

Оценка уровня загрязнения тяжелыми металлами почвенного покрова острова Большой Соловецкий

М.В. Морозова, М.А. Фролова, А.М. Айзеништадт,
А.А. Тарасенко, А.А. Жеребцов*

ФГАОУ ВО Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,
РФ, 163002, г. Архангельск, набережная Северной Двины, 17

*Адрес для переписки: *m.morozova@narfu.ru*

Резюме. Установлено, что окружающая природная среда острова Большой Соловецкий сталкивается с экологическими проблемами из-за растущего туризма, устаревшей инфраструктуры и ненадлежащего хранения отходов. В настоящее время на территории функционирует 16 экскурсионных маршрутов, а туристический поток в 2023 году достиг 60 тысяч человек. Ожидается, что пиковая нагрузка придется на 2029 год в связи с празднованием 600-летия основания первого монашеского поселения на Соловках. Для минимизации негативного воздействия на окружающую среду (почву, в т.ч. потенциальных сельскохозяйственных угодий) и здоровье населения необходимо осуществлять мониторинг и контроль загрязнения. Так, отбор проб осуществляли вблизи источников загрязнения, которые характеризовались различной степенью антропогенной нагрузки. Анализ результатов pH водной суспензии показал, что для исследованных территорий он находится в пределах $4.4 \div 8.9$, при средних фоновых значениях 8.1. Анализ данных по содержанию тяжелых металлов выявил превышения концентрации некоторых элементов над фоновыми значениями. Однако, рассчитанный суммарный показатель загрязнения показал, что все почвы на исследуемых территориях имеют допустимую категорию загрязнения. Вместе с тем наблюдается тенденция к накоплению тяжелых металлов в почвах. В целом, в верхнем слое почв острова Большой Соловецкий преимущественно аккумулируются цинк, свинец, хром, барий и стронций. В почвах отдельных исследуемых площадок также обнаружены ванадий и магний.

Полученные результаты исследований являются основанием для проведения дополнительных работ с целью уточнения источников загрязнения почвенного покрова, а также для создания комплексного мониторинга окружающей среды.

Ключевые слова. Почва, концентрация тяжелых металлов, pH водной вытяжки, комплекс тяжелых металлов, суммарный показатель загрязнения.

Assessment of the level of heavy metal contamination of the soil cover of Bolshoy Solovetsky Island

M.V. Morozova, M.A. Frolova, A.M. Ayzenshtadt,
A.A. Tarasenko, A.A. Zherebtsov*

Summary. It has been established that the environment of Bolshoi Solovetsky Island faces environmental problems due to growing tourism, outdated infrastructure and improper storage of waste. Currently, there are 16 excursion routes on the territory, and the tourist flow in 2023 reached 60 thousand people. It is expected that the peak load will be in 2029 in connection with the celebration of the 600th anniversary of the founding of the first monastic settlement on Solovki. To minimize the negative impact on the environment (soil, including potential agricultural land) and public health, it is necessary to monitor and control pollution. So, sampling was carried out near pollution sources, which were characterized by various degrees of anthropogenic load. Analysis of the results of the pH of the aqueous suspension showed that for the studied areas it is in the range of $4.4 \div 8.9$, with average background values of 8.1. Analysis of data on the content of heavy metals revealed an excess of the concentration of some elements over the background values. The calculated total pollution index showed that all soils in the studied areas have an acceptable pollution category, but there is a tendency towards the accumulation of heavy metals in soils. In general, zinc, lead, chromium, barium and strontium are mainly accumulated in the upper layer of the soils of Bolshoi Solovetsky Island. Vanadium and magnesium were also found in the soils of individual study sites.

The obtained research results are the basis for additional work to clarify the sources of soil pollution, as well as for the creation of comprehensive environmental monitoring

Keywords. Soil, concentration of heavy metals, pH of water extract, complex of heavy metals, total pollution index.

Введение

Поселок Соловецкий, расположенный на одноименном архипелаге в Белом море, является уникальным историческим и культурным центром России. Соловецкий монастырь, внесенный в список Всемирного наследия ЮНЕСКО, привлекает многочисленных туристов и паломников, что оказывает влияние на экологическое состояние окружающей среды (Белекова, 2021). Так, постоянный рост туристического потока вынуждает развивать инфраструктуру архипелага Соловецкий (Цветков, 2020; Авилова и др., 2023). К примеру, в настоящее время на территории действуют 16 экскурсионных маршрутов, а туристический поток по данным 2023 года составил 60 тыс. человек. Пиковую нагрузку прогнозируют на 2029 год, когда по указу президента России (от 19.10.2023 № 782) будет праздноваться 600-летие основания на Соловках первого монашеского поселения.

Помимо растущего туристического потока, на состояние природной экосистемы острова оказывают влияние действующие инженерные сооружения,

являющиеся неотъемлемой частью инфраструктуры п. Соловецкий (аэропорт, дизельная электростанция, участки грузового порта, причальный комплекс и др.), а также ненадлежащее хранение твердых коммунальных отходов (Фролова и др., 2024). В настоящее время ведется строительство нового современного полигона для утилизации твердо-бытовых отходов (ТБО), ввод в эксплуатацию которого, на наш взгляд, позволит урегулировать часть устоявшихся проблем, связанных с утилизацией ТБО на архипелаге (рис. 1). Так, на действующем полигоне уже накоплено не менее 31000 м³ твердых коммунальных отходов, что значительно превышает нормативные показатели для отведенной территории. Сложившаяся ситуация представляет опасность не только для уникальной природы заповедной зоны островов архипелага, но и для безопасности проживания на данной территории местного населения (численность местного населения составляет около 1 тыс. человек) и их хозяйственной деятельности.



Рисунок 1. Проект полигона для захоронения ТБО (источник: <https://fundsolvki.ru>):

- 1 – ограждение с въездными воротами и КПП; 2 – административно-бытовые помещения;
3 – цех сортировки и упаковки ТБО; 4 – участок грохочения; 5 – участок производства техногрунта; 6 – крытая стоянка спецтехники; 7 – площадка для тюков (хранение вторичных материальных ресурсов); 8 – площадка для контейнеров (хранение упакованных отходов);
9 – локальные очистные сооружения; 10 – резервуары и насосная станция системы пожаротушения

Figure 1. Solid waste landfill project (source: <https://fundsolvki.ru>): 1 – fence with entrance gates and checkpoint; 2 – administrative and amenity rooms; 3 – solid household waste sorting and packaging shop; 4 – screening area; 5 – technogrant production site; 6 – covered parking of special equipment; 7 – area for bales (storage of secondary material resources); 8 – site for containers (storage of packaged waste); 9 – local treatment facilities; 10 – fire extinguishing system tanks and pump station

Согласно новому проекту, полигон ТБО (далее, объект №1) включает сортировку, компостирование, упаковку и вывоз накопленных отходов на материк для последующей утилизации (Шаталов, Подкопаева, 2020; Yaashika et al., 2022; Mor, Ravindra, 2023; Sondh et al., 2022). Кроме того, будет проведена замена загрязненного грунта на всей территории полигона.

Второй, не мало важный, источник загрязняющих веществ – причал «Тамарин» (далее, объект № 2). Эта пристань – единственная на архипелаге, способная принимать большие круизные лайнеры. В текущий момент причал закрыт для посещения, так как его металлические конструкции, сваи и плиты, сильно проржавели и представляют опасность для швартовки кораблей и высадки пассажиров. В 2022 году было получено разрешение на строительство и реконструкцию существующего причала (Межлумян и др., 2024; Багдасарян 2020; Tan et al., 2024). Новый проект, охватит не только восстановление существующего причала Тамарин, но и строительство с последующей организацией дополнительного терминала – грузового участка речпорта (далее, объект № 3) для приема и разгрузки нефтеналивных танкеров (рис. 2-3).



Рисунок 2. Проектируемый технологический причал для нефтеналивных танкеров (<https://region29.ru>)

Figure 2. Planned process berth for oil tankers (<https://region29.ru>)



Рисунок 3. Причал «Тамарин» (<https://www.pomorie.ru>)

Figure 3. Berth "Tamarin" (<https://www.pomorie.ru>)

Из-за удаленности архипелага, на его территории в 1930 г. было построено здание дизельной электростанции (ДЭС), которая располагается на берегу Святого озера, к юго-востоку от Соловецкого монастыря. Данный объект стал полноценной заменой существующей гидроэлектростанции (ГЭС), единственного источника электроэнергии, работающего на Соловках с начала XX века (Коломеец, 2022; Мясоедов, Савченко, 2022; Yu, et al., 2024; Майорова и др., 2020). Однако, работа ДЭС (далее, объект № 4) основана на ежегодном завозе дизельного топлива и бензина, которые перекачиваются в специальные хранилища. Данные работы постоянно сопровождает риск периодического разлива нефтепродуктов.

Рядом с ДЭС расположена автозаправочная станция (АЗС), которая также не улучшает экологическую ситуацию острова (далее, объект № 5) (Баев, Сафронова, 2024; Павлова, Ваниев, 2022; Гармонов, и др., 2022; Антипина, 2021). Из-за ненадлежащего состояния причала Тамарин, выросла активность работы аэропорта Соловецкий (далее, объект № 6). Летающий на остров Л-410, обладая хорошими летными качествами, тем не менее выбрасывает в окружающую среду компоненты (Wang et al., 2025), которые в конечном итоге поступают в почвенный покров островов (Ересько, Клебанович, 2023; Ельчиной и др., 2021). Так, исследования состояния почв пока-

зали, что их биологическая активность постепенно снижается, а загрязнение почв тяжелыми металлами (ТМ) представляет собой серьезную экологическую проблему, способную оказывать негативное воздействие на здоровье человека, состояние растительного и животного мира, а также на качество сельскохозяйственной продукции архипелага (Расулов, и др., 2021; Сукиасян, и др., 2021; Liu, et al., 2025). Поэтому, если рассматривать почвенный покров в качестве потенциальных сельскохозяйственных угодий, важное влияние в плане распространения тяжелых металлов через растительность, оказывает такой показатель, как его кислотность (или щелочность). Учитывая уникальную историческую и экологическую ценность поселка Соловецкий, а также потенциальные риски загрязнения почв ТМ, проведение мониторинга и контроля за состоянием почвенного покрова является крайне актуальной задачей. Поэтому, *целью работы* является исследование влияния производственных объектов на почвенную среду поселка Соловецкий (концентрация ТМ, pH водной вытяжки) и классификация загрязнённости грунта по комплексу тяжелых металлов.

Результаты данных исследований, по нашему мнению, должны входить в состав комплексного мониторинга состояния окружающей среды в частности почвенного покрова по показателю «ТМ» с оценкой динамики уровня загрязнения и разработкой рекомендаций, позволяющих минимизировать негативное воздействие данного фактора на окружающую среду и здоровье населения.

Материалы и методы исследований

Почвы острова представляют собой глееподзолистые и подзолистые иллювиально-гумусовые отложения (Егоров и др., 1977). Почвенный покров неоднороден на сравнительно небольшой площади. Характер почв в основном определяется рельефом и почвообразующими породами (песками).

Расположение пробных площадок (ПП) было выбрано вблизи основных, вышеуказанных, источников загрязнения (6 объектов), которые характеризовались различной степенью антропогенной нагрузки (рис. 4). В качестве контрольной («условно» фоновой) пробной площадки выбран участок, практически не подверженный выраженной техногенной нагрузке, расположенный в 5 км от Соловецкого монастыря, рядом с о. Щучье. При этом, несмотря на некоторое различие с анализируемыми площадками природных условий, основным критерием для выбора местоположения контрольной точки сравнения использовалось достаточная удаленность местности отбора от источников возможных техногенных загрязнений, что, по нашему мнению, исключало миграционное попадание солей, содержащих анализируемые элементы. Так, наименьшее расстояние от точки отбора «условно» фоновых образцов до ближайшего источника загрязнения (грузовой участок речпорта) составляет около 3.8 км.

В санитарно-защитных зонах, окружающих каждый объект, с экспериментальных участков были взяты образцы верхнего слоя почвы с глубины не

более 20 см (август 2024 год). Процедура отбора соответствовала ГОСТ 17.4.3.01-2017. Точечные пробы (не менее 5 проб, каждая по 200 г) отбирались на пробной площадке из одного слоя методом конверта, по диагонали. Полученная объединенная проба формировалась путем перемешивания всех точечных проб, взятых на конкретном экспериментальном участке. Характеристика пробных площадей представлена в табл. 1.



Рисунок 4. Участки отбора почвенных проб на территории о. Большой Соловецкий

Figure 4. Soil sampling sites in Bolshoy Solovetsky Island

Таблица 1. Пробные площадки и точки отбора проб почвы

Table 1. Test sites and soil sampling points

Объект	Кол-во ПП	Координаты места отбора	Краткое описание местности
«Условно» фоновый участок	УФ	65.065248, 35.66081	Территория, не подвергающаяся антропогенному воздействию или испытывающая его в минимальной степени. Участок значительно удален от очагов загрязнения.
Полигон ТБО	1	65.0202337, 35.7320505	Вблизи места отбора проб расположена стройка комплекса по обращению с отходами производства и потребления, наблюдается складирование строительного мусора и бытовых отходов, шумовое загрязнение от строительной техники.
Причал Тамарин	2.1	65.0312536, 35.690771	Наблюдается мусор в виде ржавых бочек, балок, ПЭТ пакетов. Место складирования пластиковых конструкций. Береговая линия покрыта выброшенными водорослями, мертвыми медузами, раковинами моллюсков
	2.2	65.030859, 35.692518	Наличие заброшенного остова, разрушенного деревянного помоста, территория частично выложена ж/б плитами, вблизи точки забора располагаются подсобные помещения, элеваторы, места складирования материалов, береговая линия покрыта выброшенными водорослями, мертвыми медузами, раковинами моллюсков
Грузовой участок речпорта	3.1	65.0316744, 35.6893783	Наблюдается мусор в виде ржавых бочек, балок, ПЭТ пакетов. Береговая линия покрыта выброшенными водорослями, мертвыми медузами, раковинами моллюсков
	3.2	65.031342, 35.690164	Наблюдается мусор в виде ржавых бочек, балок, ПЭТ пакетов. Место складирования пластиковых конструкций. Береговая линия покрыта выброшенными водорослями, мертвыми медузами, раковинами моллюсков
ДЭС	4.1	65.0220479, 35.7127598	Вблизи участка забора проб расположен деревянный пирс. Наличие плотного растительного покрова, наличие иных загрязнений и запахи не обнаружены
	4.2	65.0214905, 35.7138142	Наличие плотного растительного покрова, наличие иных загрязнений и запахов не обнаружено
	4.3	65.0208937, 35.7175733	Вблизи места отбора проб расположены здания теплоэлектростанции, АЗС и склад ГСМ. Наличие загрязнений и запахи не обнаружены

Объект	Кол-во ПП	Координаты места отбора	Краткое описание местности
АЗС	5.1	65.0202606, 35.7147372	Вблизи места отбора проб расположено демонтируемое здание, место складирования строительного мусора и бытовых отходов, шумовое загрязнение от работающей дизельной электростанции и стройки. Запахи не обнаружены.
	5.2	65.0200935, 35.7185004	Наличие плотного растительного покрова, загрязнение бытовыми отходами (ПЭТ пакетами, стеклянными бутылками и т.д.), запахи не обнаружены
	5.3	65.0192713, 35.7154027	Вблизи места отбора проб расположены здания теплостанции, АЗС и склад ГСМ. Наличие загрязнений и запахи не обнаружены
Аэропорт	6.1	65.0327603, 35.7114358	Наличие плотного растительного покрова, наличие иных загрязнений и запахи не обнаружены
	6.2	65.0320532, 35.7283709	Наличие плотного растительного покрова, наличие иных загрязнений и запахи не обнаружены
	6.3	65.026521, 35.748789	Наличие плотного растительного покрова, какие-либо загрязнения и запахи не обнаружены
	6.4	65.0297014, 35.7229005	Наличие плотного растительного покрова, наличие иных загрязнений и запахов не обнаружено. Точка забора проб находится в непосредственной близости от входа в аэропорт

Оценку уровня химического загрязнения почв как индикатора неблагоприятного воздействия на здоровье населения проводили по показателям (СанПиН 1.2.3685-21): коэффициента концентрации химического вещества (K_c) и суммарному показателю загрязнения (Z_c):

$$K_c = (C_i / C_{fi}) \quad (1)$$

$$Z_c = \sum (K_{ci} + \dots + K_{cn}) - (n - 1), \quad (2)$$

где C_i – фактическое содержание определяемого вещества в почве, мг·кг⁻¹;
 C_{fi} – региональное фоновое содержание определяемого вещества в почве, мг·кг⁻¹;

K_{ci} – коэффициент концентрации i -го компонента загрязнения;

n – количество определяемых веществ, шт.

Отобранные пробы почвенного покрова анализировались в ЦКП «Арктика» САФУ имени М.В. Ломоносова по показателям: содержания ТМ и рН водной вытяжки.

Величина рН водной вытяжки определялась методом потенциометрии (ГОСТ 26423-85) с использованием рН-метр-ионметра «Эксперт-001-1-0,1»

и стеклянного комбинированного электрода ЭСК-10601/7 (ООО «Эконикс-Эксперт», Россия)

Валовое содержание тяжелых металлов в почвах определяли методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) согласно методике М 02-0203-09 «Измерение массовой доли тяжелых металлов в порошкообразных пробах почв», с использованием спектрофотометра EDX-800 фирмы Shimadzu (Япония).

Исследования анализируемых образцов проводились параллельно на трех пробах, полученные данные обрабатывались принятыми методами математической статистики.

Результаты и обсуждение

Анализ результатов измерений величины рН водной суспензии показал, что для исследованных территории почв поселка Соловецкий он в основном находится в пределах $4.4 \div 8.9$, при средних «условных» фоновых значениях 8.1. Наблюдается подкисление почвы вблизи территорий полигона ТБО.

В образцах грунта, взятых около пристани «Тамарин» (ПП 2.1) и грузовой зоны речного порта (ПП 3.1 и 3.2), фиксируется тенденция к повышению рН (в среднем 8.1). Это указывает на снижение миграции химических элементов с последующей аккумуляцией их в почвах. Вероятно, данный факт связан с тем, что береговая зона между этими объектами расположена в искусственно образованной акватории, которая препятствует разбавлению загрязняющих компонентов (нефтепродуктов, смол, бензина) морской водой. Также, периодические затопления дока способствуют распространению вредных веществ по поверхности грунта в этой области. Например, на второй площадке для проб у пристани «Тамарин» (вдали от бухты и речного порта) рН соответствует нейтральному значению.

Почвы, находящиеся вблизи дизельной электростанции, автозаправочной станции и аэропорта, характеризуются благоприятными свойствами для работы почвенных ферментов. Так, средняя величина рН для них составила 5.8, следовательно территории не подвержены чрезмерному загрязнению и обладают способностью к самоочищению.

Если учитывать факт оптимального значения рН водной вытяжки для хорошего плодородия почвы, равное $5 \div 7$ единиц, то можно констатировать, что данный показатель для «условных» фоновых образцов превышает указанный диапазон. Так, установлено, что в щелочной почве наблюдается затруднение процесса усвоения растениями, например, цинка, магния. Однако, вблизи полигона ТБО, здания дизельной электростанции и АЗС возможна «растительная» миграция тяжелых металлов.

Вместе с тем, следует отметить установленный факт влияния содержания нефтепродуктов в почвенном покрове на величину рН водной вытяжки. Так, в (Мерзлякова, Околелова, и др., 2017; Шаркова, 2011) отмечается, что загрязнение нефтепродуктами приводит к снижению почвенной кислотности, а их содержание в точках отбора проб, например, объекта (коды № 6.2 и 6.3) «Аэропорт» изменяется в диапазоне от 1900 до 2300 мг/кг. В то же время, ано-

мально высокое значение рН «условно» фоновых проб может быть связано, скорее всего, с отличительными особенностями почвы, залегающей в данной местности (к примеру, загрязненность пробы минералами с избыточной щелочностью), так как концентрация нефтепродуктов в данной точке – 37-77 мг/кг. Так, на территории п. Соловецкий отмечаются почвы с высокой щелочной реакцией (рН>8), которые встречаются локально, и связаны с выходом карбонатных пород на поверхность. Именно этот факт и определяет значение рН в данной точке отбора.

Анализ данных по содержанию тяжелых металлов (табл. 2) показал, что наблюдаются превышения концентрации некоторых элементов над «условно» фоновыми значениями (Zn, Pb, Cr, Ba, Sr, V и Mg).

Таблица 2. Содержание тяжелых металлов в почвах (мг·кг⁻¹)

Table 2. Heavy metal content in soils (mg·kg⁻¹)

Объект	ПП	рН вод. выт.	Zn	Pb	Cr	Ni	Cu	Mo	Ba	Sr	V	Mg
Условный фоновый	УФ	8.1	< 42	< 24	70	< 200	< 200	< 38	620	310	< 80	< 6200
ТБО	1	5.8	150	< 24	70	< 200	< 200	< 38	570	320	< 80	< 6200
Причал «Тамарин»	2.1	8.2	310	100	100	< 200	< 200	< 38	1200	290	80	< 6200
	2.2	6.6	80	< 24	80	< 200	< 200	< 38	680	320	< 80	< 6200
Речпорт	3.1	7.8	50	< 24	80	< 200	< 200	< 38	680	340	< 80	< 6200
	3.2	8.4	100	30	80	< 200	< 200	< 38	510	310	< 80	< 6200
ДЭС	4.1	6.2	< 42	< 24	80	< 200	< 200	< 38	760	330	< 80	< 6200
	4.2	6.0	70	50	80	< 200	< 200	< 38	640	340	< 80	< 6200
	4.3	7.2	< 42	< 24	70	< 200	< 200	< 38	730	330	< 80	< 6200
АЗС	5.1	4.6	< 42	< 24	70	< 200	< 200	< 38	320	290	< 80	< 6200
	5.2	5.8	160	50	90	< 200	< 200	< 38	580	340	80	6800
	5.3	8.3	120	130	90	< 200	< 200	< 38	520	310	90	8670
Аэропорт «Соловки»	6.1	4.4	< 42	< 24	70	< 200	< 200	< 38	< 400	200	< 80	< 6200
	6.2	6.5	160	< 24	80	< 200	< 200	< 38	570	340	< 80	< 6200
	6.3	8.9	< 42	< 24	70	< 200	< 200	< 38	< 400	220	< 80	< 6200
	6.4	4.9	70	< 24	80	< 200	< 200	< 38	520	310	< 80	< 6200
ПДК/ОДК, мг·кг ⁻¹			-/220	-/130	н/д	-/80	-/132	н/д	н/д	н/д	150/-	н/д
Класс опасности			1	1	2	2	2	2	3	3	3	3

Примечание: величины ПДК/ОДК взяты из СанПиН 1.2.3685-21 (табл. 4.1);

«н/д» – нет данных;

обозначение « < » перед числом показывает, что найденное значение меньше указанного

Из данных (табл. 2) следует, что для 28% проб почв (из всех пробных площадок) наблюдается превышение концентраций ТМ по сравнению с «условно» фоновым участком (выделены полужирным). Также наблюдается превышение ОДК в одной из точек около причала на 90 мг/кг. Кроме того, 68% измеренных значений выходят за предел обнаружения прибора (получены низкие значения). Несмотря на это, установлено, что концентрации никеля и меди во всех точках не соответствуют установленным нормативам ОДК ($Ni > 120$ мг/кг, $Cu > 68$ мг/кг). В целом же валовые содержания тяжелых металлов не превышают ПДК/ОДК (СанПиН 1.2.3685-21, Табл. 4.1).

В табл. 3 представлены данные по вариабельности полученных значений.

Таблица 3. Среднее квадратичное отклонение концентраций тяжелых металлов от «условно» фонового значения

Table 3. Mean quadratic deviation of heavy metal concentrations from the "conditional" background value

Объект	Zn	Pb	Cr	Ni	Cu	Mo	Ba	Sr	V	Mg
ТБО	±54	±0	±0	±0	±0	±25	±5	±	±0	±0
Причал «Тамарин»	± 118	±36	± 12	±0	±0	±0	± 260	±12	±0	±0
Речпорт	±26	±3	±5	±0	±0	±0	±70	±14	±0	±0
ДЭС	±12	±11	±5	±0	±0	±0	±59	±11	±0	±0
АЗС	±51	± 43	±10	±0	±0	±0	±115	±18	±4	± 1013
Аэропорт «Соловки»	±46	±0	±5	±0	±0	±0	±89	± 55	±0	±0
Условный фоновый	< 42	< 24	70	< 200	< 200	< 38	620	310	< 80	< 6200

Анализ данных (табл. 3) показал, что в пробах почвы у причала Тамарин присутствуют достаточно большие отклонения от среднего значения по цинку, хрому и барии. На пробных площадках у АЗС отклонения есть по свинцу и магнию. У аэропорта повышена концентрация стронция. Однако, данные отклонения не превышают ПДК/ОДК, а их незначительное накопление может объясняться деятельностью морских и воздушных судов, а также автотранспорта.

Для сравнительного анализа изменения содержания тяжелых металлов в почве п. Соловецкий за период 2016-2024 г.г. использованы данные по концентрации таких элементов, как Zn, Pb, Cr и Sr, полученные ранее в (Попова, Андреева, Никитина, 2016) и нами, в результате экспедиционной поездки в 2024 году (рис. 5). Так, за восемь лет содержание определяемых элементов снизилось: для АЗС содержание цинка и свинца на 40%, стронций на 6.5%; для аэропорта концентрация свинца на 80%, стронция на 68%, хрома – практически не изменилась. При этом наблюдается незначительное повышение содержания хрома (30%) и цинка (21%) на данных территориях, соответственно.

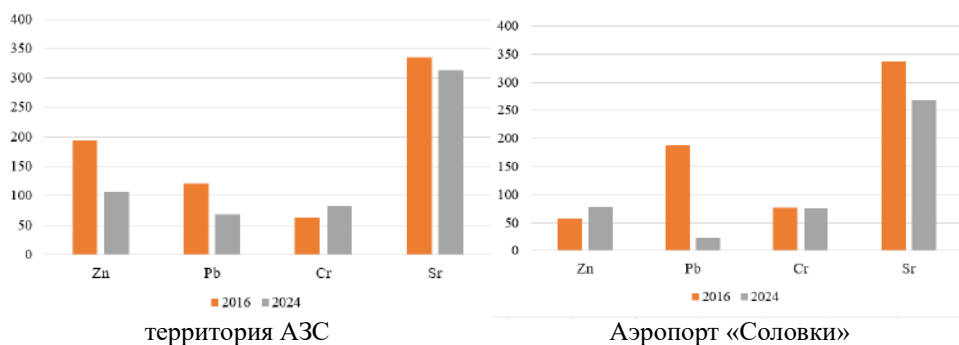


Рисунок 5. Динамика загрязнения почв о. Большой Соловецкий тяжелыми металлами

Figure 5. Dynamics of soil pollution on Bolshoi Solovetsky Island with heavy metals

На рис. 6 представлена степень загрязнения ПП по состоянию на 2024 год.

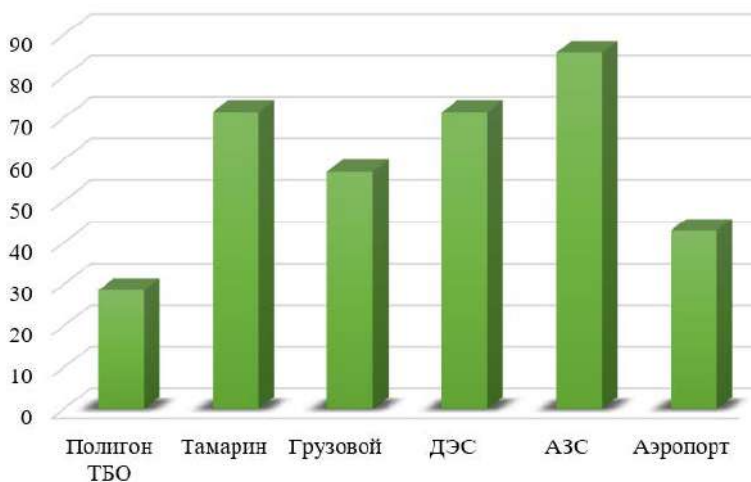


Рисунок 6. Процент загрязнения почвы тяжёлыми металлами по объектам исследования

Figure 6. Percentage of soil contamination with heavy metals by study objects

Рис. 6 демонстрирует, что максимальные уровни загрязнения тяжелыми металлами зафиксированы вблизи автозаправочных станций, причала «Тамарин» и дизельной электростанции. Вероятными источниками загрязнения на этих участках могут являться утечки топлива, выхлопные газы автотранспорта и различные смазочные материалы. Таким образом, несмотря на относительно благоприятные показатели водной вытяжки (рН), почвы в указанных локациях подвержены значительному загрязнению цинком (67%), хромом (60%), барием (40%), свинцом (27%), стронцием (8%), ванадием (3%) и магнием (2%). Кроме того, на отдельных пробных площадках наблюдается повышенное содержание Zn (превышение фоновых концентраций исследуемых веществ в 2-7 раз), Pb (в 5 раз), Ba (в 2 раза) и Mg (в 1.5 раза).

Таблица 4. Коэффициент концентрации химических веществ (тяжелых металлов)
в пробах почв

Table 4. Concentration factor of chemical substances (heavy metals) in soil samples

Объект	Коэффициент концентрации тяжелых металлов в почве,										Z _c
	Zn	Pb	Cr	Ni	Cu	Mo	Ba	Sr	V	Mg	
ТБО	3.6	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	3.6
Причал «Тамарин»	7.4	4.2	1.4	1.0	1.0	1.0	1.9	0.9	1.0	1.0	11.5
	1.9	1.0	1.1	1.0	1.0	1.0	1.1	1.0	1.0	1.0	1.9
Речпорт	1.2	1.0	1.1	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	1.0	1.0	-
	2.4	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0	0.8	1.0	1.0	1.0	2.4
ДЭС	1.0	1.0	1.1	1.0	1.0	1.0	1.2	1.1	1.0	1.0	-
	1.7	2.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.0	1.0	2.8
	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2	1.1	1.0	1.0	-
АЗС	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	0.9	1.0	1.0	-
	3.8	2.1	1.3	1.0	1.0	1.0	0.9	1.1	1.0	1.1	4.9
	2.9	5.4	1.3	1.0	1.0	1.0	0.8	1.0	1.1	1.4	7.3
Аэропорт «Соловки»	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.6	0.6	1.0	1.0	-
	3.8	1.0	1.1	1.0	1.0	1.0	0.9	1.1	1.0	1.0	3.8
	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.6	0.7	1.0	1.0	-
	1.7	1.0	1.1	1.0	1.0	1.0	0.8	1.0	1.0	1.0	1.7

Рассчитанный на основе коэффициентов концентрации ТМ в почве суммарный показатель загрязнения (табл. 4), показал, что все почвы на рассматриваемых пробных площадках имеют допустимую категорию загрязнения, (СанПиН 1.2.3685-21).

Вместе с тем, наблюдается незначительное повышение уровня концентрации ТМ в почве анализируемых территорий. Поэтому, необходимы дополнительные исследования, направленные на уточнение источников загрязнения почвенного покрова (природные, антропогенные) прежде всего цинком, свинцом, хромом, барием и стронцием. Также необходимо определить точное значение содержания никеля, меди и ванадия, высокий уровень концентрации этих элементов отмечается даже в «условно» фоновых образцах.

Заключение

Изучение пространственного распределения геохимических параметров почвенного покрова дало возможность определить тенденции незначительного накопления тяжелых металлов. Были идентифицированы основные факторы техногенного влияния на экологическую обстановку и здоровье жителей поселка (среди них – полигон твердых бытовых отходов, пристань «Тамарин», грузовая зона речного порта, дизельная электростанция, автозаправочная станция и аэропорт).

Анализ водной вытяжки выявил, что в окрестностях полигона ТБО, ДЭС, АЗС и аэропорта наблюдается повышение кислотности почв. Значения

рН образцов, взятых около пристани «Тамарин» и грузового участка речпорта, демонстрируют сдвиг в сторону щелочной реакции, что характерно для «условно» фоновых объектов.

Определение общего содержания тяжелых металлов показало превышение концентраций некоторых элементов по сравнению с «условно» фоновыми показателями. В целом, в верхнем слое почв п. Соловецкий преимущественно аккумулируются цинк, свинец, хром, барий и стронций. В почвах отдельных исследуемых площадок также обнаружены ванадий, хром и магний.

В настоящий момент можно констатировать факт благополучного экологического состояния почв о. Большой Соловецкий, которые характеризуются допустимой категорией уровня загрязнений, но необходим дальнейший мониторинг по изучению путей миграции элементов и поиску источников их накопления.

Работа выполнена за счет средств проекта государственного задания FSRU-2024-0037 «Комплексная оценка антропогенного воздействия на территорию поселка Соловецкий острова Большой Соловецкий»

Список литературы

Авилова, Е.А., Демидова, В.Д., Кузина, Е.Ю. (2023) Стратегии развития туристического бизнеса в современных условиях, В сборнике: *Актуальные проблемы менеджмента и маркетинга в области внешнеэкономической деятельности. сборник научных статей студентов и аспирантов*, Москва, с. 7-15.

Антипина, О.И. (2021) Анализ рисков технологических процессов слива-налива на автозаправочных станциях российской федерации, *Modern Science*, № 1-1, с. 418-427.

Багдасарян, А.А. (2020) Основные экологические проблемы Северного морского пути в перспективе его развития, *Российская Арктика*, № 9, с. 17-29.

Баев, А.А., Сафронова, И.Г. (2024) Анализ экологического состояния автозаправочных станций, *Тенденции развития науки и образования*, № 109-13, с. 14-17.

Белекова, А.Т. (2021) Стратегии управления объектами всемирного природного наследия ЮНЕСКО: опыт России, *Известия Академии наук Республики Таджикистан, Отделение общественных наук*, № 1(262), с. 21-28.

Гармонов, К.В., Жерлыкина, М.Н., Макаров, А.Р., Жерлицина, А.С. (2022) Обоснование мероприятий по повышению экологической безопасности городских автозаправочных станций, *Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура*, № 2(21), с. 96-105.

Егоров, В.В., Фридланд, В.М., Иванова, Е.Н. и др. (1977) *Классификация и диагностика почв СССР*, Москва, Колос, 223 с.

Ельчианинова, О.А., Кузнецова, О.В., Чичинова, Г.В., Дементьева, О.К., Кудачинова, А.А. (2021) Влияние туристско-рекреационной деятельности на

физические свойства почв прибрежной территории Телецкого озера, в сборнике: *Научный вестник Горно-Алтайского государственного университета*, ответственный редактор М.Г. Сухова, Горно-Алтайский государственный университет, Горно-Алтайск, с. 26-34.

Ересько, М.А., Клебанович, Н.В. (2023) Показатели физических свойств почв для комплексной экологической оценки состояния почвенного покрова, *Земля Беларуси*, № 3, с. 44-52.

Жаббаров, З.А., Атоева, Г.Р., Сайитов, С.С. (2021) Загрязнение почв тяжелыми металлами вокруг полигона твердых бытовых отходов города Ташкента, *Научное обозрение. Биологические науки*, № 2, с. 17-23.

Коломеец, С.Д. (2022) Повышение эффективности функционирования дизельных электростанций, *Матрица научного познания*, № 3-1, с. 45-49.

Майорова, Ю.А., Пашук, Е.В., Смокталь, Н.Н. (2020) Способы снижения потребления топлива дизельными электростанциями, *Энергетические установки и технологии*, т. 6, № 2, с. 77-87.

Межлумян, М.З., Степкина, А.В., Крикун, К.С. (2024) Приоритетные национальные проекты в Российской Федерации: ключевые цели и ожидаемые результаты, *Региональная и отраслевая экономика*, № 1, с. 135-141.

Мерзлякова, А.С., Околелова, А.А., Заикина, В.Н., Пасикова, А.В. (2017) Изменение свойств нефтезагрязненных почв, *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*, № 2, с. 173-180.

Мясоедов, Ю.В., Савченко, Д.А. (2022) Повышение надежности и качества электроснабжения территориально изолированных районов путем перевода дизельных электростанций в гибридные, *Вестник Амурского государственного университета. Серия Естественные и экономические науки*, № 97, с. 97-101.

Павлова, Л.В., Ваниев, А.Ю. (2022) Влияние транспортных средств и автозаправочных станций на здоровье и экологию, *Тенденции развития науки и образования*, № 86-8, с. 132-135.

Попова, Л.Ф., Андреева, Ю.И., Никитина, М.В. (2016) Оценка уровня загрязнения почвенно-растительного покрова острова Большой Соловецкий тяжелыми металлами, *Принципы экологии*, № 2. с. 62-69, doi: 10.15393/j1.art.2016.5002.

Расулов, О.У., Каримов, Б.Ю., Зоиров, Ф.Б., Халифаев, Ф.А. (2021) Анализ загрязнения почвы тяжелыми металлами в условиях сильного загрязнения промышленных зон, *Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования*, № 3(55), с. 53-57.

Сукиасян, А.Р., Киракосян, А.А. (2020) Загрязнение тяжелыми металлами речной воды и прибрежной почвы, близлежащих к территории хвостохранилища, *Вода и экология, проблемы и решения*, № 3(83), с. 79-84.

Фролова, М.А., Морозова, М.В., Гарамов, Г.А., Айзенштадт, А.М. (2024) Оценка антропогенного воздействия на территорию поселка Соловецкий (Соловецкий архипелаг, Архангельская область), *Жилищное строительство*, № 12, с. 55-61.

Цветков, А.Ю. (2020) Транспортно-инфраструктурные основы стратегии развития туризма в архангельской области, *Арктика и Север*, № 38, с. 44-55.

Шаркова, С.Ю. (2011) Изменение химических характеристик почвы под действием нефтезагрязнения, *Известия Пензенского государственного педагогического университета имени В. Г. Белинского*, № 25, с. 610-613.

Шаталов, П.В., Подкопаева, А.Л. (2020) Переработка отходов, как решение глобальной экологической проблемы в мире, *Инновации, технологии и бизнес*, № 1 (7), с. 97-101.

Liu, H., Chang, J., Zhao, F., Shen, L., Yang, K., Chen, L. (2025) Impact of urban expansion on soil heavy metal pollution. A comparison of new and old urban blocks, *Ecological Frontiers*, doi.org/10.1016/j.ecofro.2025.05.020.

Mor, S., Ravindra, K. (2023) Municipal solid waste landfills in lower- and middle-income countries. Environmental impacts, challenges and sustainable management practices, *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 174, p. 510-530.

Sondh, S., Upadhyay, D.S., Patel, S., Patel, R.N. (2022) A strategic review on Municipal Solid Waste (living solid waste) management system focusing on policies, selection criteria and techniques for waste-to-value, *Journal of Cleaner Production*, p. 131908.

Tan, S., Zhang, T., Yang, Z. (2024) Vertical distribution patterns and ecological risk assessment of heavy metal(loid)s pollution in a sediment profile from Bohai Sea, *Marine Pollution Bulletin*, vol. 209, p. 117089, doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.117089.

Wang, S., Liu, H., Rinaldi, M., Tsang, Y.P. (2025) Evaluating the impact of air corridors on the environment and public interests, *Transportation Research Part D. Transport and Environment*, vol. 143, p. 104732, doi.org/10.1016/j.trd.2025.104732.

Yaashikaa, P.R., Kumar, P.S., Nhung, T.C., Hemavathy, R.V., Jawahar, M.J., Neshanthini, J.P., Rangasamy, G. (2022) A review on landfill system for municipal solid wastes: Insight into leachate, gas emissions, environmental and economic analysis, *Chemosphere*, vol. 309, p. 1, Art. 136627, doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136627.

Yu, Li, Yixi, Cuomu, Yiming, Gao, Guoqin, Lv, Weiwei, Lin, Sirui, Li. (2024) Study on green power supply modes for heavy load in remote areas, *Global Energy Interconnection*, vol. 7.I.4, p. 475-485, doi.org/10.1016/j.gloe.2024.08.011.

References

Avilova, E.A., Demidova, V.D., Kuzina, E.Yu. (2023) Strategii razvitiya turistskogo biznesa v sovremennykh usloviyakh [Strategies for the development of the tourism business in modern conditions], *V sbornike Aktual'nye problemy menedzhmenta i marketinga v oblasti vneshneekonomicheskoy deyatel'nosti. sbornik nauchnykh statej studentov i aspirantov*, Moscow, Russia, pp. 7-15.

Antipina, O.I. (2021) Analiz riskov tekhnologicheskikh protsessov slivaliva na avtozapravochnykh stantsiyakh rossijskoj federatsii [Analysis of the risks of technological processes of filling and unloading at gas stations in the Russian Federation], *Modern Science*, no. 1-1, pp. 418-427.

Bagdasaryan, A.A. (2020) Osnovnye ekologicheskie problemy Severnogo morskogo puti v perspektive ego razvitiya [The main environmental problems of the Northern Sea Route in the future of its development], *Rossiyskaya Arktika* [The Russian Arctic], no. 9, pp. 17-29.

Baev, A.A., Safronova, I.G. (2024) Analiz ekologicheskogo sostoyaniya avtozapravochnykh stantsij [Analysis of the ecological condition of gas stations], *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya* [Trends in the development of science and education], no. 109-13, pp. 14-17.

Belekova, A.T. (2021) Strategii upravleniya ob"ektami vseirnogo prirodnogo naslediya YuNESKO, opyt Rossii [UNESCO World Natural Heritage Management Strategies: Russian experience], *Izvestiya Akademii nauk Respubliki Tadzhikistan, Otdelenie obshchestvennykh nauk* [Proceedings of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan, Department of Social Sciences], no. 1(262), pp. 21-28.

Garmonov, K.V., Zherlykina, M.N., Makarov, A.R., Zherlitsina, A.S. (2022) Obosnovanie meropriyatij po povysheniyu ekologicheskoy bezopasnosti gorodskikh avtozapravochnykh stantsij [Justification of measures to improve the environmental safety of urban gas stations], *Zhilishchnoe khozyajstvo i kommunal'naya infrastruktura* [Housing and communal infrastructure], no. 2(21), pp. 96-105.

Egorov, V.V., Friedland, V.M., Ivanova, E.N. et al. (1977) *Klassifikaciya i diagnostika pochv SSSR* [Classification and diagnosis of soils of the USSR], Moscow, Kolos, 223 p.

El'chinina, O.A., Kuznetsova, O.V., Chichinova, G.V., Dement'eva, O.K., Kudachinova, A.A. (2021) *Vliyanie turistsko-rekreatsionnoj deyatel'nosti na fizicheskie svoystva pochv pribrezhnoj territorii Teletskogo ozera* [The influence of tourist and recreational activities on the physical properties of soils in the coastal area of Lake Teletskoye], v sbornike: Nauchnyj vestnik Gorno-Altajskogo gosudarstvennogo universiteta, sbornik statej, otvetstvennyj redaktor M.G. Sukhova, Gorno-Altajskij gosudarstvennyj universitet, Gorno-Altajsk, pp. 26-34.

Eres'ko, M.A., Klebanovich, N.V. (2023) Pokazateli fizicheskikh svoystv pochv dlya kompleksnoj ekologicheskoy otsenki sostoyaniya pochvennogo pokrova [Indicators of physical properties of soils for a comprehensive environmental

assessment of the state of the soil cover], *Zemlya Belarusi* [The Land of Belarus], no. 3, pp. 44-52.

Zhabbarov, Z.A., Atoeva, G.R., Sajitov, S.S. (2021) Zagryaznenie pochv tyazhelymi metallami vokrug poligona tverdykh bytovykh otkhodov goroda Tashkenta [Soil pollution with heavy metals around the Tashkent municipal solid waste landfill], *Nauchnoe obozrenie. Biologicheskie nauki* [Scientific review. Biological sciences], no. 2, pp. 17-23.

Kolomeets, S.D. (2022) Povyshenie effektivnosti funktsionirovaniya dizel'nykh elektrostantsij [Improving the efficiency of diesel power plants], *Matritsa nauchnogo poznaniya* [The matrix of scientific knowledge], no. 3-1, pp. 45-49.

Majorova, Yu.A., Pashchuk, E.V., Smoktal', N.N. (2020) Sposoby snizheniya potrebleniya topliva dizel'nyimi elektrostantsiyami [Ways to reduce fuel consumption by diesel power plants], *Energeticheskie ustanovki i tekhnologii*, [Power plants and technologies] vol. 6, no. 2, pp. 77-87.

Mezhlumyan, M.Z., Stepkina, A.V., Krikun, K.S. (2024) Prioritetnye natsional'nye proekty v Rossijskoj Federatsii, klyuchevye tseli i ozhidaemye rezul'taty [Priority national projects in the Russian Federation: key objectives and expected results], *Regional'naya i otraslevaya ekonomika* [Regional and sectoral economics], no.1, pp. 135-141.

Merzlyakova, A.S., Okolelova, A.A., Zaikina, V.N., Pasikova, A.V. (2017) Izmenenie svojstv neftezagryaznennykh pochv [Changes in the properties of oily soils], *Izvestiya vuzov. Prikladnaya himiya i biotekhnologiya* [News of universities. Applied Chemistry and Biotechnology], no. 2, pp. 173-180.

Myasoedov, Yu.V., Savchenko, D.A. (2022) Povyshenie nadezhnosti i kachestva elektrosnabzheniya territorial'no izolirovannykh rajonov putem perevoda dizel'nykh elektrostantsij v gibridnye [Improving the reliability and quality of electricity supply in geographically isolated areas by converting diesel power plants to hybrid ones], *Vestnik Amurskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Estestvennye i ekonomicheskie nauki* [Bulletin of Amur State University. Series: Natural and Economic Sciences], no. 97, pp. 97-101.

Pavlova, L.V., Vaniev, A.Yu. (2022) Vliyanie transportnykh sredstv i avtozapravochnykh stantsij na zdorov'e i ekologiyu [The impact of vehicles and gas stations on health and the environment], *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya* [Trends in the development of science and education], no. 86-8, pp. 132-135.

Popova, L.F., Andreeva, Yu.I., Nikitina, M.V. (2016) Ocenka urovnya zagryazneniya pochvenno-rastitel'nogo pokrova ostrova Bol'shoj Soloveckij tyazhelymi metallami [Assessment of the level of pollution of the soil and vegetation cover of Bolshoy Solovetsky Island with heavy metals], *Principy ekologii* [Principles of Ecology], no. 2. pp 62-69, doi: 10.15393/j1.art.2016.5002.

Rasulov, O.U., Karimov, B.Yu., Zoirov, F.B., Khalifaev, F.A. (2021) Analiz zagryazneniya pochvy tyazhelymi metallami v usloviyakh sil'nogo zagryazneniya

promyshlennykh zon [Analysis of soil contamination with heavy metals in highly polluted industrial areas], *Politekhnikeskij vestnik. Seriya, Inzhenernye issledovaniya* [Polytechnic Bulletin, Series, Engineering Research], no. 3(55), pp. 53-57.

Sukiasyan, A.R., Kirakosyan, A.A. (2020) Zagryaznenie tyazhelymi metallami rechnoj vody i pribrezhnoj pochvy, blizlezhashchikh k territorii khvostokhranilishcha [Heavy metal pollution of river water and coastal soil adjacent to the tailings storage area], *Voda i ekologiya: problemy i resheniya* [Water and ecology: problems and solutions], no. 3(83), pp. 79-84.

Frolova, M.A., Morozova, M.V., Garamov, G.A., Ajzenshtadt, A.M. (2024) Otsenka antropogennogo vozdejstviya na territoriyu poselka Colovetskij (Colovetskij arhipelag, Arkhangel'skaya oblast') [Assessment of anthropogenic impact on the territory of the village of Solovetsky (Solovetsky archipelago, Arkhangelsk region)], *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing construction], no. 12, pp. 55-61.

Tsvetkov, A.Yu. (2020) Transportno-infrastrukturnye osnovy strategii razvitiya turizma v arkhangel'skoj oblasti [Transport and infrastructure foundations of the tourism development strategy in the Arkhangelsk region], *Arktika i Sever* [The Arctic and the North], no. 38, pp. 44-55.

Sharkova, S.Yu. (2011) Izmenenie himicheskikh harakteristik pochvy pod dejstviem neftezagryazneni [Change in soil chemical characteristics due to oil pollution], *Izvestiya Penzenskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta imeni V. G. Belinskogo* [News of the Penza State Pedagogical University named after V. G. Belinsky], no. 25, pp. 610-613

Shatalov, P.V., Podkopaeva, A.L. (2020) Pererabotka otkhodov, kak reshenie global'noj ekologicheskoy problemy v mire [Waste recycling as a solution to the global environmental problem in the world], *Innovatsii, tekhnologii i biznes* [Innovation, technology and business], no. 1 (7), pp. 97-101.

Liu, H., Chang, J., Zhao, F., Shen, L., Yang, K., Chen, L. (2025) Impact of urban expansion on soil heavy metal pollution. A comparison of new and old urban blocks, *Ecological Frontiers*, doi.org/10.1016/j.ecofro.2025.05.020.

Mor, S., Ravindra, K. (2023) Municipal solid waste landfills in lower- and middle-income countries. Environmental impacts, challenges and sustainable management practices, *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 174, pp. 510-530.

Sondh, S., Upadhyay, D.S., Patel, S., Patel, R.N. (2022) A strategic review on Municipal Solid Waste (living solid waste) management system focusing on policies, selection criteria and techniques for waste-to-value, *Journal of Cleaner Production*, p. 131908.

Tan, S., Zhang, T., Yang, Z. (2024) Vertical distribution patterns and ecological risk assessment of heavy metal(loid)s pollution in a sediment profile from Bohai Sea, *Marine Pollution Bulletin*, vol. 209, p. 117089, doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.117089.

Wang, S., Liu, H., Rinaldi, M., Tsang, Y.P. (2025) Evaluating the impact of air corridors on the environment and public interests, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 143, p. 104732, doi.org/10.1016/j.trd.2025.104732.

Yaashikaa, P.R., Kumar, P.S., Nhung, T.C., Hemavathy, R.V., Jawahar, M.J., Neshanthini, J.P., Rangasamy, G. (2022) A review on landfill system for municipal solid wastes: Insight into leachate, gas emissions, environmental and economic analysis, *Chemosphere*, vol. 309, p. 1, Art. 136627, doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136627.

Yu, Li, Yixi, Cuomu, Yiming, Gao, Guoqin, Lv, Weiwei, Lin, Sirui, Li. (2024) Study on green power supply modes for heavy load in remote areas, *Global Energy Interconnection*, vol. 7.I.4, pp. 475-485, doi.org/10.1016/j.gloi.2024.08.011.

Статья поступила в редакцию (Received): 30.10.2025.

Статья доработана после рецензирования (Revised): 28.01.2026.

Для цитирования / For citation:

Морозова, М.В., Фролова, М.А., Айзенштадт, А.М., Тарасенко, А.А., Жеребцов, А.А. (2026) Оценка уровня загрязнения тяжелыми металлами почвенного покрова острова Большой Соловецкий, *Экологический мониторинг и моделирование экосистем*, т. XXXVII, № 1-2, с. 46-65, doi: 10.21513/0207-2564-2026-1-2-46-65.

Morozova, M.V., Frolova, M.A., Ayzenshtadt, A.M., Tarasenko, A.A., Zhrebtssov, A.A. (2026) Assessment of the level of heavy metal contamination of the soil cover of Bolshoy Solovetsky Island, *Ecological monitoring and modeling of ecosystems*. vol. XXXVII, no. 1-2, pp. 46-65, doi: 10.21513/0207-2564-2026-1-2-46-65.