

# Исследования почвенно-растительного покрова в зоне влияния шлаковых отвалов черной металлургии

Екатерина Сергеевна ЗОЛотова\*

Институт геологии и геохимии им. акад. А. Н. Заварицкого УрО РАН, Екатеринбург, Россия

## Аннотация

**Актуальность работы.** Шлаковые отвалы черной металлургии занимают огромные площади по всему миру и являются серьезными источниками загрязнения окружающей среды. Крайне актуальны исследования по экологическому мониторингу техногенных территорий и их рекультивации.

**Цель работы** – анализ исследований почв и растительности вблизи шлаковых отвалов черной металлургии, находящихся на территории России.

**Методы изучения.** Обзор исследований проведен по критериям PRISMA с использованием баз данных Google Scholar и Elibrary.

**Результаты.** Представлена характеристика более чем четырнадцати отвалов доменных, сталеплавильных и ферросплавных шлаков, указан их основной химический состав. Исследования почвенно-растительного покрова, сформировавшегося на отвалах, немногочисленны. Приведена геохимическая оценка некоторых техногенных почв и растительности в зоне влияния предприятий, описано видовое разнообразие фитоценозов, образованных в процессе самозарастания отвалов. Отдельно рассмотрено воздействие отвалов солевых шлаков на экологию близлежащих территорий. Выполнены эксперименты по изучению влияния высокодисперсного шлама на сельскохозяйственные культуры. Показана возможность использования шлаков для восстановления нарушенных земель, например, феррохромовых шлаков Челябинского электрометаллургического комбината для рекультивации угольного карьера разреза «Батуринский».

**Выводы.** Проведенный анализ позволил обобщить данные о мониторинговых исследованиях почвенно-растительных систем в зоне влияния отвалов черной металлургии в России, показал пробелы в знаниях о загрязнении окружающей среды, динамике накопления тяжелых металлов разными видами почв и растений, а также способах их адаптации в условиях сильной техногенной нагрузки.

**Ключевые слова:** металлургический шлак, отвалы черной металлургии, тяжелые металлы, мониторинг окружающей среды, загрязнения.

## Введение

Черная металлургия – одна из старейших и базовых отраслей промышленности, ее доля составляет 10 % от мирового производства [1, 2]. Лидерами в данной области являются Китай и Индия, Россия занимает пятое место. В связи с интенсификацией производства вопросы минимизации влияния предприятий на окружающую среду крайне актуальны [3, 4]. Утилизации отходов черной металлургии уделяется много внимания [5, 6]. Однако до сих пор большинство отходов складывается в отвалах, шламохранилищах, которые занимают большие территории и являются источниками загрязнения окружающей среды [7, 8].

Шлаки черной металлургии подразделяются на доменные (при выплавке чугуна), сталеплавильные (мартеновские, конверторные, электросталеплавильные) и ферросплавные. В мире ежегодно предприятия черной металлургии образуют около 310–380 млн т шлаков при производстве чугуна, 180–270 млн т – при получении стали [6]. В России площади, занятые шлаковыми отвалами, превышают 2,2 тыс. га [9]. Известно, что при длительном хранении происходят изменения состава и свойств шла-

ков, возрастает миграция токсичных элементов в окружающую среду [10, 11].

Довольно много исследований посвящено изучению влияния шлаковых отвалов черной металлургии на водные экосистемы [8, 12–14]. Значительно меньше внимания уделено загрязнению почв и растений вблизи металлургических производств, а также формированию почвенно-растительного покрова на самих отвалах. Анализ исследований, проводимых по этому направлению в России, и ставится целью данного литературного обзора.

## Методы исследования

Обзор исследований проведен по критериям PRISMA [15] с использованием баз данных Google Scholar и Elibrary. Поиск проводился по запросу «Отвалы черной металлургии». Критерии отбора: исследования должны проводиться на территории России. Объект изучения – растительность и почвы вблизи предприятий черной металлургии.

## Результаты исследований

Лидером по количеству образующихся техногенных отходов среди субъектов РФ является Кемеровская область (Кузбасс), табл. 1. В шлаковых отвалах металлургии-

\*zolotova@igg.uran.ru

**Таблица 1. Краткая характеристика некоторых шлаковых отвалов черной металлургии (Россия)**  
**Table 1. Brief characteristics of some slag dumps of ferrous metallurgy (Russia)**

Отвал	Расположение	Площадь, га/объем, млн т	Основной состав, мас. %
Сталеплавильный шлак ООО «Юргинский машиностроительный завод»	Кемеровская область, в городской черте г. Юрга, вдоль р. Юргинки (впадает в р. Томь)	50	52 % CaO; 26 % SiO <sub>2</sub> ; 12 % MgO; 3,22 % Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 3,04 % MnO [19]
Шламохранилище ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат»: конвертерный и сталеплавильный шлак	Кемеровская область, г. Новокузнецк	300/77,3 (жидкие и твердые)	31,5–32,4 % CaO; 23,7–27,9 % SiO <sub>2</sub> ; 12,9–14,5 % Fe <sub>общ</sub> ; 14,1–15,5 % MgO; 6,6–7,6 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 2,8–3,4 % MnO [20]
Доменные шлаки Металлургического завода им. А. К. Серова	Свердловская область, территория завода, 1,5 км севернее р. Каквы, южная часть отвала	47,29/3,9	46 % CaO; 42,82 % SiO <sub>2</sub> ; 12,78 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 10–15 % MgO; 2,5 % FeO [21]
Сталеплавильные шлаки Металлургического завода им. А. К. Серова	Свердловская область, территория завода, 1,5 км севернее р. Каквы, северная часть отвала		38,81 % CaO; 18,86 % SiO <sub>2</sub> ; 17,25 % FeO; 12 % MgO; 5,45 % Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 3,74 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [21]
Доменные и сталеплавильные шлаки ОАО «ЕВРАЗ НТМК»	Свердловская область, левый берег р. Сухая Ольховка, сформированы на естественном рельефе путем сливания шлаков по откосу	135/54,3	10–30 % SiO <sub>2</sub> ; 30–40 % CaO; 5–15 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 10–15 % MgO [22]
Доменные и феррованадиевые шлаки ОАО «Чусовской металлургический завод»	Пермский край, г. Чусовой, северо-восточная часть территории предприятия Основная часть отвалов находится в 80 м от моста через р. Усьву	98	Доменные шлаки: 25–35 % SiO <sub>2</sub> ; 5–15 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 6–12 % MgO; 2–6 % CaO; 1–2,5 % TiO <sub>2</sub> ; 0,5–2,5 % Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + FeO Феррованадиевые шлаки: 25–50 % CaO; 25–35 % SiO <sub>2</sub> ; 5–15 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 6–12 % MgO; 1–2,5 % TiO <sub>2</sub> ; 0,5–2,5 % Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + FeO [23]
Доменный шлак Челябинского металлургического комбината (ОАО «Металл», ЧМК)	Челябинская область, г. Челябинск, территория завода	150/2,57	37 % SiO <sub>2</sub> ; 33,8–34,3 % CaO; 11,8–12,6 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 12 % MgO; 1,4–2,1 % TiO <sub>2</sub> [24]
Шлаки производства феррохрома Челябинского электрометаллургического комбината (ОАО «ЧЭМК»)	Челябинская область, г. Челябинск, территория завода, высота насыпи – 20–30 м;	47,7/23,4	41–42 % SiO <sub>2</sub> ; 27–30 % MgO; 13 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 3 % CaO; 1,9–2,5 % Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [25]
	Челябинская область, отработанный угольный карьер разреза «Батуринский», Увельский район, вблизи пос. Красногорский	0,97 (план)	Дисперсный порошок с удельной поверхностью 200 м <sup>2</sup> /кг, 51,2 % CaO; 23,5 % SiO <sub>2</sub> ; 12,1 % MgO; 5,8 % Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 5,1 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [26]
ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»	Челябинская область, рекультивация карьеров месторождения «Гора Магнитная»	Нет данных/160	Первичный конвертерный шлак: 40,5 % CaO; 16,6 % SiO <sub>2</sub> ; 13,3 % MgO [27]
Сталеплавильные шлаки и отработанная формовочная смесь АО «Мотовилихинские заводы»	Пермская область, на первой левобережной надпойменной террасе р. Камы	5,4	70,3 % SiO <sub>2</sub> ; 12,9 % Fe <sub>общ</sub> ; 4,8 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 2,37 % MgO; 1,75 % CaO [28]
Сталеплавильные конвертерные шлаки Новолипецкого металлургического комбината (НЛМК)	Липецкая область, на левом берегу р. Воронеж	25/5 (переработан к 2020 г.)	40,4 % CaO; 19,9 % Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + MgO; 12,2 % SiO <sub>2</sub> ; 6,2 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [29]
Доменные шлаки Череповецкого металлургического комбината (ПАО «Северсталь»)	Вологодская область, г. Череповец, на территории завода	0,6891/0,005	37–40 % CaO; 37–39 % SiO <sub>2</sub> ; 10–12 % MgO; 8–10 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Пирометаллургические шлаки комбината «Североникель»	Мурманская область, г. Мончегорск	93,3/39	35–50 % SiO <sub>2</sub> ; 20–39 % FeO; 4–20 % MgO; 4–8 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [30]
Солевые алюминатные шлаки ОАО «Мценский литейный завод»	Орловская область, Мценский район, район деревни Большое Думчино	10/3,5	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (60,22 %); SiO <sub>2</sub> (14,87 %); MgO (5,83 %) [31]

ческих комбинатов накоплено более 100 млн т доменных и сталеплавильных шлаков [16]. Исследования почвенно-растительного покрова вблизи отвалов данного региона представлены крайне скудно. Отмечено негативное воздействие шлакоотвала Юргинского машиностроительного завода на древесную растительность [17]. Исследован почвенно-растительный покров шламохранилища ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат» [18]. Выявлено преобладание эмбриоземов органо-аккумулятивных, описан состав пионерного сообщества: овсяница луговая (*Festuca pratensis*); ежа сборная (*Dactylis glomerata*); пырей ползучий (*Elytrigia repens*); костер безостый (*Bromus arvensis*); полынь обыкновенная (*Artemisia vulgaris*); полынь горькая (*Artemisia absinthium*) и др. Древесная растительность представлена тополем дрожащим (*Populus tremula*) и кленом ясенелистным (*Acer negundo*) [18].

В Уральском регионе общий объем отвалов шлаков черной металлургии составляет около 70 млн т [32]. Самые крупные из них сформированы Металлургическим заводом им. А. К. Серова, Нижнетагильским металлургическим комбинатом (ОАО «ЕВРАЗ НТМК»), Магнитогорским и Челябинским металлургическими комбинатами, а также Чусовским металлургическим заводом.

В санитарной зоне отвала доменных и сталеплавильных шлаков, расположенной на территории Металлургического завода им. А. К. Серова (табл. 1), проведена геохимическая оценка гумусового горизонта техногенных почв [21]. ПДК превышены для меди, цинка, свинца, хрома, никеля, ванадия, марганца. Наиболее высокие коэффициенты концентрации установлены для хрома, марганца и никеля. Для выявления влияния отвала на древесную растительность отбирались листья ивы, но количественные данные не представлены.

Проведено экологическое исследование шлаковых отвалов ОАО «ЕВРАЗ НТМК»: доменных (передельный ванадиевый и литейный доменные шлаки, в западной части отвала – мелкие фракции переработки шлаков) и сталеплавильных шлаков (конвертерный, сталеплавильный, сварочный шлаки, шламы доменного производства), табл. 1. Для гумусового горизонта почв в зоне влияния отвалов превышены значения ПДК подвижных форм элементов по марганцу (1,7–6,5 раза) и цинку (от 1,4 раза); условно-фоновые значения – по ванадию (от 1,2 до 14,8 раза) и железу (от 1,5 до 5,6 раза) [22]. Для иллювиального горизонта превышения сохраняются по марганцу (от 1,2 до 2,0 раза) и железу (от 2,6 до 3,5 раза). Валовые содержания в иллювиальном горизонте ванадия, марганца и хрома здесь ниже, чем в гумусовом горизонте, но превышения ПДК также есть, хотя и незначительные (марганец – до 1,51 раза; ванадий – до 1,16 раза). Выявлено, что растения (виды не указаны) вблизи отвалов обогащены ванадием, железом, хромом, а для марганца, меди и цинка разница не установлена [22]. Позднее были исследованы морфология и химический состав магнитных сферул из почв вблизи отвала «ЕВРАЗ НТМК» [33].

На территории ОАО «Чусовской металлургический завод» находится отвал доменных и феррованадиевых шлаков (табл. 1). В грунтах отвала концентрация некоторых токсичных элементов доходит до следующих значе-

ний: 5700 мг/кг меди, 830 мг/кг цинка, 1700 мг/кг хрома, 2500 мг/кг марганца [34]. Выявлено чрезвычайно опасное суммарное загрязнение городских почв вблизи металлургического завода [35]. Изучен почвенно-растительный покров острова Закурье, северная часть которого граничит с Чусовским металлургическим заводом [36]. По агрохимическим показателям почва вблизи предприятия характеризуется высоким значением общей минерализации (84,9 мг/дм<sup>3</sup> в пересчете на NaCl), низкой обеспеченностью фосфором (5,44 мг/100 г почвы) и гумусом (3,7 % по массе), pH водной вытяжки равен 8,3, концентрация меди – 121,9 мг/кг. С помощью хроматографии исследовано содержание тяжелых металлов в двух видах лекарственных растений: тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.) и пижма обыкновенная (*Tanacetum vulgare* L.); выявлены значительные превышения ПДК [36].

Проведены исследования по оценке пылевой эмиссии самораспадающихся феррохромовых шлаков Челябинского электрометаллургического комбината (табл. 1) из места складирования – отработанного угольного карьера разреза «Багуринский» [26]. Складирование отходов начато в 2002 г., изучение микроэлементного состава почв, пылевых смывов с листьев и самих растений (7 видов) проведено в 2004 г. Выявлены высокие концентрации хрома в клевере красном (*Trifolium pratense* L.) – 974 мг/кг, в тимopheевке луговой (*Phleum pratense* L.) – 436 мг/кг, в ковыле перистом (*Stipa pennata* L.) – 260 мг/кг. Особенности микроэлементного состава растений в зоне влияния отвала выявлены с использованием метода главных компонент [26].

Феррованадиевые шлаки Чусовского металлургического завода предлагалось использовать для рекультивации терриконов Кизеловского угольного бассейна [37]. Шлаки Магнитогорского металлургического комбината – при рекультивации карьеров месторождения «Гора Магнитная» [38].

На примере ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» показана оценка воздействия загрязнений на лесные массивы с использованием спутниковых изображений [39].

Для сталеплавильного шлакового отвала ПАО «Мотовилихинские заводы» изучено видовое разнообразие фитоценоза, образованного в процессе самозарастания [40]. Основа формирования – растительность сопредельной территории (сходство фитоценозов – 69,2 %). Однако количественные характеристики существенно ниже для отвала: видовое разнообразие 27 видов вместо 35, проективное покрытие менее 10 % вместо 35 %. Среди древесно-кустарниковых видов на отвале распространены тополь дрожащий (*Populus tremula* L.) и тополь черный (*Populus nigra* L.), смородина черная (*Ribes nigrum* L.), яблоня ягодная (*Malus baccata* (L.) Borkh.) и клен ясенелистный (*Acer negundo* L.), который активно расселяется и может быть использован на биологическом этапе рекультивации [40]. Определены 10 видов травянистых растений, произрастающих на всей территории отвала (встречаемость 80–90 %): бодяк полевой (*Cirsium arvense* (L.) Scop.), осот желтый (*Sonchus arvensis* L.), пижма обыкновенная (*Tanacetum vulgare* L.), полынь горькая (*Artemisia absinthium* L.), пастернак посевной (*Pastinaca sativa* L.) и др. [40].

В Центральном-Черноземном районе одними из основных объектов накопления техногенных отходов являются отвалы и шламонакопители Новолипецкого металлургического комбината (НЛМК) и Череповецкого металлургического комбината (ПАО «Северсталь») [16]. По данным новостных каналов, в 2020 г. НЛМК завершил проект по переработке шлакового отвала (табл. 1). Влияние отвала на почвенно-растительные системы не исследовалось.

Расположение Череповецкого металлургического комбината, являющегося вторым по величине сталелитейным комбинатом России, недалеко от Дарвинского биосферного заповедника ЮНЕСКО диктует особые требования к мониторингу окружающей среды [41], тем более что уже в 1990-х гг. была установлена техногенная геохимическая аномалия, образовавшаяся в результате длительных выбросов [42]. Исследовано содержание различных форм соединений лантаноидов в дерново-карбонатных почвах на различном расстоянии от Череповецкого металлургического комбината [43]. Также был проведен эксперимент по оценке влияния высокодисперсного шлама на морфологические и физиолого-биохимические параметры у пятнадцати видов сельскохозяйственных культур в начальные стадии онтогенеза [44]. Уровень накопления пролина в растениях предложили использовать в качестве стресс-маркера для выявления видоспецифичности действия шламов на растения [45].

Отвальные шлаки пирометаллургического передела, образующиеся на комбинате «Североникель» (табл. 1), преимущественно состоят из двуокиси кремния и окиси железа, вредные примеси представлены серой – 5–10 %, хромом – 0,4 %, никелем – 0,1 %, медью – 0,2 %, кобальтом – 0,05 % [30]. Проведены исследования почвенно-растительного покрова на разном расстоянии от завода, показаны изменения содержания подвижных форм никеля, меди, железа, магния и рН в почвах сосновых лесов, химический состав хвои и растений травяно-кустарничкового яруса [46]. Установлено, что вблизи комбината на погибшем верхнем оторфованном горизонте подавлена популяция микроскопических грибов [47].

Отдельно стоит упомянуть солевые шлаки – побочный продукт процесса плавки лома и отходов алюминия под слоем флюса, состоящий из хлоридов и нитридов щелочных металлов, с добавлением небольшого количества фторсодержащих соединений [31]. Для территорий, граничащих с отвалами солевых шлаков ОАО «Мценский литейный завод» (табл. 1), изучена 13-летняя (с 2003 по

2016 г.) динамика загрязнения тяжелыми металлами [48]. Для анализа техногенного фактора загрязнения почв применяли уточненный коэффициент обогащенности тяжелых металлов (УКО), подсчитана доля техногенности металла в процентах от его валового содержания. По величине данного коэффициента для светло-серой лесной почвы в слое 0–20 см установлен следующий ряд потенциально опасных элементов:  $Cu > Zn > Cd > Pb > Ni > Cr$  в непосредственной близости к шлаковому отвалу. Доказано влияние максимального скопления шлаковых отходов в отвале на интенсивность накопления и закрепление исследуемых металлов в верхнем гумусовом слое и их распределение в профиле почвы [48].

Некоторые шлаки металлургических производств являются основным техногенным мусором вблизи небольших городов, их также использовали для отсыпки дорог. Например, отходы Алапаевского металлургического завода. Для данных шлаков производства низколегированного хромистого чугуна изучены минералогия и вещественный состав [49]. Исследование влияния данных шлаков на загрязнение растительности и почв тяжелыми металлами не проводилось.

#### Заключение

Мониторинг окружающей среды вблизи предприятий черной металлургии необходим для обеспечения экологической безопасности регионов России. В результате литературного обзора представлена характеристика более чем четырнадцати отвалов доменных, сталеплавильных и ферросплавных шлаков, указан их основной химический состав. Исследования почвенно-растительного покрова, сформировавшегося на отвалах, немногочисленны. Авторы проводили геохимическую оценку некоторых техногенных почв и растительности в зоне влияния предприятий черной металлургии, описывали видовое разнообразие фитоценозов, образованных в процессе самозарастания отвалов. Некоторые шлаки использовались для рекультивации нарушенных земель, например, феррохромовые шлаки Челябинского электрометаллургического комбината для рекультивации угольного карьера разреза «Батурицкий». Проведенный анализ позволил обобщить данные о мониторинговых исследованиях почвенно-растительных систем в зоне влияния отвалов черной металлургии, показал пробелы в знаниях о загрязнении окружающей среды, динамики накопления тяжелых металлов разными видами почв и растений, а также способах их адаптации в условиях сильной техногенной нагрузки.

#### Источник финансирования

Исследования выполнены в рамках Государственного задания ИГГ УрО РАН, тема № НИОКТР 123011800011-2.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Печенская-Полищук М. А., Малышев М. К. Особенности развития черной металлургии в России и мире // Проблемы прогнозирования. 2022. № 1 (190). С. 125–135. <https://doi.org/10.47711/0868-6351-190-125-135>
2. Feng C., Huang J.-B., Wang M. The sustainability of China's metal industries: features, challenges and future focuses // Resources Policy. 2019. Vol. 60. P. 215–224. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2018.12.006>
3. Захарова М. А., Водолеев А. С., Андреева О. С., Домнин К. И. Оценка экологического состояния снежного и почвенного покровов в границах санитарно-защитной зоны АО ЕВРАЗ ЗСМК // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2021. Т. 77. № 12. С. 1309–1313. <https://doi.org/10.32339/0135-5910-2021-12-1309-1313>
4. Liang T., Wang S., Lu C., Jiang N., Long W., Zhang M., Zhang R. Environmental impact evaluation of an iron and steel plant in China: Normalized data and direct/indirect contribution // Journal of Cleaner Production. 2020. Vol. 264. Article number 121697. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121697>

5. Шавакулева О. П., Сединкина Н. А., Гмызина Н. В., Косарев Л. В. Разработка технологии комплексной переработки шлаков Златоустовского металлургического завода // Устойчивое развитие горных территорий. 2022. Т. 14. № 1 (51). С. 87–95. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2022-14-1-87-95>
6. Yang J., Firsbach F., Sohn I. Pyrometallurgical processing of ferrous slag “co-product” zero waste full utilization: A critical review // Resources, Conservation and Recycling. 2022. Vol. 178. Article number 106021. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.106021>
7. Iliuțiu-Varvara D.-A., Aciu C. Metallurgical Wastes as Resources for Sustainability of the Steel Industry // Sustainability. 2022. Vol. 14(9). Article number 5488. <https://doi.org/10.3390/su14095488>
8. Mal U., Adhikari K., Tripathi A. Steel plant slag dumps: A potential source of groundwater contamination // Journal of Earth System Science. 2022. Vol. 131. Iss. 1. P. 1–18. Article number 45. <https://doi.org/10.1007/s12040-021-01776-y>
9. Шешуков О. Ю., Егизарьян Д. К., Лобанов Д. А. Безотходная переработка ковшевого и электропечного шлака // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2021. Т. 64. № 3. С. 192–199. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2021-3-192-199>
10. Паршина М. В. Эколого-геохимические особенности трансформации шлаковых отвалов в зоне ацидификации // Записки Горного института. 2006. Т. 167. № 1. С. 90–93.
11. Погромский А. С., Аниканова Т. В. Влияние длительного хранения электросталеплавильных шлаков в отвалах на их свойства // Строительные материалы и изделия. 2018. Т. 1. № 1. С. 32–39. <https://doi.org/10.34031/2618-7183-2018-1-1-32-39>
12. Пугин К. Г. Негативное воздействие шлаковых отвалов черной металлургии на объекты окружающей среды на примере города Чусового // Экология урбанизированных территорий. 2011. № 2. С. 86–90.
13. Михайличенко К. Ю., Курбатова А. И., Доронцова А. Ю., Паукова А. А. Оценка качества воды и состояния донных отложений северной части Рыбинского водохранилища выбросами ЧерМК ПАО «Северсталь» // Экология и промышленность России. 2019. Т. 23. № 10. С. 39–43. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2019-10-39-43>
14. Le S. T., Le A. T., Cao M. T. T., Pham H. B., Nguyen T. T., Le T. T., Nishiwaki N. Assessment of water quality under real-world conditions: effects of steel slag backfills on ground and surface water // Environmental Science: Water Research & Technology. 2022. Vol. 8. Iss. 12. P. 3043–3053. <https://doi.org/10.1039/D2EW00649A>
15. Liberati A., Altman D. G., Tetzlaff J., Mulrow C., Gøtzsche P. C., Ioannidis J. P. A., Clarke M., Devereaux P. J., Kleijnen J., Moher D. The PRISMA Statement for Reporting Systematic Reviews and Meta-Analyses of Studies That Evaluate Health Care Interventions: Explanation and Elaboration // PLoS Medicine. 2009. Vol. 6. No. 7. Article number 1000100. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000100>
16. Волынкина Е. П. Анализ состояния и проблем переработки техногенных отходов в России // Вестник СибГИУ. 2017. № 2 (20). С. 43–49.
17. Ершова Н. В. Характеристика металлургического производства ООО «Юргинский машзавод» как источника воздействия на окружающую среду // Международный студенческий научный вестник. 2016. № 6. URL: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=16758>
18. Двуреченский В. Г., Соколов Д. А., Топоровская А. А., Берлякова О. Г. Почвенно-экологическое состояние урбанизированных территорий Западной Сибири (на примере г. Новокузнецка) // Почвоведение и агрохимия. 2011. № 2. С. 5–13.
19. Сидоренко А. С., Нозирзода Ш. С. Оценка воздействия металлургических шлаков ООО «ЮМЗ» на состояние окружающей среды г. Юрги // Неразрушающий контроль: сборник трудов VI Всерос. науч.-практ. конф. Томск, 2016. С. 311–315.
20. Столбоушкин А. Ю. Получение силикатных материалов с добавкой тонкого порошка мартеновского шлака // Строительные материалы. 2019. № 8. С. 26–32. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-773-8-26-32>
21. Гуман О. М., Долинина И. А., Макаров А. Б. Геоэкологические условия района размещения шлакоотвала и отстойника-шламонакопителя Серовского металлургического завода // Известия УГГГА. 2002. Вып. 15. С. 263–272.
22. Захаров А. В., Гуман О. М., Макаров А. Б., Антонова И. А., Ли Т. И. Экологическое состояние окружающей среды отвалов черной металлургии (по результатам мониторинга шлакового отвала НТМК) // Известия УГГУ. 2014. Вып. 3 (35). С. 51–56.
23. Игнатова А. М., Пушкин С. А., Наумов В. А. Геохимическое исследование техногенных образований доменного и феррованадиевого производств Чусовского металлургического завода с целью электродугового петругического рециклинга // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 5. С. 173–179.
24. Капнин В. В., Гильманов М. Р., Поляков Н. С. Совершенствование технологии доменной плавки на Челябинском металлургическом комбинате // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2018. Т. 1. № 4. С. 57–61.
25. Потапов Д. С., Потапов С. С. Минералогия шлаков производства феррохрома Челябинского электрометаллургического комбината // Успехи современного естествознания. 2010. № 8. С. 23–25.
26. Сокол Э. В., Нигматулина Е. Н., Нохрин Д. Ю. Пылевая эмиссия хрома из мест складирования шлаков феррохромового производства: на примере окрестностей пос. Красногорский, Челябинская область // Сибирский экологический журнал. 2010. Т. 17. № 6. С. 851–863. <http://elibrary.ru/item.asp?id=15603607>
27. Гмызина Н. В., Сединкина Н. А., Горлова О. Е. Изучение свойств конвертерных шлаков с целью совершенствования технологии их переработки // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2019. Т. 75. № 5. С. 623–631. <https://doi.org/10.32339/0135-5910-2019-5-623-631>
28. Меньшикова Е. А., Блинов С. М., Боков Д. А., Жакова У. В. Исследование возможности использования вещества отвала сталеплавильных шлаков // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении: научные чтения памяти П. Н. Чирвинского. 2009. № 12. С. 317–319.
29. Подольский Вл. П., Кукина О. Б., Слепцова О. В. Анализ химико-минералогического состава отвальных сталеплавильных конвертерных шлаков // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2014. № 1. С. 126–130.
30. Паршина М. В. Влияние процессов гипергенной метаморфизации техногенных массивов на степень их экологической опасности для окружающей природной среды // Записки Горного института. 2009. Т. 180. С. 33–35.
31. Пономарева П. В., Сычева Л. И. Влияние алюминатных шлаков на синтез и свойства сульфоминерального цемента // Успехи в химии и химической технологии. 2022. Т. 36. № 3 (252). С. 123–126. <https://www.elibrary.ru/zekcyce>
32. Макаров А. Б. Техногенные месторождения черных металлов // Региональные проблемы геологии, географии, техносферной и экологической безопасности. Оренбург: ИП Востриков К «Полиарт», 2019. С. 42–45. <https://www.elibrary.ru/nztwao>
33. Макаров А. Б., Осовецкий Б. М., Антонова И. А. Магнитные сферулы из почв вблизи шлакового отвала Нижнетагильского металлургического комбината // Известия УГГУ. 2017. Вып. 4 (48). С. 42–45. <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2017-4-42-45>
34. Брызгалов С. В., Пугин К. Г., Вайсман Я. И., Максимович Н. Г., Калинина Е. В. Влияние мест размещения доменных металлургических шлаков на объекты окружающей среды // Отходы: экология, технология, ресурсосбережение. М., 2009. С. 35–39.
35. Васильев А. А., Чащин А. Н. Особенности пространственной неоднородности в картографии загрязнения почв тяжелыми металлами // Природообустройство. 2014. № 2. С. 25–29.
36. Соловьев А. Д., Щербань М. Г., Плотникова М. Д. Влияние техногенных и природных факторов на содержание металлов-поллютантов в лекарственных растениях Среднего Предуралья (о. Закурье, г. Чусовой) // Географический вестник. 2020. № 4 (55). С. 152–165. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2020-4-152-165>

37. Устенко С. В., Егорова А. Н., Залевская Ю. М., Пугин К. Г. Рекультивация терриконов Кизеловского угольного бассейна промышленными отходами // Экология и научно-технический прогресс. Урбанистика: материалы XIII Всерос. науч.-практ. конф. Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2016. Т. 1. С. 360–365.
38. Рыбников П. А., Рыбникова Л. С. Обоснование экологической безопасности захоронения отходов в выработанном пространстве (на примере Восточного карьера Магнитогорского металлургического комбината, Челябинская область) // Экологическая и техносферная безопасность горнопромышленных регионов: сборник трудов IV Междунар. науч.-практ. конф. Екатеринбург, 2016. С. 322–329.
39. Мешалкин В. П., Бутусов О. Б., Дови В. Дж., Белозерский А. Ю., Челноков В. В. Оценка воздействия химических загрязнений предприятий черной металлургии на лесные массивы с использованием спутниковых фотоизображений // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2021. Т. 64. № 11. С. 839–845. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2021-11-839-845>
40. Лихачев С. В., Пименова Е. В., Жакова С. Н. Экологические условия формирования фитоценоза шлакового отвала сталеплавильного производства // Вестник ИрГСХА. 2019. Вып. 92. С. 67–75.
41. Зайцев В. С. Анализ природоохранной деятельности предприятий горно-металлургической отрасли на примере Череповецкого комбината ПАО «Северсталь» // Экономика промышленности / Russian Journal of Industrial Economics. 2020. Т. 13. № 2. С. 244–256. <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2020-2-244-256>
42. Водяницкий Ю. Н., Большаков В. А., Сорокин С. Е., Фатеева Н. М. Техногеохимическая аномалия в зоне влияния Череповецкого металлургического комбината // Почвоведение. 1995. № 4. С. 498–507.
43. Ладонин Д. В. Лантаноиды в почвах зоны воздействия Череповецкого металлургического комбината // Почвоведение. 2017. № 6. С. 680–689. <https://doi.org/10.7868/80032180X17060041>
44. Астафурова Т. П., Зотикова А. П., Михайлова С. И., Буренина А. А. Биологические эффекты и механизмы воздействия высокодисперсных металлургических отходов на морфологические и физиолого-биохимические параметры сельскохозяйственных растений // Растения в условиях глобальных и локальных природно-климатических и антропогенных воздействий: тез. докл. Всерос. науч. конф. с международным участием. Петрозаводск, 2015. С. 45. URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000587134>
45. Зибарева Л. Н., Жилина О. В., Буренина А. А., Моргалёв Ю. Н. Исследование воздействий высокодисперсных металлургических отходов на содержание пролина в листьях сельскохозяйственных растений // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 4. С. 1–8. URL: <http://www.science-education.ru/pdf/2013/4/98.pdf>
46. Паршина М. В., Корельский Д. С. Комплексный мониторинг воздействия комбината «Североникель» на природную среду // Записки Горного института. 2008. Т. 174. С. 217–221.
47. Корнейкова М. В., Евдокимова Г. А. Градиент комплексов микроскопических грибов в загрязненных тяжелыми металлами почвах // Современные проблемы загрязнения почв: III Междунар. конф. М., 2010. С. 227–231.
48. Степанова Л. П., Яковлева Е. В., Писарева А. В. Пространственно-временная динамика почвенно-геохимических аномалий в зоне воздействия шлаковых отходов // Экология и промышленность России. 2019. Т. 23. № 3. С. 44–48. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2019-3-44-48>
49. Ерохин Ю. В., Захаров А. В., Леонова Л. В. Шлаки производства хромистого чугуна Алапаевского завода (состав и геоэкология) // Известия вузов. Горный журнал. 2020. № 5. С. 90–99. <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2020-5-90-99>

*Статья поступила в редакцию 19 декабря 2023 года*

# Research of soil and vegetation cover in the zone of influence of slag dumps of ferrous metallurgy

Ekaterina Sergeevna ZOLOTOVA\*

The Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russia

## Abstract

**Relevance.** Slag dumps of ferrous metallurgy occupy vast areas around the world and are serious sources of environmental pollution. Research on environmental monitoring of man-made areas and their reclamation is extremely relevant.

**The purpose of the work** is to analyze the studies of soils and vegetation near slag dumps of ferrous metallurgy located in Russia.

**Research methodology.** The review of studies was carried out according to PRISMA criteria using Google Scholar and Elibrary databases.

**Results.** The characteristics of more than fourteen dumps of blast furnace, steelmaking and ferroalloy slag are presented, their basic chemical composition is indicated. Studies of the soil and vegetation cover formed on dumps are few. A geochemical assessment of some technogenic soils and vegetation in the zone of influence of enterprises is given, and the species diversity of phytocenoses formed in the process of self-overgrowing of dumps is described. The impact of salt slag dumps on the ecology of nearby areas is separately considered. Experiments were carried out to study the influence of highly dispersed sludge on agricultural crops. The possibility of using slags to restore disturbed lands has been shown, for example, ferrochrome slags from the Chelyabinsk Electrometallurgical Plant for the reclamation of the Baturinsky open-pit coal mine.

**Conclusions.** The analysis made it possible to summarize data on monitoring studies of soil and plant systems in the zone of influence of ferrous metallurgy dumps in Russia, showed gaps in knowledge about environmental pollution, the dynamics of accumulation of heavy metals by different types of soils and plants, as well as methods of their adaptation under conditions of strong technogenic pressure.

**Keywords:** metallurgical slag, ferrous metallurgy dumps, heavy metals, environmental monitoring, pollution.

## Source of financing

The research was carried out within the framework of the State assignment of the Institute of Geography, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, topic No. NIOKTR 123011800011-2.

## REFERENCES

1. Pechenskaya-Polishchuk M. A., Malyshev M. K. 2022, Features of the development of ferrous metallurgy in Russia and the world. *Problemy prognozirovaniya* [Forecasting problems], no. 1 (190), pp. 125–135. (In Russ.) <https://doi.org/10.47711/0868-6351-190-125-135>
2. Feng C., Huang J.-B., Wang M. 2019, The sustainability of China's metal industries: features, challenges and future focuses. *Resources Policy*, vol. 60, pp. 215–224. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2018.12.006>
3. Zakharova M. A., Vodoleev A. S., Andreeva O. S., Domnin K. I. 2021, Assessment of the ecological state of snow and soil cover within the boundaries of the sanitary protection zone of JSC EVRAZ ZSMK. *Chernaya metallurgiya. Byulleten' nauchno-tehnicheskoy i ekonomicheskoy informatsii* [Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information], vol. 77, no. 12, pp. 1309–1313. (In Russ.) <https://doi.org/10.32339/0135-5910-2021-12-1309-1313>
4. Liang T., Wang S., Lu C., Jiang N., Long W., Zhang M., Zhang R. 2020, Environmental impact evaluation of an iron and steel plant in China: Normalized data and direct/indirect contribution. *Journal of Cleaner Production*, vol. 264, article number 121697. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121697>
5. Shavakuleva O. P., Sedinkina N. A., Gmyzina N. V., Kosarev L. V. 2022, Development of technology for complex processing of slags from the Zlatoust Metallurgical Plant. *Ustoychivoye razvitiye gornyykh territoriy* [Sustainable development of mountain areas], vol. 14, no. 1 (51), pp. 87–95. (In Russ.) <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2022-14-1-87-95>
6. Yang J., Firsbach F., Sohn I. 2022, Pyrometallurgical processing of ferrous slag "co-product" zero waste full utilization: A critical review. *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 178, article number 106021. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.106021>
7. Iluțiu-Varvara D. A., Aciu C. 2022, Metallurgical Wastes as Resources for Sustainability of the Steel Industry. *Sustainability*, vol. 14 (9), article number 5488. <https://doi.org/10.3390/su14095488>
8. Mal U., Adhikari K., Tripathi A. 2022, Steel plant slag dumps: A potential source of groundwater contamination. *Journal of Earth System Science*, vol. 131, issue 1, pp. 1–18, article number 45. <https://doi.org/10.1007/s12040-021-01776-y>
9. Sheshukov O. Yu., Egiazyryan D. K., Lobanov D. A. 2021, Waste-free processing of ladle and electric furnace slag. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Chernaya metallurgiya* [News of Universities. Ferrous metallurgy], vol. 64, no. 3, pp. 192–199. (In Russ.) <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2021-3-192-199>

\*zolotova@igg.uran.ru

org/10.17073/0368-0797-2021-3-192-199

10. Parshina M. V. 2006, Ecological and geochemical features of the transformation of slag dumps in the acidification zone. *Zapiski Gornogo instituta* [Notes of the Mining Institute], vol. 167, no. 1, pp. 90–93. (In Russ.)
11. Pogromsky A. S., Anikanova T. V. 2018, The influence of long-term storage of electric furnace slags in dumps on their properties. *Stroitel'nyye materialy i izdeliya* [Construction materials and products], vol. 1, no. 1, pp. 32–39. (In Russ.) <https://doi.org/10.34031/2618-7183-2018-1-1-32-39>
12. Pugin K. G. 2011, Negative impact of ferrous metallurgy slag dumps on environmental objects using the example of the city of Chusovoy. *Ekologiya urbanizirovannykh territoriy* [Ecology of urban areas], no. 2, pp. 86–90. (In Russ.)
13. Mikhailichenko K. Yu., Kurbatova A. I., Dorontsova A. Yu., Paukova A. A. 2019, Assessment of water quality and the state of bottom sediments in the northern part of the Rybinsk Reservoir using emissions from CherMK PJSC "Severstal". *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and industry of Russia], vol. 23, no. 10, pp. 39–43. (In Russ.) <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2019-10-39-43>
14. Le S. T., Le A. T., Cao M. T. T., Pham H. B., Nguyen T. T., Le T. T., Nishiwaki N. 2022, Assessment of water quality under real-world conditions: effects of steel slag backfills on ground and surface water. *Environmental Science: Water Research & Technology*, vol. 8, issue 12, pp. 3043–3053. <https://doi.org/10.1039/D2EW00649A>
15. Liberati A., Altman D. G., Tetzlaff J., Mulrow C., Gøtzsche P. C., Ioannidis J. P. A., Clarke M., Devereaux P. J., Kleijnen J., Moher D. 2009, The PRISMA Statement for Reporting Systematic Reviews and Meta-Analyses of Studies That Evaluate Health Care Interventions: Explanation and Elaboration. *PLoS Medicine*, vol. 6., no. 7, article number 1000100. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000100>
16. Volynkina E. P. 2017, Analysis of the state and problems of processing industrial waste in Russia. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo industrial'nogo universiteta* [Bulletin of the Siberian State Industrial University], no. 2 (20), pp. 43–49. (In Russ.)
17. Ershova N. V. 2016, Characteristics of the metallurgical production of Yurginsky Machine Plant OOO as a source of impact on the environment. *Mezhdunarodnyy studencheskiy nauchnyy vestnik* [International student scientific newsletter], no. 6. (In Russ.) URL: <https://eduherald.ru/article/view?id=16758>
18. Dvurechensky V. G., Sokolov D. A., Toporovskaya A. A., Berlyakova O. G. 2011, Soil-ecological state of urbanized territories of Western Siberia. *Pochvovedeniye i agrokimiya* [Soil science and agrochemistry], no. 2, pp. 5–13. (In Russ.)
19. Sidorenko A. S., Nozirezoda Sh. S. 2016, Assessment of the impact of metallurgical slags of YuMZ OOO on the state of the environment in the city of Yurga. Non-destructive testing: collection of works VI All-Russian scientific-practical conference. Tomsk, pp. 311–315. (In Russ.)
20. Stolboushkin A. Yu. 2019, Production of silicate materials with the addition of finely ground open-hearth slag. *Stroitel'nyye materialy* [Construction Materials], no. 8, pp. 26–32. (In Russ.) <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-773-8-26-32>
21. Guman O. M., Dolinina I. A., Makarov A. B. 2002, Geoecological conditions of the area where the slag dump and sludge storage tank are located at the Serov Metallurgical Plant. *Izvestiya Ural'skoy gosudarstvennoy gorno geologicheskoy akademii* [News of the Ural State Mining and Geological Academy], issue 15, pp. 263–272. (In Russ.)
22. Zakharov A. V., Guman O. M., Makarov A. B., Antonova I. A., Lee T. I. 2014, Ecological state of the environment of ferrous metallurgy dumps. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* [News of the Ural State Mining University], issue 3 (35), pp. 51–56. (In Russ.)
23. Ignatova A. M., Pushkin S. A., Naumov V. A. 2013, Geochemical study of technogenic formations of blast furnace and ferrovanadium production of the Chusovsky Metallurgical Plant for the purpose of electric arc peturgical recycling. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ya* [Scientific and technical bulletin of the Volga region], no. 5, pp. 173–179. (In Russ.)
24. Kapnin V. V., Gilmanov M. R., Polyakov N. S. 2018, Improvement of blast furnace smelting technology at the Chelyabinsk Metallurgical Plant. *Chernaya metallurgiya. Byulleten' nauchno-tekhnicheskoy i ekonomicheskoy informatsii* [Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information], vol. 1, no. 4, pp. 57–61. (In Russ.)
25. Potapov D. S., Potapov S. S. 2010, Mineralogy of ferrochrome production slags at the Chelyabinsk Electrometallurgical Plant. *Uspekhi sovremennoy yestestvoznaniya* [Advances of modern natural science], no. 8, pp. 23–25. (In Russ.)
26. Sokol E. V., Nigmatulina E. N., Nokhrin D. Yu. 2010, Dust emission of chromium from ferrochrome production slag storage areas. *Sibirskiy ekologicheskii zhurnal* [Siberian Ecological Journal], vol. 17, no. 6, pp. 851–863. (In Russ.) <http://elibrary.ru/item.asp?id=15603607>
27. Gmyzina N. V., Sedinkina N. A., Gorlova O. E. 2019, Studying the properties of converter slags in order to improve the technology of their processing. *Chernaya metallurgiya. Byulleten' nauchno-tekhnicheskoy i ekonomicheskoy informatsii* [Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information], vol. 75, no. 5, pp. 623–631. (In Russ.) <https://doi.org/10.32339/0135-5910-2019-5-623-631>
28. Menshikova E. A., Blinov S. M., Bokov D. A., Zhakova U. V. 2009, Study of the possibility of using a substance from a steelmaking slag dump. *Problems of mineralogy, petrography and metallogeny: scientific readings in memory of P. N. Chirvinsky*, no. 12, pp. 317–319. (In Russ.)
29. Podolsky V. P., Kukina O. B., Sleptsova O. V. 2014, Analysis of the chemical and mineralogical composition of waste steelmaking converter slags. *Nauchnyy vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Ser.: Fiziko-khimicheskiye problemy i vysokkiye tekhnologii stroitel'nogo materialovedeniya* [Scientific bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Ser.: Physico-chemical problems and high technologies of building materials science], no. 1, pp. 126–130. (In Russ.)
30. Parshina M. V. 2009, Influence of processes of hypergene metamorphization of technogenic massifs on the degree of their environmental hazard for the natural environment. *Zapiski Gornogo instituta* [Notes of the Mining Institute], vol. 180, pp. 33–35. (In Russ.)
31. Ponomareva P. V., Sycheva L. I. 2022, Influence of aluminat slags on the synthesis and properties of sulfomineral cement. *Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii* [Advances in chemistry and chemical technology], vol. 36, no. 3 (252), pp. 123–126. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/zekcyce>
32. Makarov A. B. 2019, Technogenic deposits of ferrous metals. *Regional problems of geology, geography, technosphere and environmental safety*. Orenburg, pp. 42–45. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/nztwao>
33. Makarov A. B., Osovetsky B. M., Antonova I. A. 2017, Magnetic spherules from soils near the slag dump of the Nizhny Tagil metallurgical plant. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* [News of the Ural State Mining University], issue 4 (48), pp. 42–45. (In Russ.) <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2017-4-42-45>
34. Bryzgalov S. V., Pugin K. G., Vaisman Ya. I., Maksimovich N. G., Kalinina E. V. 2009, Influence of locations of blast furnace metallurgical slag on environmental objects. *Otkhody: ekologiya, tekhnologiya, resursosberezheniye* [Waste: ecology, technology, resource conservation]. Moscow, pp. 35–39. (In Russ.)
35. Vasilyev A. A., Chashchin A. N. 2014, Features of spatial heterogeneity in the mapping of soil pollution with heavy metals. *Prirodoobustroystvo* [Environmental management], no. 2, pp. 25–29. (In Russ.)
36. Solovyov A. D., Shcherban M. G., Plotnikova M. D. 2020, Influence of technogenic and natural factors on the content of metal pollutants in medicinal plants of the Middle Urals. *Geograficheskii vestnik* [Geographical Bulletin], no. 4 (55), pp. 152–165. (In Russ.) <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2020-4-152-165>
37. Ustenko S. V., Egorova A. N., Zalevskaya Yu. M., Pugin K. G. 2016, Recultivation of waste heaps of the Kizelovsky coal basin with industrial waste. Ecology and scientific and technological progress. Urbanism: materials of the XIII All-Russian scientific-practical conference. Perm, vol. 1, pp. 360–365. (In Russ.)
38. Rybnikov P. A., Rybnikova L. S. 2016, Justification of the environmental safety of waste disposal in mined-out space. Ecological and techno-



- sphere safety of mining regions: collection of works of the IV International scientific-practical conference. Yekaterinburg, pp. 322–329. (In Russ.)
39. Meshalkin V. P., Butusov O. B., Dovi V. J., Belozersky A. Yu., Chelnokov V. V. 2021, Assessment of the impact of chemical pollution from ferrous metallurgy enterprises on forests using satellite photographs. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Chernaya metallurgiya* [News of Universities. Ferrous metallurgy], vol. 64, no. 11, pp. 839–845. (In Russ.) <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2021-11-839-845>
40. Likhachev S. V., Pimenova E. V., Zhakova S. N. 2019, Ecological conditions for the formation of a phytocenosis of a slag dump of a steel-making plant. *Vestnik Irkutskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet* [Vestnik Irkutsk State Agrarian University], issue 92, pp. 67–75. (In Russ.)
41. Zaitsev V. S. 2020, Analysis of environmental activities of enterprises in the mining and metallurgical industry using the example of the Cherepovets plant of PAO Severstal. *Ekonomika promyshlennosti* [Industrial Economics], vol. 13, no. 2, pp. 244–256. (In Russ.) <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2020-2-244-256>
42. Vodyanitsky Yu. N., Bolshakov V. A., Sorokin S. E., Fateeva N. M. 1995, Technogeochemical anomaly in the zone of influence of the Cherepovets Metallurgical Plant. *Pochvovedenie* [Soil Science], no. 4, pp. 498–507. (In Russ.)
43. Ladonin D. V. 2017, Lanthanides in soils of the zone affected by the Cherepovets Metallurgical Plant. *Pochvovedenie* [Soil Science], no. 6, pp. 680–689. (In Russ.) <https://doi.org/10.7868/80032180X17060041>
44. Astafurova T. P., Zotikova A. P., Mikhailova S. I., Burenina A. A. 2015, Biological effects and mechanisms of influence of highly dispersed metallurgical waste on the morphological and physiological-biochemical parameters of agricultural plants. Plants under conditions of global and local natural, climatic and anthropogenic influences: abstract, report of the All-Russian scientific conference with international participation. Petrozavodsk, 45 p. (In Russ.) URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000587134>
45. Zibareva L. N., Zhilina O. V., Burenina A. A., Morgalev Yu. N. 2013, Study of the effects of highly dispersed metallurgical waste on the proline content in the leaves of agricultural plants. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], no. 4, pp. 1–8. (In Russ.) URL: <http://www.science-education.ru/pdf/2013/4/98.pdf>
46. Parshina M. V., Korelsky D. S. 2008, Comprehensive monitoring of the impact of the Severonickel plant on the natural environment. *Zapiski Gornogo instituta* [Notes of the Mining Institute], vol. 174, pp. 217–221. (In Russ.)
47. Korneykova M. V., Evdokimova G. A. 2010, Gradient of microscopic fungal complexes in soils contaminated with heavy metals. *Modern problems of soil pollution*. Moscow, pp. 227–231. (In Russ.)
48. Stepanova L. P., Yakovleva E. V., Pisareva A. V. 2019, Spatiotemporal dynamics of soil-geochemical anomalies in the zone of influence of slag waste. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and industry of Russia], vol. 23, no. 3, pp. 44–48. (In Russ.) <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2019-3-44-48>
49. Erokhin Yu. V., Zakharov A. V., Leonova L. V. 2020, Slags from the production of chromium cast iron at the Alapaevsky plant (composition and geoecology). *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal* [News from universities. Mining journal], no. 5, pp. 90–99. (In Russ.) <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2020-5-90-99>

The article was received on December 19, 2023