздействию при эксплуатации полигона ТКО. Выбранные биологические показатели достаточно точно отражают экологическую обстановку данной территории.

Заключение

Обнаружено негативное влияние полигона твёрдых коммунальных отходов «Азовский» на микробиологические, биохимические и фитотоксические показатели почвы, связанное с загрязнением почвы ТМ. Оценка загрязнения почвы полигона и прилегающей территории ТКО показала существующую антропогенную нагрузку. Установлено превышение ПДК/ОДК As от 4–6 раз (на прилегающей территории) до 7 раз больше ПДК (на полигоне, точка № 5). Исследуемая почва с полигона относится к умеренно опасной категории загрязнения ($Z_c > 16$), а почва прилегающей территории – к допустимой ($Z_c < 16$). Выявлена тесная отрицательная корреляционная зависимость между активностью каталазы и содержанием Co , Ni ; общей численностью бактерий и V , Co , Ni , Cu ; обилием бактерий *Azotobacter* и содержанием Sr ; длиной корней редиса и содержанием V , Co .

Самым чувствительным и информативным показателем при загрязнении почв полигона ТКО «Азовский» и прилегающей территории является общая численность бактерий, а наименее – активность каталазы и дегидрогеназ. Результаты исследования возможно использовать при оценке экологического состояния почв полигонов ТКО.

Литература

(п.п. 3, 7–9, 15, 17, 20, 26, 32 см. References)

- Шилкина С.В. Мировые тенденции управления отходами и анализ ситуации в России. *Отходы и ресурсы*. 2020; 7(1): 5. <https://doi.org/10.15862/05ECOR120> <https://elibrary.ru/zgzxbe>
- Титова А.Г. Оценка влияния полигона твердых коммунальных отходов на окружающую среду с использованием междисциплинарного подхода. *Проблемы региональной экологии*. 2019; (2): 53–8. <https://doi.org/10.24411/1728-323X-2019-12053> <https://elibrary.ru/omsgar>
- Витковская С.Е. *Твердые бытовые отходы: антропогенное звено биологического круговорота*. СПб.: 2012. <https://elibrary.ru/pwawmx>
- Ильина В.Н., Козловская О.В., Сазонова Н.Н., Тупицына О.В., Чертез К.Л. Особенности растительного покрова и фауны в зоне влияния полигона твёрдых бытовых отходов «Преображенка» (Самарская область). *Самарский научный вестник*. 2021; 10(4): 51–60. <https://doi.org/10.17816/snv2021104108> <https://elibrary.ru/pgrcyq>
- Романова Е.А., Намазова В.Н. Региональные особенности несанкционированных свалок твердых бытовых отходов Ульяновской области. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2008; (7): 50–5.
- Еремин В.Н., Павлов П.Д., Решетников М.В., Шешнев А.С. Эколого-геохимическая оценка почвенного покрова в районе Балаковского полигона захоронения твердых бытовых отходов (Саратовская область). *Инженерная геология*. 2016; (2): 50–61. <https://elibrary.ru/vzehfr>
- Гильмундинов В.М., Тагаева Т.О., Бокслер А.И. Анализ и прогнозирование процессов обращения с отходами в РФ. *Проблемы прогнозирования*. 2020; (1): 126–34. <https://elibrary.ru/adrhmg>
- Потапов П.А. *Методы локализации и обработки фильтрата полигонов захоронения твердых бытовых отходов*. М.: 2004. <https://elibrary.ru/qnlrxj>
- Безуглова О.С., Невидомская Д.Г., Прокофьева Т.В., Иноземцев С.А. Изменения морфологии черноземов Ростовской области в зоне влияния полигонов твердых бытовых отходов. *Почвоведение*. 2007; (2): 243–54. <https://elibrary.ru/hzuljr>
- Елисеева Н.В., Федоренко К.А. Экология и возможная рекультивация свалок ТБО (на примере МО Белореченский район Краснодарского края). *Известия Сочинского государственного университета*. 2013; (2): 63–8. <https://elibrary.ru/rjygtj>

Original article

16. Зомарев А.М., Вайсман Я.И., Зайцева Т.А., Глушанкова И.С. Санитарно-гигиеническое состояние полигонов захоронения твердых бытовых отходов на этапах жизненного цикла. *Гигиена и санитария*. 2010; 89(1): 39–42. <https://elibrary.ru/mbuwlw>
18. Соломенникова Е.В., Янников И.М., Сергеева Т.А. Оценка экологического состояния территории зон влияния полигонов ТБО по интегральным характеристикам асимметрии листьев. В кн.: *Материалы XIII Международной научно-практической конференции «Теория и практика современной науки»*. Том 1. М.; 2014: 95.
19. Ростунов А.А., Кончина Т.А. Влияние техногенных загрязнений на физиологические показатели листьев древесных растений на примере г. Арзамаса. *Известия Иркутского государственного университета. Серия: Биология. Экология*. 2016; 15: 68–79. <https://elibrary.ru/wfbzsd>
21. Егоров В.В., Иванова Е.Н., Фридланд В.М., Розов Н.И. *Классификация и диагностика почв СССР*. М.: Колос; 1977. <https://elibrary.ru/ywvbwv>
22. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Даденко Е.В. *Методы биодиагностики наземных экосистем*. Ростов-на-Дону; 2016. <https://elibrary.ru/xvoux>
23. Казеев К.Ш., Козунь Ю.С., Колесников С.И. Использование интегрального показателя для оценки пространственной дифференциации биологических свойств почв юга России в градиенте аридности климата. *Сибирский экологический журнал*. 2015; 22(1): 112–20. <https://elibrary.ru/thegkn>
24. Касьяненко А.А. *Современные методы оценки рисков в экологии*. М.; 2008.
25. Капралова О.А. *Изменение биологических свойств почв г. Ростова-на-Дону при загрязнении тяжелыми металлами*: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Ростов-на-Дону; 2012.
27. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. *Микроэлементы в почвах и растениях*. Пер. с англ. М.: Мир; 1989.
28. Иванов В.С., Черкасова О.А. Роль промышленных предприятий в формировании загрязнения почвенного покрова кобальтом, медью, свинцом. *Вестник Витебского государственного медицинского университета*. 2011, 10(3): 143–50. <https://elibrary.ru/oivgfv>
29. Елисеева Н.В., Зубкова Т.А., Чехович Э.Е. Содержание и групповой состав соединений кобальта в почвах рисовых полей Кубани и других почвах России. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2013, 2(100): 032–6. <https://elibrary.ru/pwvfvf>
30. Елькина Г.Я. Кобальт в системе почва – растение на подзолистых почвах Европейского Северо-Востока России. *Агрохимия*. 2021, 7: 75–82. <https://elibrary.ru/abdnxc>
31. Рак М.В., Пукалова Е.Н. Кобальт в почвах и растениеводческой продукции Беларуси и эффективность применения кобальтового удобрения. *Почвоведение и агрохимия*. 2016, 2: 90–9. <https://elibrary.ru/yqilbb>
33. Ларионов Н.С., Боголищын К.Г., Кузнецова И.А. Комплексная оценка влияния свалки твердых бытовых отходов г. Архангельска на компоненты природной среды. *Российский химический журнал*. 2011; 55(1): 93–100. <https://elibrary.ru/ntxwfm>
34. Евстегнеева Н.А., Колесников С.И., Минникова Т.В., Тимошенко А.Н., Целина Н.И., Казеев К.Ш. Сравнительная оценка токсичности химических элементов по численности бактерий в серопесках. *Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки*. 2022; (3): 120–8. <https://doi.org/10.18522/1026-2237-2022-3-120-128> <https://elibrary.ru/ozslmk>

References

1. Shilkina S.V. Global trends in waste management and analysis of the situation in Russia. *Otkhody i resursy*. 2020; 7(1): 5. <https://doi.org/10.15862/05ECOR120> <https://elibrary.ru/zgxbxe> (in Russian)
2. Titova A.G. Assessment of the impact of solid municipal waste landfills on the environment using an interdisciplinary approach. *Problemy regional'noy ekologii*. 2019; (2): 53–8. <https://doi.org/10.24411/1728-323X-2019-12053> <https://elibrary.ru/omsgap> (in Russian)
3. Song L., Wang Y., Zhao H., Long D.T. Composition of bacterial and archaeal communities during landfill refuse decomposition processes. *Microbiol. Res*. 2015; 181: 105–11. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2015.04.009>
4. Vitkovskaya S.E. *Solid Household Waste: An Anthropogenic Link in the Biological Cycle [Tverdye bytovye otkhody: antropogennoe zveno biologicheskogo krugovorota]*. St. Petersburg; 2012. (in Russian)
5. Il'ina V.N., Kozlovskaya O.V., Sazonova N.N., Tupitsyna O.V., Chertes K.L. Vegetation and fauna features in the zone of influence of the solid waste landfill «Preobrazhenka» (Samara region). *Samarskiy nauchnyy vestnik*. 2021; 10(4): 51–60. <https://doi.org/10.17816/snv2021104108> <https://elibrary.ru/pgrcyr> (in Russian)
6. Romanova E.A., Namazova V.N. Regional features of unauthorized landfill sites for solid domestic wastes in the Ulyanovsk region. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2008; (7): 50–5. (in Russian)
7. Kaliaskarova Z.K., Aliyeva Zh.N., Ikanova A.S., Negim E.S. Soil pollution with heavy metals on the land of the Karasai landfill of municipal solid waste in Almaty city. *News of the Academy of Science of the Republic of Kazakhstan*. 2019; 6(438): 256–67. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.177>
8. Zhou X.D., Zhao C.L., Qu T.B., Wang Y., Guo T.J., Sun X.G. Characteristics and evaluation on heavy metal contamination in Changchun municipal waste landfill after closure. *J. Environ. Biol*. 2015; 36(Spec.): 857–63.
9. Gujre N., Mitra S., Soni A., Agnihotri R., Rangan L., Rene E.R., et al. Speciation, contamination, ecological and human health risks assessment of heavy metals in soils dumped with municipal solid wastes. *Chemosphere*. 2021; 262: 128013. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128013>
10. Eremin V.N., Pavlov P.D., Reshetnikov M.V., Sheshnev A.S. Ecological and geochemical assessment of the soil cover in the area of the Balakovo solid waste landfill (Saratov region). *Inzhenernaya geologiya*. 2016; (2): 50–61. <https://elibrary.ru/vzehfr> (in Russian)
11. Gil'mundinov V.M., Tagaeva T.O., Bokslar A.I. Analysis and forecasting of waste management processes in Russia. *Problemy prognozirovaniya*. 2020; 31(1): 92–8.
12. Potapov P.A. *Methods of Localization and Processing of the Filtrate from Landfills for Solid Household Waste [Metody lokalizatsii i obrabotki fil'trata polygonov zakhoroneniya tverdykh bytovykh otkhodov]*. Moscow; 2004. <https://elibrary.ru/qnlrjx> (in Russian)
13. Bezuglova O.S., Nevidomskaya D.G., Prokof'eva T.V., Inozemtsev S.A. Changes in the morphology of chernozems of Rostov oblast in the area of landfills. *Pochvovedenie*. 2007; 40(2): 223–33.
14. Eliseeva N.V., Fedorenko K.A. Environment and possible redevelopment of solid household waste landfills (municipality Belorechensky district of Krasnodar region case study). *Izvestiya Sochinskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2013; (2): 63–8. <https://elibrary.ru/rjytgi> (in Russian)
15. Wang X., Cao A., Zhao G., Zhou C., Xu R. Microbial community structure and diversity in a municipal solid waste landfill. *Waste Manag*. 2017; 66: 79–87. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.04.023>
16. Zomarev A.M., Vaysman Ya.I., Zaytseva T.A., Glushankova I.S. The sanitary-and-hygienic state of solid garbage burial grounds in the stages of a life cycle. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2010; 89(1): 39–42. <https://elibrary.ru/mbuwlw> (in Russian)
17. Datta A., Gujre N., Gupta D., Agnihotri R., Mitra S. Application of enzymes as a diagnostic tool for soils as affected by municipal solid wastes. *J. Environ. Manage*. 2021; 286: 112169. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112169>
18. Solomennikova E.V., Yannikov I.M., Sergeeva T.A. Evaluation of the ecological state of the territory of the zones of influence of solid waste landfills according to the integral characteristics of leaf asymmetry. In: *Materials of the XIII International Scientific and Practical Conference «Theory and Practice of Modern Science». Volume 1 [Materialy XIII Mezhduнародnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Teoriya i praktika sovremennoy nauki»*. Tom 1]. Moscow; 2014: 95. (in Russian)
19. Rostunov A.A., Konchina T.A. The effect of the technogenic pollution on the physiological indexes of leaves of woody plants in Arzamas city. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Biologiya. Ekologiya*. 2016; 15: 68–79. <https://elibrary.ru/wfbzsd> (in Russian)
20. Lyssakova T.N., Nukzhanova A.M., Dmitriev P.S., Wendt J.A. Bioindication method of soil research in the landfill of municipal solid waste in the North Kazakhstan region in 2016 and 2018. *Bulletin of the Karaganda university. Biology. Medicine. Geography Series*. 2019; 94(2): 80–5. <https://elibrary.ru/tetlnw>
21. Egorov V.V., Ivanova E.N., Fridland V.M., Rozov N.I. *Classification and Diagnostics of Soils in the USSR [Klassifikatsiya i diagnostika pochv SSSR]*. Moscow: Kolos; 1977. <https://elibrary.ru/ywvbwv> (in Russian)
22. Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I., Akimenko Yu.V., Dadenko E.V. *Methods of Biodiagnosis of Terrestrial Ecosystems [Metody biodiagnostiki nazemnykh ekosistem]*. Rostov-na-Donu; 2016. <https://elibrary.ru/xvoux> (in Russian)
23. Kazeev K.Sh., Kozun' Yu.S., Kolesnikov S.I. Using an integral indicator to assess the spatial differentiation of the biological properties of soils in southern Russia in the climate aridity gradient. *Sibirskiy ekologicheskii zhurnal*. 2015; 22(1): 112–20. <https://elibrary.ru/thegkn> (in Russian)
24. Kas'yanenko A.A. *Modern Methods of Risk Assessment in Ecology [Sovremennyye metody otsenki riskov v ekologii]*. Moscow; 2008. (in Russian)
25. Kapralova O.A. *Changes in the biological properties of soils in the city of Rostov-on-Don under heavy metal pollution*: Diss. Rostov-na-Donu; 2012. (in Russian)
26. Kolesnikov S., Minnikova T., Kazeev K., Akimenko Y., Evstegneeveva N. Assessment of the ecotoxicity of pollution by potentially toxic elements by biological indicators of haplic chernozem of Southern Russia (Rostov region). *Water Air Soil Pollut*. 2022; 233(1): 18. <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05496-3>
27. Kabata-Pendias A., Pendias H. *Trace Elements in Soils and Plants*. CRC Press; 1984.
28. Ivanov V.S., Cherkasova O.A. The role of industrial enterprises in the formation of soil pollution with cobalt, copper, lead. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta [Bulletin of Vitebsk State Medical University]*. 2011, 10(3): 143–50. (in Russian). <https://elibrary.ru/oivgfv>
29. Eliseeva N.V., Zubkova T.A., Chekhovich E.E. Content and group composition of cobalt compounds in soils of rice fields of Kuban and other soils of Russia. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of the Altai State Agrarian University]*. 2013, 2(100): 032–6. (in Russian). <https://elibrary.ru/pwvfvf>
30. Elkina G.Ya. Cobalt in the soil-plant system on podzolic soils of the European North-East of Russia. *Agrokimiya [Agrochemistry]*. 2021, 7: 75–82. (in Russian). <https://elibrary.ru/abdnxc>
31. Rak M.V., Pukalova E.N. Cobalt in soils and crop products of Belarus and the effectiveness of using cobalt fertilizer. *Pochvovedeniye i agrokimiya [Soil science and agrochemistry]*. 2016, 2: 90–99. (in Russian). <https://elibrary.ru/yqilbb>
32. Samadder S.R., Prabhakar R., Khan D., Kishan D., Chauhan M.S. Analysis of the contaminants released from municipal solid waste landfill site: a case

- study. *Sci. Total Environ.* 2017; 580: 593–601. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.003>
33. Lariionov N.S., Bogolitsyn K.G., Kuznetsova I.A. Comprehensive assessment of the impact of the solid domestic waste dump in Arkhangelsk on the components of the natural environment. *Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal.* 2011; 55(1): 93–100. <https://elibrary.ru/ntxwfmf> (in Russian)
34. Evstegneeva N.A., Kolesnikov S.I., Minnikova T.V., Timoshenko A.N., Tsepina N.I., Kazeev K.Sh. Comparative assessment of the toxicity of chemical elements by the number of bacteria in sierosands. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Seriya: Estestvennye nauki.* 2022; (3): 120–8. <https://doi.org/10.18522/1026-2237-2022-3-120-128> <https://elibrary.ru/ozslmk> (in Russian)

Информация об авторах:

Кучерова Анна Владимировна – аспирант каф. экологии и природопользования Академии биологии и биотехнологии ЮФУ, 344090, Ростов-на-Дону, Россия. E-mail: ania.kucherova@mail.ru

Колесников Сергей Ильич – доктор с.-х. наук, проф., гл. науч. сотр. лаб. «Здоровье почв», зав. каф. экологии и природопользования Академии биологии и биотехнологии ЮФУ, 344090, Ростов-на-Дону, Россия

Храпай Екатерина Сергеевна – студент Академии биологии и биотехнологии ЮФУ, Ростов-на-Дону, 344090, Россия

Минникова Татьяна Владимировна – канд. биол. наук, вед. науч. сотр. лаб. «Здоровье почв», вед. науч. сотр. лаб. «Агробиотехнологии для повышения плодородия почв и качества сельскохозяйственной продукции» Академии биологии и биотехнологии ЮФУ, Ростов-на-Дону, Россия

Кузина Анна Андреевна – канд. биол. наук, ст. науч. сотр. НОЦ «Экология и природопользование» Академии биологии и биотехнологии ЮФУ, Ростов-на-Дону, Россия

Information about the authors:

Anna V. Kucherova – Postgraduate student, Dep. of Ecology and nature management of the Academy of Biology and Biotechnology of Southern Federal University, Rostov-on-Don, 344090, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-8935-7318> E-mail: ania.kucherova@mail.ru

Sergey I. Kolesnikov – MD, PhD, DSci., prof., Chief researcher of the Lab. “Soil Health” of the Dep. of Ecology and nature management of the Academy of Biology and Biotechnology of Southern Federal University, Rostov-on-Don, 344090, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-2124-6328>

Ekaterina S. Hrapay – Student of the Academy of Biology and Biotechnology of the Academy of Biology and Biotechnology of the Southern Federal University, Rostov-on-Don, 344090, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-3910-7644>

Tatyana V. Minnikova – MD, PhD, Leading researcher of the Lab. „Soil Health“, leading researcher of the Lab. „Agrobiotechnology to increase the fertility of soil and quality of agricultural products“ of the Academy of Biology and Biotechnology of the Southern Federal University, Rostov-on-Don, 344090, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-9453-7137>

Anna A. Kuzina – MD, PhD, Senior researcher of the Scientific Educational Center „Ecology and Nature Management“ of the Academy of Biology and Biotechnology of the Southern Federal University, Rostov-on-Don, 344090, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-8816-5288>