

НАУКИ О ЗЕМЛЕ И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

EARTH AND ENVIRONMENTAL SCIENCES

Обзорная статья
УДК 662.613.1:504.75.06
DOI: 10.21209/2227-9245-2024-30-4-8-17

Микроэлементный состав золошлаковых отходов Забайкальского края

Галина Петровна Сидорова¹, Павел Михайлович Маниковский²

^{1,2}Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия

¹druja@inbox.ru, ²manikovskiyрm@yandex.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию
02.08.2024

Одобрена после
рецензирования
21.10.2024

Принята к публикации
24.10.2024

Ключевые слова:

химические элементы,
экологическое состояние,
неорганическое вещество,
ценные компоненты,
методы исследования,
золошлаковые отходы,
зольные уносы, угольные
месторождения,
естественные
радионуклиды,
элементы-примеси

Ископаемый уголь состоит из органической и неорганической частей. Неорганическая часть представлена в форме минералов. В составе неорганического вещества выделяются две химические группы элементов: золообразующие или главные – около 99 % всего неорганического вещества; элементы-примеси или второстепенные – около 1 % всего неорганического вещества. Среди элементов-примесей могут быть редкие ценные металлы, такие как Ge, Ga, U и др. Иногда стоимость редких металлов в угле может превышать стоимость самого угля, и тогда эти угли рассматриваются как беднобалансовое минеральное сырьё, а органическое вещество, находящееся в их составе, – как попутный продукт. В статье представлен обзор уже проведённых и проводимых в настоящее время исследований, посвящённых вопросу безопасного вовлечения золошлаковых отходов, занимающих огромные территории вблизи угольных электростанций, в промышленный оборот за счёт их комплексного использования. Объект исследования – отходы сжигания углей. Предмет исследования – золошлаковые отходы забайкальских угольных электростанций. Цель исследования – оценка минерального состава золошлаковых отходов в Забайкальском крае. Задача исследования – получение достоверной информации о содержании и распределении химических элементов в неорганическом веществе углей Забайкалья, переходящих после сжигания в золошлаковые отходы. Методы исследования: аналитические исследования и обработка архивных материалов по ранее проведённым работам; полевое опробование золошлаковых отходов с применением современных приборов; обработка лабораторных проб с использованием современного лабораторного оборудования. Результатами исследований будут являться: оценка элементного состава неорганического вещества в углях на основе анализа золошлаковых отходов и их потенциального влияния на экологическое состояние прилегающих территорий при сжигании; типизация химических элементов неорганического вещества в забайкальских углях, в частности на ценные, потенциально ценные, токсичные, потенциально токсичные, технологически вредные и технологически полезные компоненты.

Благодарности. Статья подготовлена при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках выполнения гранта на проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований «Научно-экспериментальное обоснование безопасного использования золошлаковых отходов угольных электростанций в Забайкальском крае» (соглашение № 24-27-20029; <https://rscf.ru/project/24-27-20029>).

Review article

Microelement Composition of Ash and Slag Waste of the Transbaikal Territory

Galina P. Sidorova¹, Pavel M. Manikovsky²^{1,2}Transbaikal State University, Chita, Russia¹druja@inbox.ru, ²manikovskiy@yandex.ru**Information about the article**

Received 2 August 2024

Approved after review
21 October 2024Accepted for publication
24 October 2024**Keywords:***chemical elements, ecological state, inorganic substance, valuable components, research methods, ash and slag waste, fly ash, coal deposits, natural radionuclides, impurity elements*

Acknowledgements. The article was prepared with the financial support of the Russian Science Foundation within the framework of the grant for fundamental scientific research and exploratory scientific research "Scientific and experimental substantiation of the safe use of ash and slag waste from coal-fired power plants in the Transbaikal Territory" (agreement No. 24-27-20029; <https://rscf.ru/project/24-27-20029>).

Введение. В процессе переработки и сжигания угля образуется несколько видов отходов, влияющих на экологическую обстановку окружающих территорий: зола и шлак, мелкодисперсная летучая зола-унос и дымовые газы. Значительная часть зольных уносов, в зависимости от конструкции применяемых фильтров, улавливается, иногда до 99 %. Технологий, позволяющих полностью обезвредить дымовые газы, поступающие из труб тепловых электростанций (далее – ТЭС), пока нет. Наиболее тонкая фракция зольных уносов проходит через систему золо-, газоочистки и вместе с дымовыми газами уходит в атмосферу. По мнению экологов, именно эта часть выбросов ТЭС наиболее насыщена потенциально токсичными элементами. Уловленные зольные уносы, остаточные нелетучие золы и шлаки направляются гидравлическим способом в золоотвалы и называются золошлаковыми отходами. В

Fossil coal consists of organic and inorganic parts. The inorganic part is in the form of minerals. In the composition of inorganic matter, two chemical groups of elements are distinguished: ash-forming or main, constituting about 99 % of all inorganic matter; impurity or minor elements (about 1 % of the total inorganic matter). Among the impurity elements there may be rare valuable metals such as Ge, Ga, U, etc. Sometimes, the cost of rare metals in coal may exceed the cost of the coal itself, and then these coals are considered as low-balance mineral raw materials, and their organic matter found in their composition as a by-product. The article provides overview information on the results of studies already conducted and currently ongoing on the issue of the safe inclusion of ash and slag waste, which occupies vast areas near coal-fired power plants, into industrial circulation through their integrated use. The object of the research is coal combustion waste. The subject of the study is ash and slag waste from Transbaikal coal power plants. The purpose of the work is to assess the mineral composition of ash and slag waste in the Transbaikal Territory. The objective of the research is to obtain reliable information about the content and distribution of chemical elements in the inorganic matter of Transbaikal coals, which turn into ash and slag waste after combustion. The research methods are as follows: analytical research and processing of archival materials from previously carried out work; field testing of ash and sludge waste using modern instruments; processing of laboratory samples using modern laboratory equipment. The result of the research will be: assessment of the elemental composition of inorganic matter in coals based on the analysis of ash and slag waste and their potential impact on the ecological state of adjacent areas during combustion; typification of chemical elements of inorganic matter in Transbaikal coals: valuable components, potentially valuable, toxic, potentially toxic, technologically harmful and technologically useful.

состав золошлаков входит в среднем до 12–15 % несгоревшего или частично сгоревшего угля [5; 10; 15; 17; 21]. Именно эти отходы в настоящее время являются основной проблемой предприятий угольной генерации.

Актуальность исследования. Анализ архивных материалов показывает, что в разные годы в результате проведённых геологоразведочных работ на территории Забайкальского края выявлены угольные месторождения, содержащие комплекс важнейших ценных микроэлементов, имеющих различную степень изученности [5; 8; 15; 19].

Многими исследователями, рассматривавшими распределение рудных элементов в углях, установлено, что их основными источниками являются размываемые породы областей сноса, несущие повышенные концентрации этих элементов. Рудные элементы выносятся поверхностными водами в виде истинных или коллоидных растворов при раз-

рушении пород и образуют на больших площадях фоновые концентрации. Только при разрушении в областях питания рудопроявлений или месторождений могут образоваться достаточно высокие локальные концентрации микроэлементов в углях.

В исследуемых фондовых материалах имеется множество примеров, указывающих на наличие высоких концентраций микроэлементов в углях, обусловленных размывом в областях сноса рудных проявлений или месторождений, сопряжённых с угленосными отложениями [5; 10; 15; 19].

Объект исследования – отходы сжигания углей.

Предмет исследования – золошлаковые отходы забайкальских угольных электростанций.

Цель исследования – оценка минерального состава золошлаковых отходов в Забайкальском крае.

Задача исследования – получение достоверной информации о содержании и распределении химических элементов в неорганическом веществе углей Забайкалья, переходящих после сжигания в золошлаковые отходы.

Методы исследования: аналитические исследования и обработка архивных материалов по ранее проведённым работам; полевое опробование золошлаковых отходов с применением современных приборов; обработка лабораторных проб с использованием современного лабораторного оборудования.

Результатами исследований будут являться: оценка химических элементов неорганического вещества в углях, переходящих в золошлаковые отходы, и их влияния на экологическое состояние прилегающих территорий при сжигании; типизация химических элементов неорганического вещества в забайкальских углях, в частности на ценные компоненты, потенциально ценные, токсичные, потенциально токсичные, технологически вредные и технологически полезные.

Разработанность темы исследования. Образование промышленных скоплений ископаемых углей на территории Забайкалья происходило во внутриконтинентальных условиях в мезозойское (средняя юра – ранний мел) и кайнозойское (неоген) время, что тесно связано с процессами тектонической активизации региона, обусловившей создание расчленённого рельефа, образование межгорных (приразломных и межразломных) отрицательных структур и накопление в них пресноводноосадочных отложений и растительного материала.

Угольные месторождения Забайкальского края приурочены к позднемезозойским тектоническим впадинам, в бортах которых расположены области сноса обломочного материала, состоящего из разнообразных магматических, метаморфических и осадочных пород [4; 5; 10; 16; 21]. По данным А. В. Внукова и Л. А. Адмакина (1967 г.), в углях различных геотектонических зон отмечается дифференциация элементов: в байкалидах – Ga-Nb-La, в каледонидах – Ge-W-Mo-Ni, в герцинидах – Ga-W-Zn-Sn [2; 5; 10; 19]. В углях Забайкалья, по данным проведённых исследований, присутствует значительное количество попутных компонентов в разных концентрациях: редкоземельные элементы, платиноиды, уран, олово, ванадий, титан, никель, кобальт, медь, бериллий, литий, стронций, скандий, иттрий, цирконий, ниобий, тантал, золото, серебро, галлий, вольфрам, молибден, цинк, свинец и др. [5; 19]. В некоторых бурогольных месторождениях отмечаются повышенные концентрации естественных радионуклидов, таких как уран, радий, торий и калий-40 [5; 11; 12; 16; 20]. Представление о величине некоторых фоновых концентраций микроэлементов в углях можно получить из анализа материалов по месторождениям России и Забайкалья, приведённых в табл. 1–3 [18; 21; 22; 24].

Выполненные исследования подтвердили, что основным источником загрязнения окружающей среды при сжигании бурых углей с повышенным содержанием радиоактивных элементов является тонкодисперсная составляющая золы-унос, практически не улавливаемая электрофильтрами ТЭС.

Как уже говорилось ранее, в химическом составе неорганического вещества выделяют 2 группы элементов:

- 1) золообразующие (Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K и др.);
- 2) элементы-примеси (Ge, Ga, U, Mo, Be, Sc, Cl, F, Hg, As и др.).

Приведённые данные показывают, что уголь нельзя рассматривать только как энергетическое сырьё. Уголь – это комплексное полезное ископаемое, однако он является и «вредным» ископаемым, утилизация которого связана со значительными негативными воздействиями на окружающую среду [5; 6; 23–25; 28].

Существующее положение, перспективы накопления и использования золошлаковых отходов угольных электростанций представлены на рис. 1.

Таблица 1 / Table 1

Усреднённые содержания микроэлементов в угольных месторождениях Забайкалья, г/т /
Average content of microelements in coal deposits of the Transbaikal Territory, g/t¹

Месторождения углей / Place of birth	Продукты сжигания углей / Coal combustion products											Pb	Zn	Sn	W	Mo	Cu	Ag	Co	Na	V	Li	Be
Харанорское / Kharanorskoe	Уголь / coal	5,5	35,1	1,2	1,1	1,3	4,5	0,03	3	9	23	5,5	1,1										
	Зола / ash	30	204	5,1	10,5	12,1	44	0,3	22,1	48,5	100	34,6	12										
Татауровское / Tataurovskoe	Уголь / coal	4	24	0,3	2,7	1,1	4,5	0,03	3,7	2,1	13,5	1,3	0,8										
	зола / ash	25	221	1,2	25,6	18,4	33,4	0,13	22,8	12,9	96,5	10	6,4										
Тарбагатайское / Tarbagatai	Уголь / coal	5,3	32,2	1,2	26,8	5,3	8,1	0,2	4,6	7,5	21,1	6,8	4,8										
	Зола / ash	60,2	144	10,3	315,9	69,6	46,1	0,9	24,2	44,5	30,7	47,9	27,6										
Уртуйское / Urtuyskoe	Уголь / coal	1,3	7	0,7	–	5,2	2,9	0,03	7,1	9	20,2	2,3	0,6										
	Зола / ash	40,2	60,1	6,2	–	45	25	0,2	45,2	58,1	131	20	5,2										
Олонь-Шибирское / Olon-Shibirskoe	Уголь / coal	3,8	14	0,4	–	0,9	7,5	0,06	7	13,5	24	1,1	0,7										
	Зола / ash	23,6	85,8	2,4	–	8,1	47,1	0,4	41,6	84,6	142,2	6,2	3,6										
Апсатское / Apsatskoe	Уголь / coal	5	8,6	0,3	–	1,6	1,4	–	5,8	3,8	14,2	3,2	1,1										
	Зола / ash	39,1	66,1	2	–	11,2	11,1	–	45,1	29	112	25	8,2										
Зашуланское / Zashulanskoe	Уголь / coal	1,4	7,4	0,2	3,2	1,2	4,1	–	3,4	1,6	5,1	1,6	0,5										
	Зола / ash	17,0	92	3,1	40	15,3	50	–	42	20	62	20,1	6,2										
Нерчуганское / Nerchuganskoe	Уголь / coal	4,6	46,1	0,3	5,1	0,6	6,5	–	2,2	2,6	12,1	2,6	1,3										
	Зола / ash	35	350	2,1	40,2	5,2	50	–	17,1	20,2	90,3	20,1	10,2										
Мордойское / Morдойan	Уголь / coal	3,1	29	–	124	37,5	5,3	–	–	40	45	–	20										
	Зола / ash	7,8	75,2	–	310	93,7	13,2	–	–	100	112,5	–	50										
В углях России / In the coals of Russia	Уголь, г/т / coal, g/t	15	35	1	1,5	2	10	0,1	5	10	30	6	2,5										

¹ Программа развития и использования минерально-сырьевых ресурсов горно-металлургического комплекса Читинской области до 2005 г. и на перспективу. Т. 3. Топливно-энергетические ресурсы Читинской области и концепция их использования и развития. Кн. 2. – Чита, 2001. – С. 2–3.

Таблица 2 / Table 2

Результаты исследований по содержанию радиоактивных элементов при сжигании бурых углей Забайкалья /
Results of the studies on the content of radioactive elements during combustion of brown coals of Transbaikalia Territory [17]

Месторождения углей / Coal deposits	²³⁸ U			²²⁶ Ra			²³² Th			⁴⁰ K		
	уголь / coal	зола / ash	шлак / slag	уголь / coal	зола / ash	шлак / slag	уголь / coal	зола / ash	шлак / slag	уголь / coal	зола / ash	шлак / slag
Окино-Ключевское / Okino-Klyuchevskoe	4,7	43	32	1,7	–	3,5	1,2	–	2,4	6,6	–	5,5
Татауровское / Tataurovskoe	4,8	42	36	2,1	–	13	1,8	–	7,1	6,9	–	13
Харанорское / Kharanorskoe	5,8	53	46	2,0	28	25	1,6	12	11	2,1	13	10
Уртуйское / Urtuyskoe	18	62	66	3,5	43	64	2,8	13	14	13	70	80
Кулинское / Kutinskoe	27	71	56	2,5	–	8,8	2,2	–	3,8	14	–	10

Таблица 3 / Table 3

Содержание редкоземельных элементов в золе углей Забайкальского края / Content of rare earth elements in coals of the Transbaikalia Territory¹

Месторождения углей / Place of birth	Sc	Y	Лёгкие лантаноиды / Light lanthanides							Тяжёлые лантаноиды / Heavy lanthanides							Коэффициент концентрации* / Concentration coefficient			
			La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Ho	Er	Yb	Sc	Y	La	Yt			
Апсатское / Apsatskoe	10–500	10–100	80	60	0–500	0–150	0–200	0–50	0–100	0–50	0–20	5–50	5,1	0,7	0,1	3,6				
Читкандинское / Chitkandinskoe	Сл.–10	500–600	–	–	–	–	–	–	–	–	–	10–50	1	7,3	–	4				
Харанорское / Kharanorskoe	15	275	80	–	–	–	21	–	–	–	–	3	0,3	3,7	0,1	0,4				
Уртуйское / Urtuyskoe	10	85	45	–	–	–	–	–	–	–	–	9	0,2	3,7	0,1	0,4				
Олонь-Шибирское / Olon-Shibirskoe	10	60	40	–	–	–	–	50	–	–	–	3	0,2	0,8	0,05	0,4				
Тарбагатайское / Tarbagatayskoe	9	40	45	–	–	–	–	–	–	–	–	3	0,2	0,5	0,06	0,4				
Татауровское / Tataurovskoe	11	345	70	–	–	–	–	–	–	–	–	2	0,2	0,5	0,09	0,3				

* Коэффициент концентрации элемента = $\frac{\text{содержание элемента в угле}}{\text{минимальное содержание элемента}}$

¹ Программа развития и использования минерально-сырьевых ресурсов горно-металлургического комплекса Читинской области до 2005 г. и на перспективу. Т. 3. Топливно-энергетические ресурсы Читинской области и концепция их использования и развития. Кн. 2. – Чита, 2001. – С. 2–3.

В настоящее время разработано значительное количество способов комплексной утилизации органического и минерального вещества углей, минимизирующих накопление отходов ТЭС [1; 3; 6; 7; 9].

Основной сложностью при выборе технологии использования золошлаковых отходов являются индивидуальные особенности углей того или иного месторождения, связанные с его свойствами и минеральным составом. Приведенный вопрос должен решаться при выполнении специальных исследовательских работ. В настоящее время в рамках научных исследований при поддержке Российского фонда фун-

даментальных исследований, Российского научного фонда и региональных научных фондов в Забайкалье проводятся работы по оценке химического и минерального состава углей и золошлаковых отходов. Основными направлениями исследований на данном этапе являются экологическая безопасность использования углей и золошлаков, снижение экологической нагрузки на окружающую среду в процессе накопления отходов сжигания углей, вопросы их утилизации [13; 14; 26; 27].

Основные способы использования золошлаковых отходов в мире представлены на рис. 2.



Рис. 1. Накопление и использование золошлаковых отходов угольных электростанций: существующее положение и перспективы / **Fig. 1.** Accumulation and use of ASW from coal power plants: current situation and prospects

Примечание. ЗШО – золошлаковые отходы.

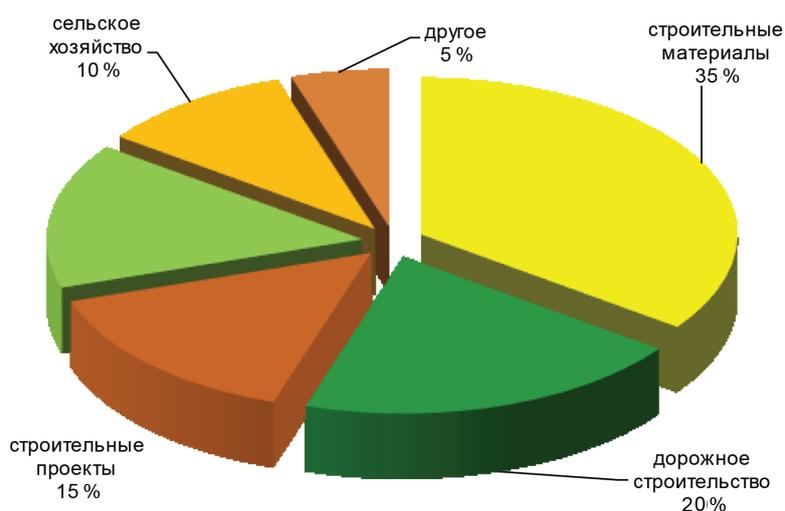


Рис. 2. Способы использования золошлаковых отходов в мире / **Fig. 2.** Methods of using ash and slag waste in the world

Сведения о распределении редких и рассеянных элементов, выделении их ассоциаций в угольных месторождениях имеют большое значение для разработки технологических схем извлечения металлов.

Анализ размещения потенциально ценных химических элементов в угольных месторождениях Забайкальского края, закономерности их размещения в углях, условия накопления и формы их вхождения в различные компоненты углей, сведения об утилизации рудных элементов и их ассоциации позволили дать геологическую, техно-

логическую, экономическую и экологическую характеристику углям, содержащим определённые концентрации химических элементов.

Согласно ранее проведённым исследованиям (рис. 3), источником накопления естественных радионуклидов в бурых углях Забайкалья являются породы фундамента, представленные палеозойскими гранитами, что удалось подтвердить через баланс металла в цепочке: кристаллические породы фундамента, осадочные угле вмещающие породы и уголь [5; 16].

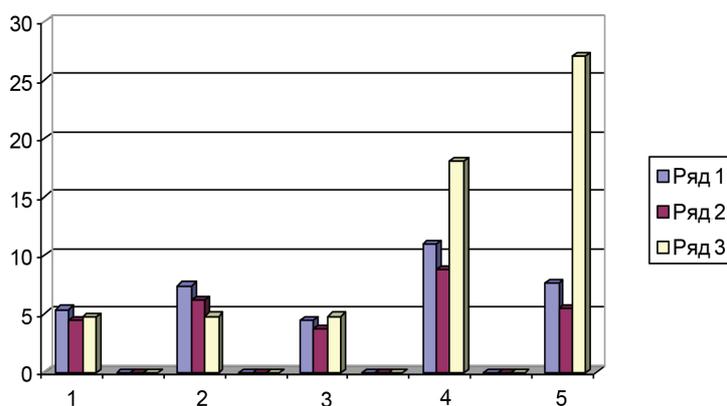


Рис. 3. Концентрация урана в геологических образованиях угольных месторождений, г/т: 1 – Окино-Ключевское; 2 – Татауровское; 3 – Харанорское; 4 – Уртуйское; 5 – Кутинское; ряд 1 – кристаллические породы фундамента; ряд 2 – вмещающая осадочная толща; ряд 3 – уголь / **Fig. 3.** Uranium concentration in geological formations of coal deposits, g/t: 1 – Okino-Klyuchevskoye; 2 – Tataurovskoye; 3 – Kharanorskoye; 4 – Urtuyskoye; 5 – Kutinskoye; row 1 – crystalline basement rocks; row 2 – enclosing sedimentary strata; row 3 – coal

В качестве примера на рис. 3 представлена диаграмма динамики накопления урана в различных геологических образованиях угольных месторождений Забайкалья.

Заключение. Химические элементы в углях обычно имеют небольшие содержания, поэтому извлечение какого-либо одного экономически нецелесообразно. Вопросы переработки металлоносных углей необходимо решать для всего комплекса рудных элементов, тесно связанных между собой и образующих определённые ассоциации.

К сожалению, в процессе исследований выявлена недостаточность необходимой ин-

формации для детальной оценки количества химических элементов в неорганическом веществе в углях, что затрудняет выполнение оценки методов их использования и влияния на экологическое состояние прилегающих территорий при добыче и сжигании. Для классификации забайкальских углей по химическим элементам в неорганическом веществе согласно таким типам, как ценные, потенциально ценные, токсичные, потенциально токсичные, технологически вредные и технологически полезные компоненты, необходимы более детальные исследования с применением современных методов и технологий.

Список литературы

1. Буравчук Н. И., Гурьянова О. В. Использование золошлаковых отходов в гидротехническом бетоне для шахтной крепи // Уголь. 2022. № 2. С. 45–49. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-2-45-49.
2. Внуков А. В., Адмакин Л. А. Литолого-фациальные и геохимические условия накопления германия в углях Забайкалья. Чита: ЗабНИИ, 1967. 363 с.
3. Игумина В. А., Карючина А. Е., Ровенских А. С. Анализ способов утилизации золошлаковых отходов // Исследования молодых учёных: материалы VI Междунар. науч. конф. Казань: Молодой учёный, 2020. С. 21–25. URL: <https://moluch.ru/conf/stud/archive/357/15509> (дата обращения: 06.05.2024).
4. Клер В. Р. Металлогения и геохимия угленосных и сланцесодержащих толщ СССР. Закономерности концентрации элементов и методы их изучения. М.: Наука, 1988. 256 с.
5. Крылов Д. А., Сидорова Г. П., Овсейчук В. А. Естественные радионуклиды в углях и в золе угольных электростанций // Уголь. 2012. № 2. С. 94–95.

6. Лавриненко А., Кунилова И., Гольберг Г., Комарова С., Дунаева Д., Филатова В. О нормативной документации в области использования золошлаковых отходов сжигания углей для извлечения редкоземельных элементов // Роль технического регулирования и стандартизации в эпоху цифровой экономики: материалы III Междунар. науч.-практ. конф. молодых учёных. Екатеринбург, 2021. С. 134–139.
7. Маниковский П. М., Сидорова Г. П., Николаева Т. В., Кривченко О. В., Гущина Т. О. Обоснование возможности использования золошлаковых смесей в дорожном строительстве // Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов: материалы XXIII Междунар. науч.-практ. конф.: в 3 ч. Чита: ЗабГУ, 2023. Ч. 2. С. 81–88.
8. Маниковский П. М., Турушев Е. Н., Баранов М. Н., Распопов А. Н., Васильев Е. А., Холшевников Д. С. Золошлаковые отходы угольных ТЭС как техногенный источник строительного сырья // Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов: материалы XXIII Междунар. науч.-практ. конф.: в 3 ч. Чита: ЗабГУ, 2023. Ч. 2. С. 88–91.
9. Мешков Г. Б., Петренко И. Е., Губанов Д. А. Итоги работы угольной промышленности за 2023 год // Уголь. 2024. № 3. С. 18–29. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-3-18-29.
10. Наркелюн Л. Ф., Офицеров В. Ф. Комплексное использование ископаемых углей. Чита: ЧитГТУ, 2000. 270 с.
11. Новоселов С. В. Проблема оценки техногенного воздействия на экологию странами-лидерами по производству и потреблению энергии // Уголь. 2020. № 2. С. 48–50.
12. Орлов П. М., Сычев В. Г., Аканова Н. И. Естественные радионуклиды в почвах России и фосфатных рудах планеты // Международный сельскохозяйственный журнал. 2020. Т. 63, № 4. С. 62–67.
13. Путилова И. В. Опыт реализации проектов с использованием золошлаков ТЭС в России и за рубежом // Альтернативная энергетика и экология. Международный научный журнал. 2023. № 3. С. 49–68. DOI: 10.15518/isjaee.2023.03.049–068.
14. Путилова И. В. Современное состояние проблемы обращения с золошлаками ТЭС в России и за рубежом // Альтернативная энергетика и экология. Международный научный журнал. 2023. № 1. С. 51–62. DOI: 10.15518/isjaee.2023.01.051–062.
15. Сидорова Г. П., Авдеев П. М., Якимов А. А., Маниковский П. М. Редкие элементы в ископаемых углях месторождений Забайкалья // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2020. № 10. С. 79–85.
16. Сидорова Г. П., Маниковский П. М., Якимов А. А., Овчаренко Н. В. Радиационно-экологическая безопасность ископаемых углей Забайкалья // Вестник Забайкальского государственного университета. 2023. Т. 29, № 2. С. 36–44. DOI: 10.2109/2227-9245-2023-29-2-36-44.
17. Сидорова Г. П. Обоснование технологических способов управления качеством углей с повышенным содержанием естественных радионуклидов при открытой угледобыче: дис. ... д-ра техн. наук: 25.00.22. Чита, 2014. 253 с.
18. Сниккарс П. Н., Золотова И. Ю., Осокин Н. А. Утилизация золошлаков ТЭС как новая кросс-отраслевая задача // Энергетическая политика. 2020. № 7. С. 34–45. DOI: 10.46920/2409-5516_2020_7149_34.
19. Федоров А. В. Комплексное использование углей месторождений Забайкалья для получения микроэлементов. М.: ИМГРЭ, 1989. 120 с.
20. Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Токсичные элементы-примеси в ископаемых углях. Екатеринбург: УрОРАН, 2005. 648 с.
21. Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Ценные элементы-примеси в углях. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 538 с.
22. Adwek G., Boxiong Sh., Dongrui K., Yang J., Luo J. Emission control strategies of hazardous trace elements from coal-fired power plants in China // Journal of Environmental Sciences. 2020. Vol. 93. P. 66–90.
23. Cho H., Ji S.-W., Shin H.-Y., Jo H. A case study of environmental policies and guidelines for the use of coal ash as mine reclamation filler: Relevance for needed south korean policy updates // Sustainability. 2019. Vol. 11. DOI: 10.3390/su11133629.
24. Daia S., Finkelman R. B. Coal as a promising source of critical elements: progress and future prospects // International Journal of Coal Geology. 2018. Vol. 186. P. 155–164.
25. Gollakota Anjani R. K., Vikranth Volli, Chi-Min Shu. Progressive utilisation prospects of coal fly ash. A review // Science of The Total Environment. 2019. Vol. 672. P. 951–989. DOI: 10.1016/j. scitotenv.2019.03.337.
26. Gupta S., Chaudhary S. Use of fly ash for the development of sustainable construction materials // New Materials in Civil Engineering. Butterworth-Heinemann. 2020. P. 677–689. DOI: 10.1016/B978-0-12-818961-0.00021-1.
27. Hirschi J. C., Chugh Y. P. Sustainable coal waste disposal practices // Advances in Productive, Safe, and Responsible Coal Mining. Woodhead Publishing. 2019. P. 245–269. DOI: 10.1016/B978-0-08-101288-8.00012-2.
28. Schneider L., Neil R. L., Lintern A., Sinclair D., Zawadzki A., Holley C., Aquino-López M. A., Haberle S. Assessing environmental contamination from metal emission and relevant regulations in major areas of coal mining and electricity generation in Australia // Science of the Total Environment. 2020. Vol. 728. P. 137–398.

References

1. Buravchuk N. I., Guryanova O. V. The use of ash and slag waste in hydraulic engineering concrete for mine supports. *Coal*, no. 2, pp. 45–49, 2022. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-2-45-49. (In Rus.)
2. Vnukov A. V., Admakin L. A. Lithological-facies and geochemical conditions of germanium accumulation in coal of Transbaikalia. Chita: ZabNII, 1967. 363 p. (In Rus.)
3. Iguminova V. A., Karyuchina A. E., Rovenskikh A. S. Analysis of ash and slag waste disposal methods. Research of young scientists: materials of the VI International Scientific Conference. Kazan: Young Scientist, 2020. P. 21–25. Web. 06.05.2024. <https://moluch.ru/conf/stud/archive/357/15509>. (In Rus.)
4. Kler V. R. Metallogeny and geochemistry of coal-bearing and shale-bearing strata of the USSR. Regularities of the concentration of elements and methods of their study. Moscow: Nauka, 1988. 256 p. (In Rus.)
5. Krylov D. A., Sidorova G. P., Ovseychuk V. A. Natural radionuclides in coals and in the ash of coal-fired power plants. *Coal*, no. 2, pp. 94–95, 2012. (In Rus.)
6. Lavrinenko A., Kunilova I., Golberg G., Komarova S., Dunaeva D., Filatova V. On regulatory documentation in the field of the use of ash and slag waste from coal combustion for the extraction of rare earth elements. The role of technical regulation and standardization in the era of the digital economy: materials of the III International Scientific and Practical Conference of Young Scientists. Ekaterinburg, 2021. P. 134–139. (In Rus.)
7. Manikovskiy P. M., Sidorova G. P., Nikolaeva T. V., Krivchenko O. V., Gushchina T. O. Substantiation of the possibility of using ash and slag mixtures in road construction. Kulaginsky readings: technique and technologies of production processes: materials of the XXIII International Scientific and Practical Conference: in 3 parts. Chita: ZabSU, 2023. Part 2. P. 81–88. (In Rus.)
8. Manikovskiy P. M., Turushev E. N., Baranov M. N., Raspopov A. N., Vasiliev E. A., Kholoshevnikov D. S. Ash and slag waste from coal-fired thermal power plants as a technogenic source of construction raw materials. Kulaginsky readings: technique and technologies of production processes: materials of the XXIII International Scientific and Practical Conference: in 3 parts. Chita: ZabSU, 2023. Part 2. P. 88–91. (In Rus.)
9. Meshkov G. B., Petrenko I. E., Gubanov D. A. The results of the work of the coal industry for 2023. *Coal*, no. 3, pp. 18–29, 2024. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-3-18-29. (In Rus.)
10. Narkelyun L. F., Officers V. F. Integrated use of fossil coals. Chita: ChitSTU, 2000. 270 p. (In Rus.)
11. Novoselov S. V. The problem of assessing the anthropogenic impact on the environment by the leading countries in energy production and consumption. *Coal*, no. 2, pp. 48–50, 2020. (In Rus.)
12. Orlov P. M., Sychev V. G., Akanova N. I. Natural radionuclides in the soils of Russia and phosphate ores of the planet. *International Agricultural Journal*, vol. 63, no. 4, pp. 62–67, 2020. (In Rus.)
13. Putilova I. V. Experience in implementing projects using TPP ash and slag in Russia and abroad. *Alternative Energy and Ecology. International Scientific Journal*, no. 3, pp. 49–68, 2023. DOI: 10.15518/isjaee.2023.03.049-068. (In Rus.)
14. Putilova I. V. The current state of the problem of handling ash and slag from thermal power plants in Russia and abroad. *Alternative Energy and Ecology. International Scientific Journal*, no. 1, pp. 51–62, 2023. DOI: 10.15518/isjaee.2023.01.051–062. (In Rus.)
15. Sidorova G. P., Avdeev P. M., Yakimov A. A., Manikovskiy P. M. Rare elements in fossil coals of Transbaikalia deposits. *Mining Information and Analytical Bulletin*, no. 10, pp. 79–85, 2020. (In Rus.)
16. Sidorova G. P., Manikovskiy P. M., Yakimov A. A., Ovcharenko N. V. Radiation and environmental safety of fossil coals of Transbaikalia. *Transbaikalian State University Journal*, vol. 29, no. 2, pp. 36–44, 2023. DOI: 10.2109/2227-9245-2023-29-2-36-44. (In Rus.)
17. Sidorova G. P. Justification of technological methods for managing the quality of coals with an increased content of natural radionuclides in open-pit coal mining: dis. ... Doctor of Technical Sciences: 25.00.22. Chita, 2014. 253 p. (In Rus.)
18. Snikkars P. N., Zolotova I.Yu., Osokin N. A. Utilization of TPP ash and slag as a new cross-sectoral task. *Energy Policy*, no. 7, p. 34–45, 2020. DOI: 10.46920/2409-5516_2020_7149_34. (In Rus.)
19. Fedorov A. V. Complex use of coal deposits of Transbaikalia for the production of trace elements. Moscow: IMGRE, 1989. 120 p. (In Rus.)
20. Yudovich Ya. E., Ketris M. P. Toxic elements-impurities in fossil coals. Ekaterinburg: UrORAN, 2005. 648 p. (In Rus.)
21. Yudovich Ya. E., Ketris M. P. Valuable elements-impurities in coals. Ekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2006. 538 p. (In Rus.)
22. Adwek G., Boxiong Sh., Dongrui K., Yang J., Luo J. Emission control strategies of hazardous trace elements from coal-fired power plants in China. *Journal of Environmental Sciences*, vol. 93, p. 66–90, 2020. (In Eng.)

23. Cho H., Ji S.-W., Shin H.-Y., Jo H. A case study of environmental policies and guidelines for the use of coal ash as mine reclamation filler: Relevance for needed south korean policy updates. *Sustainability*, vol. 11, 2019. DOI: 10.3390/su11133629. (In Eng.)

24. Daia S., Finkelman R. B. Coal as a promising source of critical elements: progress and future prospects. *International Journal of Coal Geology*, vol. 186, p. 155–164, 2018. (In Eng.)

25. Gollakota Anjani R. K., Vikranth Volli, Chi-Min Shu. Progressive utilisation prospects of coal fly ash. A review. *Science of the Total Environment*, vol. 672, p. 951–989, 2019. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.03.337. (In Eng.)

26. Gupta S., Chaudhary S. Use of fly ash for the development of sustainable construction materials. *New Materials in Civil Engineering*. Butterworth-Heinemann, p. 677–689, 2020. DOI: 10.1016/B978-0-12-818961-0.00021-1. (In Eng.)

27. Hirschi J. C., Chugh Y. P. Sustainable coal waste disposal practices. *Advances in Productive, Safe, and Responsible Coal Mining*. Woodhead Publishing, p. 245–269, 2019. DOI: 10.1016/B978-0-08-101288-8.00012-2. (In Eng.)

28. Schneider L., Neil R. L., Lintern A., Sinclair D., Zawadzki A., Holley C., Aquino-López M. A., Haberle S. Assessing environmental contamination from metal emission and relevant regulations in major areas of coal mining and electricity generation in Australia. *Science of the Total Environment*, vol. 728, p. 137–398, 2020. (In Eng.)

Информация об авторах

Сидорова Галина Петровна, д-р техн. наук, профессор, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия; druja@inbox.ru. Область научных интересов: геоэкология и геотехнология горного производства.

Маниковский Павел Михайлович, канд. техн. наук, доцент, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия; manikovskiyрm@yandex.ru. Область научных интересов: геотехнология и геоэкология, математическое моделирование месторождений.

Information about the authors

Sidorova Galina P., doctor of engineering sciences, professor, Transbaikal State University, Chita, Russia; druja@inbox.ru. Scientific interests: geoecology and geotechnology of mining.

Manikovsky Pavel M., candidate of engineering sciences, senior lecturer, Transbaikal State University, Chita, Russia; manikovskiyрm@yandex.ru. Scientific interests: geotechnology and geoecology, mathematical modeling of deposits.

Вклад авторов в статью

Сидорова Г. П. – анализ полученных в результате исследования материалов, разработка методологии исследования, сбор материалов, библиографии, написание текста.

Маниковский П. М. – полевые и лабораторные испытания, обработка результатов исследований, построение схем и графиков, написание текста.

The authors' contribution to the article

Sidorova G. P. – analysis of the materials obtained as a result of the study, development of the research methodology, collection of materials, bibliographies, writing the text.

Manikovsky P. M. – field and laboratory tests, processing of the research results, plotting diagrams and graphs, writing the text.

Для цитирования

Сидорова Г. П., Маниковский П. М. Микроэлементный состав золошлаковых отходов Забайкальского края // Вестник Забайкальского государственного университета. 2024. Т. 30, № 4. С. 8–17. DOI: 10.21209/2227-9245-2024-30-4-8-17.

For citation

Sidorova G. P., Manikovsky P. M. Microelement composition of ash and slag waste of the Transbaikal Territory // *Transbaikal State University Journal*. 2024. Vol. 30, no. 4. P. 8–17. DOI: 10.21209/2227-9245-2024-30-4-8-17.