

# Анализ микроэлементного состава почв рекультивированных отвалов Кизеловского угольного бассейна\*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-12-85-91>

В результате горнодобывающей деятельности сформировалось большое количество заброшенных шахт и хвостохранилищ. Заброшенные шахты, изливы кислых шахтных вод и отвалы вскрышных пород являются основными источниками загрязнения окружающей среды в Кизеловском угольном бассейне (КУБ), расположенном на территории Пермского края (Россия). Важным аспектом сохранения экосистем в КУБе являются рекультивация угольных отвалов и создание или восстановление почвенного покрова. Объектом исследования являются почвы отвалов КУБа, расположенных в поселках Углеуральский, Шумихинский и Шахты. Для исследования почв отвалов использованы стандартные методики химического анализа, в том числе проведена оценка загрязнения почв с помощью расчетных коэффициентов – индекс геологического накопления элементов в почвах ( $I_{geo}$ ) и фактор загрязнения ( $CF$ ). Полученные результаты свидетельствуют о том, что относительно кларка по Виноградову (1962) в почвах отвалов по всему профилю присутствует превышение по  $Li$ ,  $B$ ,  $V$ ,  $Cu$ ,  $Cd$ ,  $Pb$ ,  $As$ ,  $Hg$  и  $Cr$ . Относительно фоновой пробы также имеются превышения по всему профилю в почвах отвалов по  $Li$ ,  $B$ ,  $Pb$ ,  $As$  и  $Se$ . Согласно коэффициенту геологического накопления элементов в почвах ( $I_{geo}$ ) выделено умеренное загрязнение по  $Li$  для почвы отвала шахты Северная, расположенного в пос. Шахты. Высокий фактор загрязнения ( $CF$ ) наблюдается по  $Li$ ,  $B$ ,  $V$  и  $Co$  во всех почвах отвалов. Полученные данные показали, что даже после рекультивации в почвах отвалов происходит аккумуляция таких элементов, как  $Li$ ,  $B$ ,  $V$ . Исследование дает важную информацию для дальнейшей разработки рекультивационных мероприятий по восстановлению районов, подверженных влиянию угольных отвалов.

**Ключевые слова:** горнодобывающая деятельность, угольная промышленность, потенциально токсичные элементы, почвы, отвалы, рекультивация, восстановление, коэффициенты загрязнения.

**Для цитирования:** Перевощикова А.А., Малышкина Е.Е., Митракова Н.В. Анализ микроэлементного состава почв рекультивированных отвалов Кизеловского угольного бассейна // Уголь. 2023. №. 12 С. 85-91. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-12-85-91.

## ПЕРЕВОЩИКОВА А.А.

Младший научный сотрудник  
Естественнонаучного института  
Пермского государственного национального  
исследовательского университета,  
аспирант Пермского национального  
исследовательского  
политехнического университета,  
614990, г. Пермь, Россия,  
e-mail: aaperevoshchikova@yandex.ru

## МАЛЫШКИНА Е.Е.

Инженер-исследователь  
Естественнонаучного института  
Пермского государственного национального  
исследовательского университета,  
614990, г. Пермь, Россия,  
e-mail: thelionofcintra@gmail.com

## МИТРАКОВА Н.В.

Канд. биол. наук,  
старший научный сотрудник  
Естественнонаучного института  
Пермского государственного национального  
исследовательского университета,  
614990, г. Пермь, Россия,  
e-mail: mitrakovanatalya@mail.ru

## ВВЕДЕНИЕ

В результате добычи угля сформировалось большое количество заброшенных шахт и хвостохранилищ. В частности, они могут служить источником поступления большого количества загрязняющих веществ в окружающую среду. В процессе подземной разработки уголь-

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ проект FSNF-2020-0021.

ного месторождения происходят изменения в ландшафтной структуре территории [1, 2, 3, 4], и расширяется ассоциация многих элементов во всех природных средах. В биосферу поступает большое количество As, Al, Cd, Ti, Mn, Mo, Co, Li, Pb, F, Br, а также радиоизотопы Th и Sr [5, 6]. Многие из этих элементов являются токсичными для биоты и здоровья человека даже в небольших концентрациях поскольку могут иммигрировать в ближайшие водоемы со стоками [6, 7].

Основные минералы, находящиеся в угле, включают кварц, глину, серосодержащие минералы (пирит) и в меньшем количестве полевые шпаты и карбонаты [8]. Установлено, что уголь обогащен Cr, Pb, Hg, Mo, Zn и Sb по сравнению с континентальной корой, а пустая (вскрышная) порода, которая складывается в отвалы может выделять до 10 раз больше токсичных элементов в более высоких концентрациях [3]. В Китае насчитывается около 1500 угольных отвалов, в которых содержатся тяжелые металлы и сульфиды [9, 10]. Различные тяжелые металлы, такие как Pb, Cd, Cr, Cu и Zn, накапливаются в почвах вблизи шахт в результате горнодобывающих процессов и/или дренажа шахт и отходов [11]. По данным [12], содержание Zn, Cu, Cd, Pb и Ni в отвалах угольных отходов в Польше превышает среднее содержание в польских почвах.

Присутствие серосодержащих минералов в отвальной породе вызывает загрязнение водных объектов и почв, кроме этого, климатические условия, размер частиц и степень уплотнения отходов могут ускорять или снижать скорость и масштаб загрязнения [13]. При действии атмосферных осадков (выветривание, вымывание вещества отвалов дождевой или талой водой) образуются стоки с угольных отвалов. Состав стоков близок по составу шахтным водам из-за развивающихся сернокислотных процессов, что обеспечивает изменение pH в сторону сильного подкисления (pH 2-3) [8]. Окисление сульфидных минералов в отвалах является первопричиной понижения pH, что приводит к многочисленным процессам, высвобождающим железо, сульфаты и токсичные элементы в составе кислых шахтных стоков. Эти процессы приводят к повышению кислотности почвы [14] и замедлению роста и развития растений [15].

Вследствие этого, стоки с породных отвалов и изливы шахтных вод являются источниками загрязнения и повышенного содержания микроэлементов (As, Co, Ni, Pb и Zn) в почвах, донных отложениях и водах [1, 16, 17].

Отвалы пустой породы и изливы кислых шахтных вод являются одними из основных источников воздействия на ландшафты Кизеловского угольного бассейна (КУБа), расположенного на территории Пермского края (Россия). В настоящее время шахты законсервированы, однако отвалы, стоки с отвалов и изливы кислых шахтных вод воздействуют на окружающую среду уже на протяжении 20 лет, что приводит к масштабному рассеиванию загрязняющих веществ. Согласно исследованиям [18], некоторые угольные отвалы КУБа, в сравнении со средним мировым содержанием, значительно обогащены Hg и Cd (в среднем более чем в 10 раз), а также V и Sb (5, 6 раз). Более чем в 3 раза в них выше среднее содержание Cu, Zn, As, Pb.

Основной целью данного исследования является оценка загрязнения почв рекультивированных отвалов с использованием эколого-геохимических коэффициентов загрязнения. Исследование проводилось в отдельных районах КУБа, где хранятся отходы от угледобычи. Оценка загрязнения почвы дает важную информацию об экологических рисках в районах разработки угольных месторождений и способности восстановления почвенного покрова после проведенной рекультивации на отвалах.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

**Территория исследования.** КУБ расположен в восточной части Пермского края и занимает площадь около 1500 км<sup>2</sup> [8] (см. рисунок).

Согласно ландшафтному районированию, территория КУБа относится к Уральской геохимической провинции элювиально-трансэлювиальной области остаточных горных массивов западного склона Среднего Урала и к Верхнеяйвинскому ландшафту высоких грядово-увалистых предгорий на палеозойских карбонатных и частично терригенных породах [19].

Добыча угля в КУБе велась с конца XVIII в. до конца XX в. подземным способом, в начале 2000-х годов шахты были ликвидированы. Разработка месторождений угля сопровождалась образованием породных отвалов, которых на территории КУБа около 100 разного размера, некоторые из них в разные годы были рекультивированы [8].



Территория исследования и опробования  
Survey and sampling area

Многолетняя эксплуатация шахт и их ликвидация ненадлежащим способом повлекли за собой негативные последствия для природной среды. На незадернованных склонах отвалов идут процессы физического выветривания и водной эрозии в результате поверхностного стока талых и дождевых вод. Стоки с отвала имеют сильнокислую реакцию – pH 2-3.

В результате действия атмосферных осадков выщелачиваются такие элементы как Be, Li, Mg, Al, их содержание в сточных водах с отвалов превышает ПДК в сотни и тысячи раз, в меньшем количестве, но также повсеместно, обнаруживаются Cd, Co, Ni, Si [1, 2, 8].

Объектами исследования являлись почвы отвалов вскрышных пород от угледобычи. Пробы отобраны в летний период 2021–2022 года. Исследовано 3 разреза глубиной 30 см, ниже наблюдается плотный каменистый материал, что затруднило дальнейший отбор проб. В связи с отсутствием генетических горизонтов пробы отобраны с шагом 10 см на каждом разрезе. Разрез № 1 выполнен на отвале шахты Центральная, пос. Углеуральский. Разрез № 2 выполнен на отвале шахты Северная, пос. Шахты. Разрез № 3 выполнен на отвале шахты Гореловская, пос. Шумихинский. Все отвалы представляют собой холмы с плоской вершиной, на которых проведена рекультивация [14]. В качестве фоновых отобраны пробы дерново-элювозема во вторичном мелколиственном лесу.

**Методы исследования.** В почвенных образцах определяли pH водной и солевой (KCl) вытяжках потенциометрическим методом по ГОСТ 26423-85 и ГОСТ 26483-85 соответственно. В лабораторных условиях почвенные пробы высушивались при комнатной температуре, затем их измельчали. Определение микроэлементов (Li, Be, B, Mg, Al, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Rb, Cd, Sn, Cs, Hg, Pb) в почвах отвалов проводилось методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на ELAN 9000 после микроволнового кислотного разложения.

С помощью коэффициентов – индекса геологического накопления элементов в почвах (*Igeo*) и фактора загрязнения (CF) произведена оценка риска загрязнения окружающей среды потенциально токсичными элементами. Индексы дают комплексную геохимическую оценку состояния почвенной среды. Полученные значения элементов в почвах отвалов сравнивались с фоновыми значениями в дерново-элювоземе и с кларками по Виноградову (1962).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В районе исследования широко распространены почвы подзолистого типа (горные подзолистые, дерново-подзолистые), которые характеризуются кислой реакцией среды, что подтверждается pH 4,5-4,7 в фоновой пробе почв.

Реакция среды почвы отвала шахты Центральная (литострат) с глубиной меняется от нейтральной до кислой (pH 6,8-3,3); реакция почвы отвала шахты Северная (эмбриозем) с глубиной меняется от слабощелочной до слабокислой (pH 7,9-5,0); реакция почвы отвала шахты Гореловская (литострат) также меняется с глубиной, но остается в пределах кислой (pH 6,1-4,5). Для литостратов такое распределение кислотности связано с внесением глинистого материала. Для эмбриозема слабощелочная реакция обусловлена внесением извести в верхний слой отвала при рекультивации.

Вещество отвалов, климатические условия и экологические особенности территории непосредственно влияют на содержание и распределение микроэлементов за счет мобилизации и привноса элементов с поверхностным стоком и атмосферным переносом, в частности в поверхностные слои почв. В зависимости от положения в ландшафте микроэлементы могут аккумулироваться или мигрировать в ближайшие водоемы, грунтовые воды и потребляться растениями. Согласно таблице 1 отмечено наибольшее количество проб, превышающих фоновое и кларковое содержание элементов в разных слоях почв исследуемой территории, что также подтверждается расчетными коэффициентами *Igeo*, CF. Относительно кларка по Виноградову (1962), в почвах отвалов по всему профилю присутствует превышение (табл. 1) по Li (в 2-10 раз), B (в 39-65 раз), V (в 1,5-4 раза), Cu (в 1,3-4 раза), Cd (в 34-154 раза), Pb (в 2-4 раза), As (7-15 раз), Hg (8-10 раз), Cr (1-4 раза). Относительно фоновой пробы также имеются превышения по всему профилю в почвах отвалов по Li, B, Fe, Pb, As и Se (табл. 1).

Повышенное содержание Li (в 4-9 раз) в литостратах относительно фона и кларка с глубиной связано с тем, что Li сравнительно легко высвобождается из первичных почвенных минералов при окислении и в кислой среде, а затем захватывается глинистыми минералами. В литостратах при понижении pH до кислой, содержание Li увеличивается именно в глубинных горизонтах. Повышенное содержание B в почвах отвалов по сравнению с фоном и

Таблица 1

### Содержание микроэлементов в почвах отвалов и фоновой пробе, мг/кг

Content of trace elements in soils of waste dumps and baseline sample, mg/kg

| Элемент | Слой, см | Литострат, шахта | Эмбриозем, шахта | Литострат, шахта | Дерново-элювозем | Кларк по Виноградову (1962) |
|---------|----------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------------------|
|         |          | Центральная      | Северная         | Гореловская      |                  |                             |
| Li      | 0-10     | 139,26±6,96      | 302,64±15,13     | 126,51±6,33      | 48,09±2,40       | 32                          |
|         | 10-20    | 172,08±8,60      | 339,37±16,97     | 121,00±6,05      | 44,66±2,23       |                             |
|         | 20-30    | 262,27±13,11     | 85,73±4,29       | 194,06±9,70      | 38,69±1,93       |                             |
| Be      | 0-10     | 4,70±0,24        | 6,11±0,31        | 2,92±0,15        | 2,79±0,14        | 3,8                         |
|         | 10-20    | 5,33±0,27        | 5,36±0,27        | 2,76±0,14        | 2,54±0,13        |                             |
|         | 20-30    | 4,39±0,22        | 1,91±0,10        | 4,46±0,22        | 1,93±0,10        |                             |

| Элемент   | Слой, см | Литострат, шахта Центральная | Эмбриозем, шахта Северная | Литострат, шахта Гореловская | Дерново-элювозем | Кларк по Виноградову (1962) |
|-----------|----------|------------------------------|---------------------------|------------------------------|------------------|-----------------------------|
| <b>B</b>  | 0-10     | <b>680,88±34,04</b>          | <b>679,27±33,96</b>       | <b>488,64±24,43</b>          | 225,16±11,26     | 12                          |
|           | 10-20    | <b>704,72±35,24</b>          | <b>776,79±38,84</b>       | <b>468,10±23,41</b>          | 221,45±11,07     |                             |
|           | 20-30    | <b>543,48±27,17</b>          | <b>514,12±25,71</b>       | <b>598,86±29,94</b>          | 204,41±10,22     |                             |
| <b>Mg</b> | 0-10     | <b>1901,52±95,08</b>         | <b>1657,07±82,85</b>      | 178,24±8,91                  | 1206,18±60,31    | 18700                       |
|           | 10-20    | <b>1875,77±93,79</b>         | <b>681,17±34,06</b>       | 145,17±7,26                  | 561,71±28,09     |                             |
|           | 20-30    | <b>764,54±38,23</b>          | <b>4231,03±211,55</b>     | 140,49±7,02                  | 718,62±35,93     |                             |
| <b>Al</b> | 0-10     | 238,82±11,94                 | 158,28±7,91               | 82,88±4,14                   | 240,00±12,00     | 80500                       |
|           | 10-20    | <b>232,51±11,63</b>          | 222,72±11,14              | 84,19±4,21                   | 226,94±11,35     |                             |
|           | 20-30    | 210,87±10,54                 | <b>277,71±13,89</b>       | 139,35±6,97                  | 225,02±11,25     |                             |
| <b>V</b>  | 0-10     | <b>306,94±15,35</b>          | <b>283,35±14,17</b>       | <b>345,20±17,26</b>          | 174,69±8,73      | 90                          |
|           | 10-20    | <b>332,20±16,61</b>          | <b>298,06±14,90</b>       | <b>330,54±16,53</b>          | 176,53±8,83      |                             |
|           | 20-30    | <b>296,28±14,81</b>          | 139,13±6,96               | <b>300,85±15,04</b>          | 160,29±8,01      |                             |
| <b>Mn</b> | 0-10     | <b>751,42±37,57</b>          | 334,44±16,72              | 211,95±10,60                 | 496,00±24,80     | 1000                        |
|           | 10-20    | <b>821,98±41,10</b>          | 104,86±5,24               | 204,39±10,22                 | 511,51±25,58     |                             |
|           | 20-30    | 239,09±11,95                 | 46,47±2,32                | 120,38±6,02                  | 508,85±25,44     |                             |
| <b>Co</b> | 0-10     | <b>40,49±2,02</b>            | <b>31,04±1,55</b>         | 8,20±0,41                    | 15,91±0,80       | 18                          |
|           | 10-20    | <b>39,21±1,96</b>            | 13,81±0,69                | 7,98±0,40                    | 15,88±0,79       |                             |
|           | 20-30    | 10,52±0,53                   | 4,18±0,21                 | 7,57±0,38                    | 14,83±0,74       |                             |
| <b>Ni</b> | 0-10     | <b>107,97±5,40</b>           | <b>75,79±3,79</b>         | 27,47±1,37                   | 53,11±2,66       | 58                          |
|           | 10-20    | <b>119,46±5,97</b>           | 47,13±2,36                | 26,57±1,33                   | 53,13±2,66       |                             |
|           | 20-30    | 43,62±2,18                   | 16,66±0,83                | 30,72±1,54                   | 48,65±2,43       |                             |
| <b>Cu</b> | 0-10     | <b>144,53±7,23</b>           | <b>93,86±4,69</b>         | <b>88,17±4,41</b>            | 85,23±4,26       | 47                          |
|           | 10-20    | <b>185,96±9,30</b>           | 61,28±3,06                | <b>85,60±4,28</b>            | 79,25±3,96       |                             |
|           | 20-30    | <b>110,81±5,54</b>           | <b>74,30±3,72</b>         | 62,46±3,12                   | 70,43±3,52       |                             |
| <b>Zn</b> | 0-10     | <b>149,42±7,47</b>           | <b>218,95±10,95</b>       | 64,59±3,23                   | 128,57±6,43      | 83                          |
|           | 10-20    | <b>172,40±8,62</b>           | 74,27±3,71                | 61,89±3,09                   | 126,99±6,35      |                             |
|           | 20-30    | 61,92±3,10                   | 26,24±1,31                | 49,41±2,47                   | 97,08±4,85       |                             |
| <b>As</b> | 0-10     | <b>19,89±0,99</b>            | <b>14,54±0,73</b>         | <b>21,54±1,08</b>            | 9,18±0,46        | 1,7                         |
|           | 10-20    | <b>22,05±1,10</b>            | <b>12,25±0,61</b>         | <b>23,09±1,15</b>            | 8,31±0,42        |                             |
|           | 20-30    | <b>18,85±0,94</b>            | <b>13,37±0,67</b>         | <b>26,18±1,31</b>            | 8,90±0,45        |                             |
| <b>Rb</b> | 0-10     | 14,96±0,75                   | <b>27,47±1,37</b>         | 7,21±0,36                    | 26,68±1,33       | 150                         |
|           | 10-20    | <b>16,40±0,82</b>            | <b>12,50±0,63</b>         | 6,61±0,33                    | 9,41±0,47        |                             |
|           | 20-30    | <b>41,93±2,10</b>            | <b>82,84±4,14</b>         | 10,34±0,52                   | 17,29±0,86       |                             |
| <b>Cd</b> | 0-10     | 11,08±0,55                   | <b>13,10±0,66</b>         | 5,02±0,25                    | 11,12±0,56       | 0,13                        |
|           | 10-20    | <b>12,45±0,62</b>            | <b>20,34±1,02</b>         | 4,98±0,25                    | 11,21±0,56       |                             |
|           | 20-30    | <b>13,35±0,67</b>            | 7,96±0,40                 | 10,19±0,51                   | 12,58±0,63       |                             |
| <b>Sn</b> | 0-10     | <b>5,53±0,28</b>             | <b>11,11±0,56</b>         | <b>4,78±0,24</b>             | 4,39±0,22        | 2,5                         |
|           | 10-20    | <b>8,43±0,42</b>             | <b>8,44±0,42</b>          | <b>4,45±0,22</b>             | 4,18±0,21        |                             |
|           | 20-30    | <b>7,02±0,35</b>             | 2,28±0,11                 | <b>12,19±0,61</b>            | 3,16±0,16        |                             |
| <b>Cs</b> | 0-10     | <b>4,39±0,22</b>             | <b>5,40±0,27</b>          | 1,41±0,07                    | 2,39±0,12        | 3,7                         |
|           | 10-20    | <b>4,09±0,20</b>             | <b>3,11±0,16</b>          | 1,34±0,07                    | 1,78±0,09        |                             |
|           | 20-30    | <b>6,25±0,31</b>             | <b>2,69±0,13</b>          | <b>2,23±0,11</b>             | 1,92±0,10        |                             |
| <b>Hg</b> | 0-10     | 4,00±0,20                    | 0,68±0,03                 | 4,53±0,23                    | 6,55±0,33        | 0,083                       |
|           | 10-20    | <b>13,14±0,66</b>            | 2,87±0,14                 | 5,14±0,26                    | 6,91±0,35        |                             |
|           | 20-30    | 2,31±0,12                    | 3,84±0,19                 | 0,94±0,05                    | 6,21±0,31        |                             |
| <b>Pb</b> | 0-10     | <b>64,04±3,20</b>            | <b>86,02±4,30</b>         | <b>49,92±2,50</b>            | 43,07±2,15       | 16                          |
|           | 10-20    | <b>70,19±3,51</b>            | <b>71,91±3,60</b>         | <b>47,97±2,40</b>            | 33,53±1,68       |                             |
|           | 20-30    | <b>61,41±3,07</b>            | <b>33,99±1,70</b>         | <b>32,94±1,65</b>            | 23,28±1,16       |                             |
| <b>Se</b> | 0-10     | <b>3,16±0,16</b>             | <b>4,44±0,22</b>          | <b>4,65±0,23</b>             | 3,13±0,16        | -                           |
|           | 10-20    | <b>4,58±0,23</b>             | <b>3,57±0,18</b>          | <b>4,25±0,21</b>             | 3,40±0,17        |                             |
|           | 20-30    | <b>5,59±0,28</b>             | <b>7,43±0,37</b>          | <b>6,07±0,30</b>             | 2,56±0,13        |                             |
| <b>Cr</b> | 0-10     | <b>340,01±17,00</b>          | <b>230,98±11,55</b>       | 133,78±6,69                  | 196,93±9,85      | 83                          |
|           | 10-20    | <b>371,94±18,60</b>          | <b>280,41±14,02</b>       | 129,23±6,46                  | 200,11±10,01     |                             |
|           | 20-30    | <b>265,49±13,27</b>          | 99,83±4,99                | 207,86±10,39                 | 232,55±11,63     |                             |

\* жирным выделено превышение над фоновым содержанием

\*\* серым выделено превышение над кларком по Виноградову (1962)

кларком в верхних слоях эмбриозема обусловлено также реакцией среды (рН 7,9-7,4), причем максимум содержания всегда наблюдается при рН выше 7. Обнаружено превышение содержания V (в 1,5–2 раза) в почвах отвалов по сравнению с фоновым содержанием и кларком. V имеет свойства накапливаться в углеродсодержащих отложениях, также его превышение в отвалах КУБа отмечено в работе [18].

Отмечено высокое содержание S, Cu, Cd, Sn, Pb, As по сравнению с фоном в верхних слоях почв отвалов, что связано с процессами почвообразования на отвалах и высоким содержанием сульфидных минералов. В исследовании [6] установлено, что Cr, Se, Cd, Hg и As присутствуют в сульфидных минералах, что связано с почвообразующим процессам на отвалах; Be и V встречались в карбонатных минералах; Pb отмечен в основном в глинистых минералах в образцах горных пород. В то время как As и Hg в основном встречались в сульфидных минералах [6].

Исследования, проведенные на угольном месторождении в Турции [16], также показывают, что Cr, Ni и Hg в почвах шахт присутствуют в высоких концентрациях, что связано с загрязнением Cr вследствие деятельности угольной шахты. Первичные носители Cr в углях включают ор-

ганические соединения, которые связаны с Cr и хромсодержащими минералами (такие как пирит и глины) [20].

При оценке загрязнения почв отвалов с помощью коэффициентов  $I_{geo}$  и CF получены следующие результаты. При аккумуляции Mn, Rb, Cd, Hg и Se во всех почвах отвалов были зафиксированы значения  $I_{geo}$  ниже 1 (табл. 2), что свидетельствовало о том, что почвы отвалов не загрязнены данными элементами. В случае аккумуляции B, V и As уровень загрязнения варьируется от не загрязненного до умеренно загрязненного. Отмечено среднее загрязнение по Li для эмбриозема. По результатам расчета  $I_{geo}$  отмечено наименьшее загрязнение микроэлементов в верхнем слое почвы в литострате на шахте Гореловская. В целом, почвы отвала характеризуются умеренным загрязнением (табл. 2).

Фактор загрязнения (CF) использовали для оценки загрязнения почвы элементами, представляющими токсическую опасность для окружающей среды и здоровья человека. Высокий коэффициент загрязнения (CF) наблюдается от 3 до 6 по Li, от 2 до 3 по B, в пределах 2 по V, от 1 до 3 по Co во всех почвах отвалов. Расчет коэффициентов выявил одинаковые тенденции – умеренное загрязнение всех проб почв отвалов по B, V и As и средней степени загрязнения по Li.

Таблица 2

### Результаты расчета индекса геологической аккумуляции ( $I_{geo}$ ) в верхнем слое почв отвалов (0-10 см)

Results of calculated index of geological accumulation ( $I_{geo}$ ) in the top soil layer of waste dumps (0-10 cm)

| Элемент | Расчетные данные по Литострат, шахта Центральная | Расчетные данные по Эмбриозем, шахта Северная | Расчетные данные по Литострат, шахта Гореловская | Степень загрязнения почв отвалов                                   |
|---------|--|---|--|--|
| Li      | 1,0  | 2,1   | 0,8  | $I_{geo} < 0$<br>чистые почвы                                      |
| Be      | 0,2  | 0,6   | <0   | $0 < I_{geo} < 1$<br>Не загрязнённые до умеренно загрязненные      |
| B       | 1,0  | 1,0   | 0,5  | $1 < I_{geo} < 2$<br>Умеренно загрязненные                         |
| Mg      | 0,1  | <0  | <0   | $2 < I_{geo} < 3$<br>Средне загрязненные                           |
| Al      | <0   | <0  | <0   | $3 < I_{geo} < 4$<br>Сильно загрязненные                           |
| V       | 0,2  | 0,1   | 0,4  | $4 < I_{geo} < 5$<br>Сильно загрязненные до чрезмерно загрязненные |
| Mn      | <0   | <0  | <0   | $I_{geo} > 5$<br>Чрезмерно загрязненные                            |
| Co      | 0,7  | 0,4   | <0   |  |
| Ni      | 0,4  | <0  | <0   |  |
| Cu      | 0,2  | <0  | <0   |  |
| Zn      | <0   | 0,2   | <0   |  |
| As      | 0,5  | 0,1   | 0,6  |  |
| Rb      | <0   | <0  | <0   |  |
| Cd      | <0   | <0  | <0   |  |
| Sn      | <0   | 0,8   | <0   |  |
| Cs      | 0,3  | 0,6   | <0   |  |
| Hg      | <0   | <0  | <0   |  |
| Pb      | <0   | 0,4   | <0   |  |
| Se      | <0   | <0  | <0   |  |
| Cr      | 0,2  | <0  | <0   |  |

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отвалы угольной промышленности становятся почвообразующей породой, которая совместно с проведенными рекультивационными мероприятиями определяет микроэлементный состав почв отвалов КУБа.

Относительно кларка по Виноградову (1962), в почвах отвалов по всему профилю присутствует превышение по Li, B, V, Cu, Cd, Pb, As, Hg и Cr. Относительно фоновой пробы также имеются превышения по всему профилю в почвах отвалов по Li, B, Pb, As и Se.

Результаты микроэлементного анализа показали, что даже после рекультивации в почвах отвалов происходит аккумуляция элементов. Кроме того, металлы не поддаются биологическому разложению из-за значительной абсорбции гумусом и коллоидами глины в почве, что позволяет им аккумулироваться в течение более длительного периода времени.

Исследование загрязнения почв отвалов КУБа оценивалось с использованием эколого-геохимических коэффициентов (индекс геоаккумуляции – *Igeo*, фактор загрязнения – CF). Результаты показали высокий фактор загрязнения (CF) по Li от 3 до 6, по B от 2 до 3, в пределах 2 по V, по Co от 1 до 3 во всех почвах отвалов КУБа. По расчетам коэффициентов отмечены одинаковые тенденции – умеренное загрязнение всех проб почв отвалов по B, V, As и средней степени загрязнение по Li.

Исследование дает важные результаты для разработки эффективных рекультивационных мероприятий по восстановлению районов, подверженных влиянию угольных отвалов.

## Список литературы

1. Environmental Assessment Impact of Acid Mine Drainage from Kizel Coal Basin on the Kosva Bay of the Kama Reservoir (Perm Krai, Russia) / E. Ushakova, E. Menshikova, S. Blinov et al. // *Water*. 2022. 14(5). 727.
2. Distribution of trace elements, rare earth elements and ecotoxicity in sediments of the Kosva bay, Perm region (Russia) / E. Ushakova, E. Menshikova, S. Blinov et al. // *Journal of Ecological Engineering*. 2022. 23(4). P. 1-16.
3. Leaching characteristic and environmental implication of rejection rocks from Huainan Coalfield, Anhui Province, China / C. Zhou, G. Liu, T. Fang et al. // *J. Geochem. Explor.* 2014. 143. P. 54-61.
4. Mineral and chemical composition and some trace element contents in coals and coal ashes from Huaibei coal field, China / G. Liu, S.V. Vassilev, L. Gao et al. // *Energy Convers. Manag.* 2005. No 46. P. 2001-2009.
5. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафтов. М: МГУ, 1999. 610 с.
6. Multivariate analysis of trace elements leaching from coal and host rock / Shan Yao, Wenfeng Wang, Yong Qin et al. // *Groundwater for Sustainable Development*. 2019. Vol. 8. P. 402-412.
7. Risk assessment of particle dispersion and trace element contamination from mine-waste dumps / A. Romero, I. González, J.M. Martín et al. // *Environ Geochem Health*. 2015. No 37. P. 273-286.
8. Максимович Н.Г., Пьянков С.В. Кизеловский угольный бассейн: экологические проблемы и пути решения. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т., 2018. 288 с.
9. Trace element emissions from spontaneous combustion of gob piles in coal mines Shanxi, China / Y.C. Zhao, J.Y. Zhang, C.L. Chou et al. // *Int. J. Coal Geol.* 2008. No 73(1). P. 52-62.
10. Miler M., Gosar M. Characteristics and potential environmental influences of mine waste in the area of the closed Mežica Pb-Zn mine (Slovenia) // *J. Geochem Explor.* 2012. No 112. P. 152-160.
11. Nematodes as indicators of soil recovery in tailings of a lead/zinc mine / Y. Shao, W. Zhang, J. Shen et al. // *Soil Biol Biochem.* 2008. No 40. P. 2040-2046.
12. Selected ions and major and trace elements as contaminants in coal-waste dump water from the Lower and Upper Silesian Coal Basins (Poland) / L. Lewińska-Preis, E. Szram, M.J. Fabiańska et al. // *Int. J. Coal Sci. Technol.* 2021. No 8. P. 790-814.
13. Adibee N., Osanloo M., Rahmanpour M. Adverse effects of coal mine waste dumps on the environment and their management // *Environ Earth Sci.* 2013. No 70. P. 1581-1592.
14. Классификация и свойства почв, образовавшихся на рекультивированных угольных отвалах Кизеловского угольного бассейна / Н.В. Митракова, Е.А. Хайрулина, Н.В. Порошина и др. // *Теоретическая и прикладная экология*. 2022. № 4. С. 180-187.
15. Heavy metal pollution of coal mine-affected agricultural soils in the northern part of Bangladesh / Mohammad A.H. Bhuiyan, Lutfar Parvez, M.A. Islam et al. // *Journal of Hazardous Materials*. 2010. Vol. 173. Is. 1-3. P. 384-392.
16. Tozsın G. Hazardous elements in soil and coal from the Oltu coal mine district, Turkey // *International Journal of Coal Geology*. 2014. Vol. 131. P. 1-6.
17. Mineral Formation under the Influence of Mine Waters (The Kizel Coal Basin, Russia) / E. Menshikova, B. Osovetsky, S. Blinov et al. // *Minerals*. 2020. 10(4):364.
18. Leaching behavior of trace elements in coal spoils from Yangquan coal mine, Northern China / X. Gao, M. Xu, Q. Hu et al. // *J. Earth Sci.* 2016. 27. p. 891-900.
19. Белкин П.А., Меньшикова Е.А. Исследование токсичных микроэлементов в отвалах Кизеловского угольного бассейна / Экологическая безопасность в условиях антропогенной трансформации природной среды: сборник материалов всероссийской школы-семинара, посвященной памяти Н.Ф. Реймерса и Ф.П. Штильмарка, (22-23 апреля 2021 г.). Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2021. С.168-172.
20. Атлас Пермского края. Пермь: ПГНИУ, 2012. 124 с.
21. The retention and speciation transformation mechanisms of chromium during bituminous coal combustion: Effects of inorganic minerals and combustion temperature / Quan Tang, Changqian Du, Jiaqi Liu et al. // *Fuel Processing Technology*. 2022. Vol. 232. 107273.

UDC 622.693.26:622.85 © A.A. Perevoshchikova, E.E. Malyshkina, N.V. Mitrakova, 2023  
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № 12, pp. 85-91  
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-12-85-91>

**Title****ANALYSIS OF THE MICROELEMENT COMPOSITION OF SOILS FROM RECULTIVATED COAL DUMPS OF THE KIZEL COAL BASIN****Authors**

Perevoshchikova A.A.<sup>1,2</sup>, Malyshkina E.E.<sup>1</sup>, Mitrakova N.V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Natural Science Institute of Perm State Research University, Perm, 614990, Russian Federation

<sup>2</sup> Perm National Research Polytechnic University, Perm, 614990, Russian Federation

**Authors Information**

**Perevoshchikova A.A.**, Junior Researcher, Postgraduate student,  
 e-mail: aaperevoshchikova@yandex.ru

**Malyshkina E.E.**, Research Engineer, e-mail: thelionofcintra@gmail.com

**Mitrakova N.V.**, PhD (Biology), Senior Researcher,  
 e-mail: mitrakovanatalya@mail.ru

**Abstract**

Mining operations have resulted in the formation of numerous abandoned mines and tailings dams. Abandoned mines, acid mine water discharge, and overburden dumps are the primary causes of environmental pollution in the Kizel Coal Basin (KCB) in Perm Krai (Russia). Crucial factors in preserving KCB's ecosystems are the reclamation of coal dumps and the formation or restoration of soils. The research focuses on the soils of KCB dumps located in the Ugleuralsky, Shumikhinsky, and Shakhta villages. In order to examine these soils, standard chemical analysis methods were employed, including soil contamination assessment using calculated coefficients such as the geoaccumulation index (Igeo) for elements in soils and the contamination factor (CF). The obtained results suggest that the soils in the dumps contain an abundance of Li, B, V, Cu, Cd, Pb, As, Hg, and Cr throughout the entire profile, compared to Vinogradov's Clarke (1962). The dump soils also show excess amounts of Li, B, Pb, As, and Se throughout the entire profile when compared to the background sample. Based on the Igeo of elements in soils, the soil of the Severnaya Mine dump (Shakhta village) showed moderate Li contamination. All dump soils exhibit a high contamination factor (CF) for Li, B, V, and Co. The obtained data indicates that even after reclamation, the accumulation of elements like Li, B, and V persists in the dump soils. This research provides crucial insights for the advancement of effective reclamation strategies aimed at restoring areas affected by coal dumps.

**Keywords**

Mining activities, Coal industry, Potentially toxic elements, Soils, Dumps, Reclamation, Restoration, Remediation, Pollution coefficients.

**References**

- Ushakova E., Menshikova E., Blinov S., Osovetsky B. & Belkin P. Environmental Assessment Impact of Acid Mine Drainage from Kizel Coal Basin on the Kosva Bay of the Kama Reservoir (Perm Krai, Russia). *Water*, 2022, 14(5), 727.
- Ushakova E., Menshikova E., Blinov S., Vaganov S. & Perevoshchikov R. Distribution of trace elements, rare earth elements and ecotoxicity in sediments of the Kosva bay, Perm region (Russia). *Journal of Ecological Engineering*, 2022, 23(4), pp. 1-16.
- Zhou C., Liu G., Fang T., Sun R. & Wu D. Leaching characteristic and environmental implication of rejection rocks from Huainan Coalfield, Anhui Province, China. *J. Geochem. Explor.*, 2014, (143), pp. 54-61.
- Liu G., Vassilev S.V., Gao L., Zheng L. & Peng Z. Mineral and chemical composition and some trace element contents in coals and coal ashes from Huaibei coal field China. *Energy Convers. Manag.*, 2005, (46), pp. 2001-2009.
- Perelman A.I. & Kasimov N.S. Geochemistry of landscape. Moscow, Moscow State University, 1999, 610 p. (In Russ.).
- Shan Yao, Wenfeng Wang, Yong Qin & Linsheng Gao. Multivariate analysis of trace elements leaching from coal and host rock. *Groundwater for Sustainable Development*, 2019, (8), pp. 402-412.
- Romero A., González I., Martín J.M., Vázquez M.A. & Ortiz P. Risk assessment of particle dispersion and trace element contamination from mine-waste dumps. *Environ Geochem Health*, 2015, (37), pp. 273-286.
- Maksimovich N.G. & Pyankov S.V. Kizelovsky coal basin: environmental problems and solutions: monograph. Perm, Perm State National Research University Publ., 2018, 288 p. (In Russ.).

9. Zhao Y.C., Zhang J.Y., Chou C.L., Li Y., Wang Z.H., Ge Y.T. & Zheng C.G. Trace element emissions from spontaneous combustion of gob piles in coal mines Shanxi, China. *Int. J. Coal Geol.*, 2008, 73(1), pp. 52-62.

10. Miler M. & Gosar M. Characteristics and potential environmental influences of mine waste in the area of the closed Mežica Pb–Zn mine (Slovenia). *J. Geochem Explor.*, 2012, (112), pp.152-160.

11. Shao Y., Zhang W., Shen J., Zhou L., Xia H., Shu W., Ferris H. & Fu S. Nematodes as indicators of soil recovery in tailings of a lead/zinc mine. *Soil Biol Biochem.*, 2008, (40), pp. 2040-2046.

12. Lewińska-Preis L., Szram E., Fabiańska M.J., Nádudvari A., Misz-Kennan M., Abramowicz A., Kruszewski L. & Kita L. Selected ions and major and trace elements as contaminants in coal-waste dump water from the Lower and Upper Silesian Coal Basins (Poland). *Int. J. Coal Sci. Technol.*, 2021, (8), pp. 790-814.

13. Adibee N., Osanloo M. & Rahmanpour M. Adverse effects of coal mine waste dumps on the environment and their management. *Environ Earth Sci.*, 2013, (70), pp. 1581-1592.

14. Mitrakova N.V., Khayrulina E.A., Poroshina N.V., Perminova A.A. & Malyshkina E.E. Classification and properties of soils formed on recultivated coal dumps of Kizel Coal Basin. *Theoretical and applied ecology*, 2022, (4), pp. 180-187. (In Russ.).

15. Mohammad A.H. Bhuiyan, Lutfar Parvez, Islam M.A., Samuel B. Dampare, Shigeyuki Suzuki. Heavy metal pollution of coal mine-affected agricultural soils in the northern part of Bangladesh. *Journal of Hazardous Materials*, 2010, Vol. 173, (1-3), pp. 384-392.

16. Tozsin G. Hazardous elements in soil and coal from the Oltu coal mine district, Turkey. *International Journal of Coal Geology*, 2014, (131), pp. 1-6.

17. Menshikova E., Osovetsky B., Blinov S. & Belkin P. Mineral Formation under the Influence of Mine Waters (The Kizel Coal Basin, Russia). *Minerals*, 2020.10(4):364.

18. Gao X., Xu M., Hu Q. et al. Leaching behavior of trace elements in coal spoils from Yangquan coal mine, Northern China. *J. Earth Sci.*, 2016, (27), pp. 891-900.

19. Belkin P.A. & Menshikova E.A. Study of toxic trace elements in waste dumps of Kizel Coal Basin. Proceedings of All-Russian School-Seminar in Memory of N.F. Reimers and F.R. Stilmark. (22-23 April 2021). Perm, Perm State National Research University, 2021, pp.168-172. (In Russ.).

20. Atlas of Perm Territory. Perm, Perm. State National Research University Publ., 2012. 124 p. (In Russ.).

21. Quan Tang, Changqian Du, Jiaqi Liu, Lingrui Fan, Jialu Niu, Chunhui Miao, Wancai Li & Biao Fu. The retention and speciation transformation mechanisms of chromium during bituminous coal combustion: Effects of inorganic minerals and combustion temperature. *Fuel Processing Technology*, 2022, (232), 107273.

**Acknowledgements**

The work was carried out with the financial support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation FSNF-2020-0021 project.

**For citation**

Perevoshchikova A.A., Malyshkina E.E. & Mitrakova N.V. Analysis of the microelement composition of soils from recultivated coal dumps of the Kizel Coal Basin. *Ugol'*, 2023, (12), pp. 85-91. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-12-85-91.

**Paper info**

Received September 6, 2023

Reviewed November 10, 2023

Accepted November 27, 2023