

ОЦЕНКА СОСТАВА И СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД, ОКИСЛЕННОГО КАМЕННОГО УГЛЯ И ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ КАК МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ

Г. Шайхислам¹, Т.М. Соловьев¹, С.А. Эпштейн¹, И.С. Семина²

¹ НИТУ МИСИС, Москва, Россия, e-mail: gulshatshaikhislam@gmail.com

² Сибирский государственный индустриальный университет,
Новокузнецк, Россия

Аннотация: Приведены основные характеристики и результаты определения валового содержания макро- и микроэлементов в пробах вскрышных пород, окисленного каменного угля (ОУ) и золошлаковых отходов (ЗШО) предприятия АО «Разрез Распадский». Для оценки мобильности макро- и микроэлементов установлены концентрации водорастворимых форм в водных вытяжках, выделенных из исследуемых проб. При этом на основании установленных концентраций водорастворимых форм макро- и микроэлементов в водных вытяжках исследуемых проб и справочных значений ПДК в водах рыбохозяйственного назначения рассчитаны значения ориентировочного водно-миграционного показателя элементов (ОВМПЕ). Отмечено, что исследованные пробы вскрышных пород, окисленного каменного угля и ЗШО характеризуются низким содержанием потенциально опасных элементов. Анализ водных вытяжек показал, что пробы ЗШО отличаются более высоким выходом водорастворимых форм макро- и микроэлементов, чем пробы окисленного каменного угля и вскрышных пород. При этом водные вытяжки, выделенные из пробы ЗШО, имеют щелочную среду, а водные вытяжки, выделенные из проб окисленного каменного угля и вскрышных горных пород, характеризуются значением рН среды, близким к нейтральному. Расчет значений ОВМПЕ показал, что потенциальным загрязнителем водных объектов в пробах окисленного каменного угля и вскрышных пород является медь, а в пробе ЗШО – ванадий и молибден. Концентрации остальных элементов в водных вытяжках проб вскрышных пород, окисленного каменного угля и ЗШО существенно ниже, чем значения их ПДК, и поэтому не представляют опасности как загрязняющие вещества водных объектов.

Ключевые слова: биологическая рекультивация, вскрышные породы, породы суглинков, четвертичные отложения (глины с включением слабоокатанной гальки и щебня коренных пород), окисленный каменный уголь, золошлаковые отходы, технический анализ, макро-микроэлементы, потенциально опасные элементы, ориентировочный водно-миграционный показатель элементов.

Благодарность: Работа выполнена в рамках Стратегического проекта «Технологии устойчивого развития» Программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030».

Для цитирования: Шайхислам Г., Соловьев Т. М., Эпштейн С. А., Семина И. С. Оценка состава и свойств горных пород, окисленного каменного угля и золошлаковых отходов как материалов для биологической рекультивации // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – № 7. – С. 21–37. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_7_0_21.

Estimate of composition and properties of rocks, oxidized coal and ash and slag waste as materials for biological reclamation

G. Shaikhislam¹, T.M. Solovev¹, S.A. Epstein¹, I.S. Semina²

¹ NUST MISIS, Moscow, Russia, e-mail: gulshatshaikhislam@gmail.com

² Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

Abstract: The article describes the main characteristics and total macro and micro elements in the samples of overburden, oxidized coal and ash and slag waste (ASW) from Rospadsky Open Pit Mine. For assessing mobility of macro and micro elements, the concentrations of water-soluble species are determined in the test sample–water extracts. Then, using the determined concentrations of macro and micro elements in the water extracts from the test samples and the reference values of maximum allowable concentration in fishery water bodies, provisional water migration coefficients are calculated for elements. It is emphasized that the test samples of overburden, oxidized coal and ASW feature a low content of potentially hazardous elements. The analysis of the water extract shows that the samples of ASE differ by a higher yield of water-soluble species of macro and micro elements than the samples of oxidized coal and overburden rocks. The water extracts from the ASW sample have an alkaline medium, while the water extracts from the samples of oxidized coal and overburden have a nearly neutral pH value. The calculation of the provisional water migration coefficient shows that the potential water pollutant contained in the test samples is copper in case of oxidized coal and overburden and vanadium and molybdenum in case of ASW. The concentrations of the other elements in the water extracts from the samples of overburden rocks, oxidized coal and ASW are much lower than their MAC values and, therefore, constitute no threat of pollution to water bodies.

Key words: biological reclamation, overburden rocks, loam, quaternary deposits (clays with inclusion of weakly rounded pebbles and parent rock debris), oxidized coal, ash and slag waste, technical analysis, macro and micro elements, potentially hazardous elements, provisional water migration coefficient of elements.

Acknowledgements: The study was carried out within the framework of the Strategic Project on the Sustainable Development Technologies of the Federal Academic Leadership Program—Priority 2030.

For citation: Shaikhislam G., Solovev T. M., Epstein S. A., Semina I. S. Estimate of composition and properties of rocks, oxidized coal and ash and slag waste as materials for biological reclamation. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2024;(7):21-37. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_7_0_21.

Введение

Согласно стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 г. общая площадь за-

грязненных земель, находящихся в обороте, составляет около 75 млн га [1]. Площадь нарушенных земель, утративших свою хозяйственную ценность или

оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, составляет более 1 млн га. Следует отметить, что опустынивание земель отмечается в 27 субъектах Российской Федерации на площади, превышающей 100 млн га [2]. Отсутствие в достаточном объеме комплексных рекультивационных мероприятий на горнодобывающих территориях приводит не только к расширению общих площадей нарушенных земель, но и способствует накоплению значительных объемов минеральных отходов. В свою очередь, окислительная атмосфера и влажная среда оказывают негативное воздействие на состав минеральных отходов, приводя к их изменению и образованию потенциально опасных соединений в водорастворимой форме [3–5]. Это приводит к увеличению рисков загрязнения почв и грунтовых вод [6].

Важным элементом восстановления нарушенных земель является этап биологической рекультивации [7–10]. Он включает в себя осуществление комплекса агротехнических и фитомелиоративных мероприятий, направленных на возобновление флоры и фауны, а также восстановление их хозяйственной продуктивности. Биологический этап является завершающим этапом рекультивации, и его выполнение играет решающую роль в достижении желаемых результатов.

Природными компонентами для биологической рекультивации являются вскрышные и вмещающие породы в соответствии с ГОСТ 17.5.1.03. Однако использование таких пород не обеспечивает необходимое качество субстрата для роста и развития растений. По этой причине перспективным направлением является применение почвогрунтов, обеспечивающих необходимый набор агрохимических показателей. Одним из методов ускоренного «окультуривания»

земель и повышения их плодородия является агрохимический метод. Он основан на структурной мелиорации почв, при которой в качестве мелиорантов используют региональные отходы горнодобывающей и перерабатывающей промышленности. В качестве примера можно рассмотреть продукты сжигания твердого топлива, которые могут выступать в качестве мелиоранта. Согласно работам [11–13], золошлаки оказывают положительное влияние на увеличение содержания питательных веществ, таких как калий и фосфор, также почти в 3 раза увеличивается водопроницаемость почвы за счет внесенных в почву крупных фракций золошлака [14]. По результатам исследований [15, 16] показана возможность использования окисленного бурого угля и продуктов сжигания твердого топлива в качестве компонентов почвогрунтов путем предварительной механоактивации. При этом окисленный уголь выполняет роль источника гуминовых веществ [17–20], а золошлаковые отходы обеспечивают щелочную среду, необходимую для выделения гуматов. Гуминовые вещества являются стимулятором роста растений и способствуют улучшению плодородия почвы [21–23]. Однако для разработки технологий получения почвогрунтов на основе указанных компонентов, прежде всего, целесообразно провести соответствующие исследования, направленные на оценку в них валовых и подвижных форм макро- и микроэлементов, в том числе потенциально опасных и агрохимически ценных элементов.

В настоящей статье будут рассмотрены перспективные материалы для проведения биологической рекультивации, в том числе горные породы и окисленный каменный уголь предприятия АО «Разрез Распадский», а также золошлаковые отходы, образующиеся на местной котельной предприятия.

Объекты и методы исследований

В качестве объектов исследования использовали вскрышные породы, окисленный каменный уголь и золошлаковые отходы предприятия АО «Разрез Распадский». Вскрышные породы преимущественно состояли из пород суглинок и четвертичных отложений (глины с включением слабоокатанной гальки и щебня коренных пород). Все пробы были отобраны и подготовлены с использованием стандартных методов.

Анализ минерального состава образцов горных пород проводили с использованием методов рентгеновского дифракционного и рентгенофлуоресцентного анализа. Для проведения измерений был применен аналитический комплекс ARL 9900 Workstation IP3600, обладающий комбинированной конструкцией «рентгенофлуоресцентный спектрометр с верхним расположением трубки + θ - θ дифрактометр» [24]. Эта система является современной и высокоточной, что позволяет получать надежные и информативные данные.

Рентгеновский дифракционный анализ позволяет определять кристаллическую структуру вещества, его фазовый состав, размеры элементарных ячеек и другие параметры.

В рамках исследования технического анализа образцов окисленного каменного угля определяли содержания в нем массовой доли общей влаги по ГОСТ Р 70211, влаги в аналитической пробе топлива по ГОСТ 33503 и зольности (при «медленном» озолении до постоянного веса при температуре (500 ± 10) °С). В горных породах и ЗШО содержание массовой доли аналитической влаги определялось высушиванием навески пробы до постоянной массы при температуре $105 - 110$ °С, с последующим расчетом аналитической влаги по потере массы. Определение зольности для ЗШО

и горных пород проводилось аналогично определению этого показателя в окисленном угле.

Определение содержания органического углерода в пробах проводили по методике № 241.0041/RA.RU.311866/2023. Пробу массой 1 г обрабатывали 10% соляной кислотой, после чего полученную смесь частично упаривали и фильтровали через беззольный фильтр. Отфильтрованный остаток промывали деионизированной водой до полного удаления ионов хлора. Остаток на фильтре высушивали и прокаливали при температурах (105 ± 5) и (815 ± 10) °С соответственно. Расчет содержания органического углерода проводили с использованием измерения массы пробы до и после обработки, а также на стадиях высушивания и прокаливания.

Содержание общей серы в угле определяли по ГОСТ 32465-2013 «Топливо твердое минеральное. Определение серы с использованием ИК-спектрометрии» для горных пород и ЗШО проводили аналогично.

Для определения валового содержания в пробах таких элементов, как ртуть, фтор и сера, их измельчали до крупности менее 200 мкм. Аналитическую пробу подвергли высушиванию, чтобы достичь воздушно-сухого состояния. Для этого раскладывали пробу тонким слоем и выдерживали ее на воздухе при комнатной температуре в течение необходимого минимального времени, чтобы достигнуть равновесия между влажностью топлива и атмосферой лаборатории. При выполнении измерений элементов одновременно контролировали содержание влаги в пробе.

Определение ртути для окисленного каменного угля и ЗШО проводили из исходной навески пробы атомно-адсорбционным методом с использованием анализатора ртути РА-915М с приставкой для термического разложения, ана-

логично для пробы горных пород определяли по ГОСТ Р 59176.

Содержание хлора в образце угля определяли по ГОСТ Р 59013-2020. Метод основан на сжигании навески топлива со смесью Эшка в окислительной среде до полного удаления сгораемых веществ и связывания выделившегося хлора в хлориды щелочных металлов. Хлориды экстрагируют раствором азотной кислоты и осаждают известным количеством азотнокислого серебра, взятого в избытке. Количество непрореагировавшего с хлором избытка азотнокислого серебра определяют титрованием раствором роданистого калия в присутствии железоаммонийных квасцов в качестве индикатора — метод обратного титрования по Фольгарду.

Содержание фтора в исследуемых пробах определяли методом, основанным на сплавлении навески топлива с гидроксидом калия при температуре 650 °С в окислительной среде [25], переводе полученного расплава в раствор с последующим определением содержания в нем фторид-ионов с помощью фторид-селективного электрода.

Для определения остальных макро- и микроэлементов пробы горных пород, ЗШО и окисленного угля крупностью менее 200 мкм подвергали «медленному» озолению. Сущность метода заключается в озолении пробы при температуре (500±10) °С до достижения постоянного веса. Такая низкая температура необходима для предотвращения потери летучих соединений некоторых элементов. Озоление проводят с целью концентрирования элементов для их дальнейшего определения. Перед проведением процедуры навески пробы взвешивают в предварительно прокаленных и взвешенных тиглях. Затем, тигли с пробами помещают в холодную муфельную печь, в некоторых случаях разрешается помещать их в нагретый не

более чем до более 200 °С шкаф. Тигли с пробами нагревают в течение 1 ч до температуры 500±10 °С, после чего выдерживают при этой температуре не менее 5–6 ч для полного прокаливания зольных остатков. Затем тигли извлекают из муфельной печи и помещают для охлаждения сначала на лист асбеста на 10 мин, а затем в эксикатор без осушителя. После охлаждения до комнатной температуры тигли взвешивают, чтобы определить изменение их массы.

Контрольные прокаливания проводили при температуре 500±10 °С в течение 30–40 мин. Затем проводили контрольные прокаливания до тех пор, пока разность между результатами двух последовательных взвешиваний не становилась меньше 0,001 г. При этом общее время озоления не должно превышать 18 ч.

Далее навески золы исследуемых проб растворяли в смеси азотной, соляной, фтористоводородной и серной кислот при температуре 150 °С. Определение содержания макро- и микроэлементов в исследуемых пробах проводили методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой на приборе ICP-AES.

Выход водорастворимых форм веществ в пробах угля, ЗШО и горных пород определяли по ГОСТ Р 58914-2020. Определение выхода водорастворимых форм элементов проводили путем обработки исследуемой пробы водой при постоянном перемешивании в течение определенного времени и дальнейшем отделении полученного раствора центрифугированием с последующей фильтрацией. Далее с этим раствором проводили следующие операции: выпаривание, сушка и взвешивание сухого остатка. После проведения процесса выпаривания определяли выход водорастворимых веществ путем измерения массы остатка в чашке. Однако свойства неко-

торых элементов, содержащихся в полученной после фильтрации жидкости, ниже чувствительности методов анализа, которые использовали авторы. Поэтому для определения этих элементов проводилась обработка сухого остатка путем смешивания его с разбавленной азотной кислотой и таким образом получался раствор.

Далее проводилось определение водорастворимых форм макро- и микроэлементов в полученных водных вытяжках с использованием метода атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой ICP-AES. Все анализы проводились с использованием современных методов и приборов, что позволяло получить надежные и точные результаты.

Содержание анионов в водных вытяжках в исследуемых образцах определяли методом капиллярного электрофореза с использованием системы «Капель» по методике М 01-58-2018 ПНД Ф 14.1:2:3:4.282-18 для выполнения измерений массовых концентраций неорганических анионов: хлорид-, нитрит-, сульфат-, нитрат-, фторид, фосфат-ионов (в форме растворенных ортофосфатов) в пробах сточных, природных и питьевых вод, в том числе упакованных, включая природные минеральные воды.

Результаты и обсуждения

На начальном этапе работы были определены основные характеристики исследуемых проб горных пород, окисленного каменного угля и ЗШО, такие как массовая доля влаги в аналитической пробе, зольность, общее содержание серы и содержание органического углерода. Полученные данные представлены в табл. 1.

Содержание общей влаги в ОУ выше, чем в пробах горных пород и ЗШО. Массовая доля влаги в горных породах находится в диапазоне 2,1–2,5%, а в ЗШО составляет 0,9%. Более высокое содержание массовой доли аналитической влаги отмечено в пробе окисленного каменного угля – 6,0%.

Зольность, определенная при «медленном» озолении, для горных пород, ОУ и ЗШО значительно отличается. Для окисленного угля показатель зольности на сухое состояние составляет 30,5%, для горных пород этот показатель варьируется от 95,3 до 96,4%. Стоит отметить довольно низкую зольность отхода сжигания угля, которая составляет 60,8%, что указывает на высокое содержание органического углерода.

Результаты по прямому определению содержания органического углерода в пробах горных пород и ЗШО сущест-

Таблица 1

Характеристики исследуемых проб Characteristics of the samples

Пробы	W^t , %	W^a , %	A_{500}^d , %	$C_{орг}$, %	S_t^d , %
Окисленный каменный уголь	21,8	6,0	30,5	–	0,33
ЗШО	0,5	0,9	60,8	41,6	0,40
Горные породы					
Породы суглинков	9,5	2,1	95,3	2,3	<0,02
Четвертичные отложения	9,7	2,5	96,4	2,0	<0,02
Примечание: W^t – содержание общей влаги; W^a – содержание аналитической влаги; A_{500}^d – зольность аналитической пробы, определенная при «медленном» озолении, на сухое состояние; S_t^d – содержание общей серы на сухое состояние пробы; $C_{орг}$ – содержание органического углерода, «–» – не определено.					

Таблица 2

Результаты рентгеновского дифракционного анализа горных пород
Results of X-ray diffraction analysis of rocks

Фаза	Состав	Массовая доля минеральной фазы в пробах, %	
		Породы суглинок	Четвертичные отложения
Кварц	SiO ₂	61,2 – 71,2	57,4 – 63,7
Ортоклаз	KAlSi ₃ O ₈	0,5 – 2,3	–
Альбит	NaAlSi ₃ O ₈	3,7 – 16,6	6,2 – 18,6
Мусковит	KAl ₂ AlSi ₃ O ₁₀ (OH) ₂	5,4 – 6,3	2,7 – 6,5
Каолинит	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	4,1 – 6,8	4,7 – 12,4
Иллит	KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₂	5,7 – 9,1	1,3 – 3,5
Монтмориллонит	Na _{0,3} (Al, Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ 8H ₂ O		4,9 – 8,0
Сидерит	FeCO ₃	0 – 0,2	–
Микроклин	KAlSi ₃ O ₈	–	2,1 – 6,7
Анатаз	TiO ₂	–	0,4 – 0,8

Примечание: « – » содержание кристаллической фазы не определено.

венно различаются между собой. Пробы горных пород характеризуются низкими значениями содержания органического углерода (от 2,0 до 2,3%), а проба ЗШО отличается высоким содержанием органического углерода (41,6%).

Содержание общей серы на сухое состояние пробы в горных породах ниже предела обнаружения. В пробах окисленного каменного угля и ЗШО содержание общей серы различается незначительно и составляет 0,33 и 0,40%.

В табл. 2 представлены результаты определения минерального состава проб горных пород. Результаты рентгеновского дифракционного анализа показали, что исследуемые пробы горных пород незначительно различаются по своему минеральному составу и представлены преимущественно силикатными породами.

По результатам рентгеновского дифракционного анализа образцы четвертичных отложений отличаются от пород суглинок присутствием микроклина и анатаза, а также более низким содержа-

нием кварца. Анатаз содержится в незначительном количестве и составляет 0,4 – 0,8%, а микроклин – 2,1 – 6,7%. В четвертичных отложениях отсутствует ортоклаз, в то время как в породе суглинок его содержание составляет 0,5 – 2,3%.

В табл. 3 представлены результаты определения валового содержания в исследуемых пробах макро- и микроэлементов, а также значения соответствующих кларков элементов в верхней части земной коры, в каменных углях и в золах их сжигания. В целом, пробы исследованных горных пород характеризуются незначительным содержанием потенциально опасных элементов, таких как мышьяк, бериллий, кадмий, хром, кобальт, медь, молибден, ванадий, ртуть. Содержание этих элементов ниже или соответствует значениям этих элементов в верхней части земной коры. В горных породах содержание кальция, натрия, стронция и серы значительно ниже, чем их соответствующие кларковые значения.

Таблица 3

Содержание микроэлементов в пробах, мкг/г
Content of trace elements in samples, µg/g

Элемент	Горные породы			ОУ	Кларк для каменных углей [27]	ЗШО	Кларк для золы каменных углей [28]
	порода суглинок	четвертичные отложения	кларки химических элементов в верхней части континентальной земной коры [26]				
As	9	15	1,5 – 11,0	3,3	9,0±0,8	16,0	50±5
Be	2	2	1,3 – 3,8	1,4	2,0±0,1	3,7	12±1
Ca	2607	4191	24 600 – 38 900	16 076	–	35 459	–
Cd	0,3	0,1	0,06 – 0,64	0,17	0,20±0,05	0,01	1,5±0,3
Co	13	12	7,3 – 18,0	8,7	6,9±0,2	22,0	37±2
Cr	54	53	34 – 92	14	17±1	49	120±5
Cu	26	23	14 – 47	8,9	15,5±1,0	42,0	–
Fe	33 872	38 741	30 890 – 46 500	8130	–	41 397	–
Ga	17	12	4 – 19	5,4	–	11,0	–
K	26218	21360	22 250 – 28 650	7830	–	9076	–
Li	110	96	5 – 56	32	14±1	151	82±5
Mg	7183	7677	12 000 – 18 700	1682	–	10568	–
Mn	659	691	527 – 1000	93	70±6	201	480±30
Mo	0,6	0,8	0,6 – 1,56	0,66	2,0±0,1	8,7	14±1
Na	4478	7461	21 220 – 28 900	2448	–	2323	–
Ni	31	29	18,6 – 50,0	23	16±1	50	97±5
P	584	535	655 – 930	165	270±20	4666	1500±100
Sr	63	83	230 – 350	84	100±7	1143	730±50
Ti	4071	3521	3000 – 4500	1083	–	2785	–
V	86	80	53 – 121	20	29±1	83	170±10
Zn	86	74	51 – 83	30	29±2	54	170±10
S	–	–	62 – 1400	211	–	153	580±20
Hg	0,07	0,04	0,0123 – 0,096	3,3	9,0±0,8	16,0	50±5

Примечание: « – » – нет результатов.

Содержание в пробе угля потенциально опасных элементов значительно ниже, чем их кларковые значения в каменных углях. Проба окисленного каменного угля характеризуются более низким содержанием основных золообразующих элементов, таких как кальций, железо, магний и стронций, чем в дру-

гих исследуемых пробах. В пробе ЗШО отмечено высокое содержание фосфора, которое в 3 раза превышает значение кларка в золах каменных углей, содержание остальных потенциально опасных элементов соответствует значениям кларка. Во всех исследуемых пробах пород, угля и ЗШО отмечено высокое содержа-

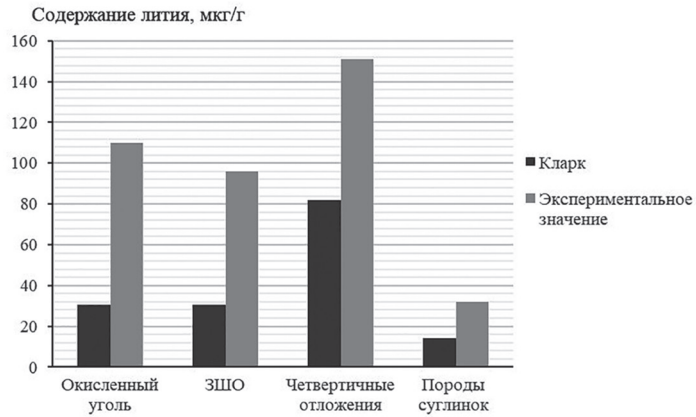


Рис. 1. Содержание лития в исследуемых пробах по сравнению с кларком
 Fig. 1. Lithium content in the studied samples compared to clark

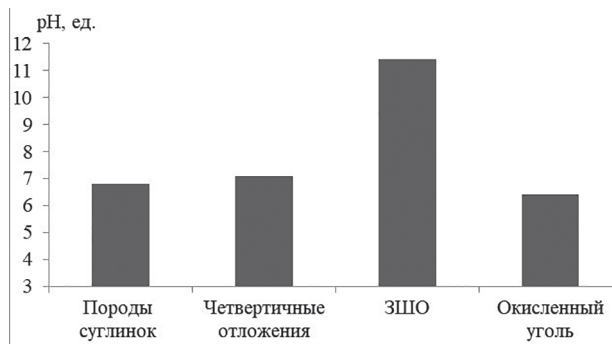


Рис. 2. рН водной вытяжки из исследуемых проб
 Fig. 2. pH of aqueous extract from the samples

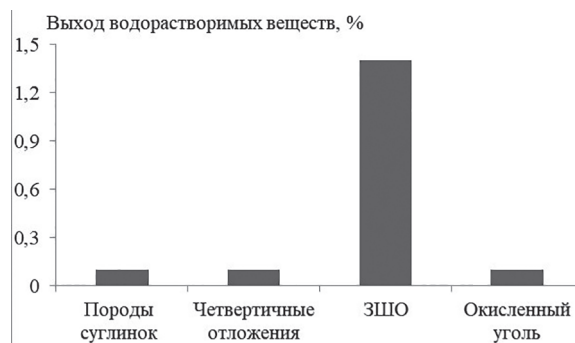


Рис. 3. Выход водорастворимых веществ из исследуемых проб
 Fig. 3. Yield of water-soluble substances from the studied samples

ние лития, которое практически в 2 раза превышает его кларковые значения (см. рис. 1).

Содержание водорастворимых форм веществ в пробах горных пород и окисленного каменного угля незначительно,

и составляет не более 0,1%. Более высокий выход водорастворимых форм макро- и микроэлементов отмечен для ЗШО – 1,4% (см. рис. 2).

Значения pH водных вытяжек, полученных из проб горных пород, находятся в диапазоне 6,5–7,3, т.е. близки к нейтральной среде. В свою очередь, pH водной вытяжки из ЗШО составляет 11,4, что соответствует щелочной среде. Вытяжка из окисленного угля характеризуется водородным показателем pH, равным 6,4 ед., что в целом соответствует значениям, полученным для горных пород (см. рис. 3).

В табл. 4 представлены результаты определения анионного состава водных вытяжек из горных пород, ОУ и ЗШО. В целом, водные вытяжки всех исследованных проб характеризуются низкими концентрациями хлорид-, сульфат-, нитрат- и фторид-анионов. Однако, при этом водные вытяжки ЗШО характеризуются несколько большей концентрацией сульфат- и нитрат-анионов, чем водные вытяжки проб горных пород и окисленного каменного угля.

В табл. 5 представлены результаты определения концентрации водорастворимых форм макро- и микроэлементов в водных вытяжках, выделенных из проб горных пород, окисленного угля и ЗШО. Если сравнивать между собой химический состав водных вытяжек горных пород, то можно отметить, что водные

вытяжки, полученные из проб четвертичных отложений, отличаются более высокой концентрацией таких элементов, как железо, калий, магний, литий, стронций, титан, марганец, молибден и ванадий. В то же время, водные вытяжки проб суглинок более обогащены водорастворимыми формами кальция и меди.

В свою очередь, водные вытяжки, выделенные из пробы окисленного угля, имеют более высокую концентрацию водорастворимых форм кальция, меди, фосфора и серы, а также более низкую концентрацию водорастворимой формы железа, чем водные вытяжки проб горных пород. Водные вытяжки пробы ЗШО по содержанию водорастворимых форм макро- и микроэлементов отличаются от водных вытяжек остальных проб более высокими концентрациями алюминия, кальция, хрома, галлия, молибдена, стронция, ванадия и серы, а также низкими значениями концентрации натрия, никеля и цинка.

На основании установленных концентраций водорастворимых форм макро- и микроэлементов в водных вытяжках исследуемых проб и справочных значений ПДК в водах рыбохозяйственного назначения был рассчитан ориентировочный водно-миграционный показатель элементов (ОВМПЕ). Значения ОВМПЕ элементов, содержащихся в водных вытяжках исследуемых проб, пред-

Таблица 4

Результаты ионного состава исследуемых проб, мг/л
Ionic composition of the samples, mg/L

Наименование пробы	Хлорид (Cl)	Сульфат (SO ₄)	S из SO ₄	Нитрат (NO ₃)	Фторид (F)
ЗШО	0,8	38	13	1,6	0,3
ОУ	0,3	1,6	0,5	н.п.о.	н.п.о.
Горные породы					
Породы суглинок	0,2	н.п.о.	0,17	н.п.о.	н.п.о.
Четвертичные отложения	н.п.о.	0,5	0,17	н.п.о.	0,21
Примечание: н.п.о. — ниже предела определения.					

Таблица 5

**Концентрации элементов в водных вытяжках
и показатели ОВМПЕ по отдельным элементам**

Concentrations of elements in aqueous extracts and WMI indicators for individual elements

Элемент	Породы суглинок		Четвертичные отложения		ЗШО		ОУ		ПДК, мг/дм ³
	С, мг/дм ³	ОВМПЕ	С, мг/дм ³	ОВМПЕ	С, мг/дм ³	ОВМПЕ	С, мг/дм ³	ОВМПЕ	
Li	н.п.о.	—	0,008	0,1	0,01	0,1	0,08	1,0	0,08
Na	0,6	0,005	1,0	0,008	0,04	—	1,7	0,01	120
Mg	0,02	—	0,4	0,01	0,01	—	0,33	0,008	40
S (в пересчете на сульфаты)	0,1	0,001	9,0	0,09	38	0,4	1,6	0,02	100
K	н.п.о.	—	0,7	0,01	0,003	—	0,81	0,02	50
Ca	0,8	0,004	н.п.о.	—	67	0,4	1,5	0,008	180
Ti	н.п.о.	—	0,005	0,08	0,001	0,02	0,004	0,07	0,06
V	0,0004	0,4	0,002	2,0	0,01	10,0	0,001	1,0	0,001
Mn	0,01	1,4	0,02	2,0	н.п.о.	—	0,001	0,1	0,01
Fe	0,2	2,0	0,4	4,0	0,04	0,4	0,03	0,3	0,1
Co	0,0002	0,02	0,0002	0,02	0,0002	0,02	0,0001	0,01	0,01
Ni	0,0003	0,03	0,001	0,1	0,0002	0,02	0,001	0,1	0,01
Cu	0,006	6,0	0,003	3,0	0,002	2,0	0,01	10,0	0,001
Zn	0,03	5,0	0,01	1,0	0,004	0,4	0,01	1,0	0,01
As	н.п.о.	—	н.п.о.	—	0,001	0,02	0,001	0,02	0,05
Sr	0,005	0,01	0,006	0,02	0,6	1,5	0,01	0,03	0,4
Mo	н.п.о.	—	0,001	1,0	0,02	20,0	0,001	1,0	0,001
SO ₄	н.п.о.	—	н.п.о.	—	38	0,4	1,6	0,02	100
NO ₃	н.п.о.	—	н.п.о.	—	1,6	0,04	н.п.о.	—	40

Примечание: С — измеренная концентрация элемента в водной вытяжке, ОВМПЕ — ориентировочный водно-миграционный показатель в соответствии с Санитарными правилами СП 2.1.7.1386-03, ПДК — предельно допустимая концентрация элемента в водах рыбохозяйственного назначения [6], н.п.о. — ниже предела определения, «—» — значение близко к нулю.

ставлены в табл. 5. Результаты показывают, что потенциальным загрязнителем водных объектов для пород суглинок и окисленного каменного угля является медь, ОВМПЕ которой составляет 6,0 и 10,0 ед. В пробе ЗШО содержание ванадия превышает значения ПДК. Все остальные элементы имеют низкий показатель ОВМПЕ, поэтому не представляют потенциальной опасности как загрязнители для водных объектов.

Исходя из полученных данных табл. 5, были рассчитаны доли водорастворимых форм макро- и микроэлементов относительно их валового содержания. Эти значения приведены в табл. 6.

Выявлено, что все исследуемые пробы характеризуются низким содержанием водорастворимых форм потенциально опасных элементов, таких как мышьяк, бериллий, кадмий, кобальт, хром, стронций, ванадий, цинк и сера.

Таблица 6

Содержание водорастворимых форм макро- и микроэлементов в водной вытяжке (мкг/г) и их массовая доля (%) от общего содержания в исследуемых пробах
Content of water-soluble forms of macro- and trace elements in aqueous extract ($\mu\text{g/g}$) and their mass fraction (%) in the studied samples

Пробы Элемент	Породы суглинок		Четвертичные отложения		ЗШО		ОУ	
	в водной вытяжке, мкг/г	от общего содержания в отходах, %	в водной вытяжке, мкг/г	от общего содержания в отходах, %	в водной вытяжке, мкг/г	от общего содержания в отходах, %	в водной вытяжке, мкг/г	от общего содержания в отходах, %
Al	5,1	—	32	0,05	116	0,40	11	0,04
As	0,05	0,60	0,01	—	0,07	0,45	0,04	1,1
Be	0,002	—	0,0009	—	н.п.о.	—	0,001	0,09
Ca	40	1,4	—	—	3375	9,5	76	0,48
Cd	—	—	0,003	—	н.п.о.	—	н.п.о.	—
Co	0,009	0,07	0,01	0,07	н.п.о.	—	0,007	0,08
Cr	0,014	0,03	0,04	0,07	0,04	0,07	0,02	0,13
Cu	0,40	1,4	0,18	0,8	0,1	0,23	0,78	8,8
Fe	8,6	0,02	22	0,1	1,8	0,004	1,7	0,02
Ga	—	—	0,04	—	0,52	4,7	—	0,12
K	0,01	—	38	0,2	0,14	0,002	43	0,54
Li	0,1	0,3	0,4	—	н.п.о.	—	н.п.о.	—
Mg	0,8	—	22	0,3	0,46	0,004	17	1,0
Mn	0,5	—	1,0	0,2	—	—	0,05	0,06
Mo	0,01	2,0	0,08	10,7	0,97	11,1	0,07	11,0
Na	32	0,5	74	1,0	2,1	0,09	88	3,6
Ni	0,033	0,1	0,08	0,3	0,01	0,02	0,03	0,15
P	0,57	0,1	1,13	0,2	0,12	0,003	0,82	0,5
Sr	0,23	—	0,47	0,6	30	2,7	0,53	0,6
Ti	0,03	—	0,34	0,01	0,04	0,002	0,21	0,02
V	0,02	0,02	0,065	0,1	0,40	0,48	0,07	0,35
Zn	1,4	1,6	0,85	1,2	0,23	0,42	0,71	2,3
S	2,5	—	0,88	—	469	—	32	1,0

Примечание: н.п.о. ниже предела определения, «—» — значение близко к нулю.

Однако во всех пробах отмечена сравнительно высокая доля водорастворимой формы молибдена. Ее среднее значение в пробах суглинок составило 2,0%, в пробах четвертичных отложений — 10,7%, в пробе ОУ — 11,0%,

в пробе ЗШО — 11,1%. В пробе угля можно отметить относительно более высокую долю растворимой формы меди (8,8%), натрия (3,6%), цинка (2,3%), а также кальция (9,5%), в пробе ЗШО галлия (4,7%) и стронция (2,7%).

Заключение

В данной статье по итогам исследования состава и свойств проб вскрышных пород, окисленного каменного угля и золошлаковых отходов предприятия АО «Разрез Распадский» сформированы следующие основные выводы:

- Пробы вскрышных пород характеризуются высокой зольностью, низким содержанием влаги, органического углерода и серы. Пробы ЗШО отличаются от проб вскрышных пород более низкой зольностью и более высоким содержанием органического углерода. Пробы окисленного каменного угля характеризуются высокой влажностью и зольностью, а также низким содержанием серы.

- Результаты рентгеновского дифракционного анализа показали, что пробы пород суглинков и четвертичных отложений незначительно различаются по своему минеральному составу и представлены преимущественно силикатными породами.

- Содержание потенциально опасных элементов в окисленном каменном угле, ЗШО и вскрышных породах не превышает их кларковых значений, однако отмечено высокое содержание лития, которое практически в 2 раза пре-

вышает кларковые значения в верхней части земной коры, в каменных углях и в золах их сжигания.

- Анализ водных вытяжек показал, что пробы ЗШО отличаются более высоким выходом водорастворимых форм макро- и микроэлементов, чем пробы окисленного каменного угля и вскрышных пород. Сравнительно высокий выход полезных для роста растений макро- и микроэлементов, таких как фосфор, калий, магний, цинк, выявлен в пробах вскрышных пород и окисленного каменного угля. При этом пробы вскрышных пород отличаются от проб ЗШО и окисленного каменного угля более высоким содержанием водорастворимой формы марганца.

- Расчет значений ОВМПЕ показал, что потенциальным загрязнителем водных объектов в пробах окисленного каменного угля и вскрышных пород является медь, а в пробе ЗШО — ванадий и молибден. Концентрации остальных элементов в водных вытяжках проб вскрышных пород, окисленного каменного угля и ЗШО существенно ниже, чем значения их ПДК, и поэтому не представляют опасность как загрязняющие вещества водных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Максимов Е. Л. Обеспечение целей экологической безопасности при использовании земель сельскохозяйственного назначения // Вестник Университета имени О.Е. Кутафина (МГЮА). – 2022. – № 5. – С. 86–94. DOI: 10.17803/2311-5998.2022.93.5.086-094.

2. Барабанщиков Д. А., Сердюкова А. Ф. Борьба с опустыниванием земель // Молодой ученый. – 2017. – № 25 (159). – С. 9–98.

3. Гущина Т. О., Силютин С. А., Соколовская Е. Е., Эпштейн С. А. Отходы добычи и переработки углей. Методические подходы к оценке их экологической безопасности и направлений использования. Часть 3. Обоснование и разработка методики определения содержания водорастворимых форм макро- и микроэлементов в отходах добычи, переработки и сжигания углей // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 8. – С. 145–162. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-8-0-145-162.

4. Агапкина Г. И., Манахов Д. В., Щеглов А. И., Липатов Д. Н., Столбова В. В. Теория и практика применения методов исследования форм соединений радионуклидов в почвах // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. – 2023. – № 1. – С. 68–79. DOI: 10.55959/MSU0137-0944-17-2023-78-1-68-80.

5. *Bian Z., Dong J., Lei S., Leng H., Mu S., Wang H.* Release characteristics of heavy metals in high-sulfur coal gangue: Influencing factors and kinetic behavior // *Environmental Research*. 2023, vol. 217, DOI: 10.1016/j.envres.2022.114871.

6. *Хао Цзе, Кочеткова Е. М., Эпштейн С. А.* Мобильность макро- и микроэлементов в отходах добычи углей // *Химия твердого топлива*. — 2023. — № 4. — С. 64–72. DOI: 10.31857/S0023117723040047.

7. *Невская М. А., Селезнев С. Г., Маслобоев В. А., Ключникова Е. М., Коница О. Т., Светлов А. В., Макаров Д. В.* Геоэкологические и организационно-экономические проблемы переработки горнопромышленных отходов в Российской Федерации // *Вестник Кольского научного центра РАН*. — 2020. — Т. 12. — № 1. — С. 11–25. DOI: 10.37614/2307-5228.2020.12.1.002.

8. *Харионовский А. А., Данилова М. Ю.* Рекультивация нарушенных земель в угольной промышленности // *Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности*. — 2017. — № 3. — С. 72–77.

9. *Клименко Д. В., Рутковская Д. С.* Способы утилизации золошлаковых отходов на примере зуевской ТЭС // VI Всероссийская научно-практическая конференция. — 2021. — С. 188–192.

10. *Осинцева М. А., Бутова Н. В., Жидкова Е. А.* Особенности рекультивации отработанных территорий угольных разрезов в Кузбассе // *Международный научно-исследовательский журнал*. — 2022. — № 9 (123). DOI: 10.23670/IRJ.2022.123.48.

11. *Helser J., Capruyns V.* Acid generation potential and kinetics of metal(loid) release from resuspended sulfidic mine waste // *Environmental Chemical Engineering*. 2022, vol. 10, no. 4. DOI: 10.1016/j.jece.2022.10815811.

12. *Гребенщикова Е. А., Юст Н. А., Пыхтеева М. А.* Влияние химической мелиорации путем внесения золошлаковых отходов на физико-химические свойства почвы // *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*. — 2016. — № 6. — С. 3–8.

13. *Удалова Н. П., Сибатуллина С. С., Лазаренко А. Д.* Использование золошлаковых отходов для рекультивации земель, нарушенных горными работами / *Fundamental Science and Technology-Promising Developments: Proceedings of the conference*. — 2016. — Т. 3. — С. 118–121.

14. *Газизов Р. Р., Суханова И. М., Прищепенко Е. А., Биккинина Л. М.-Х., Дегтярева И. А., Ильясов М. М.* Влияние бурого угля и глауконита на плодородие почвы и урожайность культур // *Плодородие*. — 2020. — № 6 (117). — С. 34–36. DOI: 10.25680/S19948603.2020.117.10.

15. *Фоменко Н. А.* Применение бурых углей для повышения экологической безопасности утилизации золошлаковых отходов в условиях их контакта с водой // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2019. — № 4. — 15 с. — Деп. в ГИАБ 14.03.2019, № 1179/04-19.

16. *Фоменко Н. А.* Применение окисленных бурых углей для повышения экологической безопасности утилизации золошлаковых отходов: автореф. дис. канд. техн. наук. — М.: НИТУ «МИСиС», 2019. — 22 с.

17. *Верещака Я., Пузински С., Кугларз К., Глуба И.* Использование золы каменных углей для грунтового биологического слоя с целью рекультивации деградированных почв / *Материалы III научно-практического семинара «Золошлаки ТЭС: удаление, транспорт, переработка, складирование»*. — 2010. — С. 72–75.

18. *Шевченко Т. В., Новикова Я. А., Санников Ю. Н., Бердова К. А.* Рекультивация земель с использованием окисленных углей // *Фундаментальные исследования*. — 2015. — № 2-23. — С. 5100–5103.

19. *Janoš P., Lesný J., Závodská L., Kříženecká S., Herzogová L.* Czech and Slovak young brown coals in environmental applications // *Nova Biotechnologica Et Chimica*. 2022, vol. 7, no. 1, pp. 85–91. DOI: 10.36547/nbc.1363.

20. *Bezuglova O. S., Gorbov S. N., Tischenko S. A., Shimko A. E.* Use of brown coal as a detoxifier of soils contaminated with heavy metals // *Journal of Geochemical Exploration*. 2018, vol. 184, pp. 232–238. DOI: 10.1016/j.gexplo.2016.11.004.

21. *Вербицкая Н. В., Кондратенко Е. П., Соболева О. М.* Использование препарата гуминовой природы для предпосевной обработки семян пшеницы // *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. — 2014. — № 3 (103). — С. 128–132.

22. *Peng X.-X., Gai S., Cheng K., Yang F.* Roles of humic substances redox activity on environmental remediation // *Journal of Hazardous Materials*. 2022, vol. 435, article 129070. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2022.129070.

23. Соловьев Т. М., Шайхислам Г. Б., Эпштейн С. А., Соколова М. Д. Исследование состава и свойств бурых углей Якутии как сырья для получения гуминовых препаратов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2024. — № 1. — С. 67–79. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_1_0_67.

24. Казаков Д. С., Мильков А. В., Струля И. Л., Филичкина В. А., Козлов А. С. Получение высококачественной оптической поверхности покрытия из аморфного никеля на бериллиевой подложке // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. — 2019. — № 11. — С. 59–63. DOI: 10.1134/S1028096019110104.

25. Алов Н. В. Основы аналитической химии. — М.: Издательский центр «Академия», 2012. — 416 с.

26. Касимов Н. С., Власов Д. В. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии // Вестник МГУ. Серия 5. География. — 2015. — № 2. — С. 7.

27. Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Ценные элементы-примеси в углях. — Екатеринбург: УрО РАН, 2006. — 538 с.

28. Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Токсичные элементы-примеси в ископаемых углях. — Екатеринбург: УрО РАН, 2005. — 656 с. **МИАБ**

REFERENCES

1. Maksimov E. L. Ensuring the objectives of environmental safety when using agricultural land. *Courier of Kutafin Moscow State Law University (MSAL)*. 2022, no. 5, pp. 86–94. [In Russ]. DOI: 10.17803/2311-5998.2022.93.5.086-094.

2. Barabanshchikov D. A., Serdyukova A. F. Combating desertification of lands. *Young scientist*. 2017, no. 25 (159), pp. 9–98. [In Russ].

3. Gushchina T. O., Silyutin S. A., Sokolovskaya E. E., Epshtein S. A. Wastes from coal mining and processing. Methodological approaches to the assessment of their ecological safety and directions for use. Part 3. Development and validation of test procedure to determine macro- and micro-elements contents in coal mining, processing and combustion wastes. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 8, pp. 145–162. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-8-0-145-162.

4. Agapkina G. I., Manakhov D. V., Shcheglov A. I., Lipatov D. N., Stolbova V. V. Theory and practice of using methods for studying the forms of radionuclide compounds in soils. *Bulletin of Moscow University. Episode 17. Soil science*. 2023, no. 1, pp. 68–79. [In Russ]. DOI: 10.55959/MSU0137-0944-17-2023-78-1-68-80.

5. Bian Z., Dong J., Lei S., Leng H., Mu S., Wang H. Release characteristics of heavy metals in high-sulfur coal gangue: Influencing factors and kinetic behavior. *Environmental Research*. 2023, vol. 217, DOI: 10.1016/j.envres.2022.114871.

6. Hao J., Kochetkova E. M., Epshtein S. A. Mobility of the major and trace elements in the coal mining wastes. *Khimiya tverdogo topliva*. 2023, no. 4, pp. 64–72. [In Russ]. DOI: 10.31857/S0023117723040047.

7. Nevskaya M. A., Seleznev S. G., Masloboev V. A., Klyuchnikova E. M., Konina O. T., Svetlov A. V., Makarov D. V. Geocological and organizational-economic problems of processing mining waste in the Russian Federation. *Herald of the Kola Science Centre of the RAS*. 2020, vol. 12, no. 1, pp. 11–25. [In Russ]. DOI: 10.37614/2307-5228.2020.12.1.002.

8. Kharionovsky A. A., Danilova M. Yu. Reclamation of disturbed lands in the coal industry. *Vestnik of safety in coal mining scientific center*. 2017, no. 3, pp. 72–77. [In Russ].

9. Klimenko D. V., Rutkovskaya D. S. Methods for recycling ash and slag waste using the example of the Zuevskaya TPP. *VI Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya* [VI All-Russian Scientific and Practical Conference]. 2021, pp. 188–192. [In Russ].

10. Осинцева М. А., Бурова Н. В., Жидкова Е. А. Особенности рекультивации отработанных территорий угольных разрезов в Кузбассе. *International Research Journal*. 2022, no. 9 (123). [In Russ]. DOI: 10.23670/IRJ.2022.123.48.

11. Helser J., Cappuyns V. Acid generation potential and kinetics of metal(loid) release from resuspended sulfidic mine waste. *Environmental Chemical Engineering*. 2022, vol. 10, no. 4. DOI: 10.1016/j.jece.2022.10815811.

12. Grebenshchikova E. A., Yust N. A., Pykhteeva M. A. The influence of chemical reclamation by introducing ash and slag waste on the physical and chemical properties of the soil. *The Bulletin of KrasGAU*. 2016, no. 6, pp. 3–8. [In Russ].

13. Udalova N. P., Sibagatullina S. S., Lazarenko A. D. Use of ash and slag waste for reclamation of lands disturbed by mining. *Fundamental Science and Technology-Promising Developments: Proceedings of the conference*. 2016, vol. 3, pp. 118 – 121.

14. Gazizov R. R., Sukhanova I. M., Prishchepenko E. A., Bikkinina L. M.-Kh, Degtyareva I. A., Ilyasov M. M. The influence of brown coal and glauconite on soil fertility and crop yields. *Plodorodie*. 2020, no. 6 (117), pp. 34 – 36. [In Russ]. DOI: 10.25680/S19948603.2020.117.10.

15. Fomenko N. A. The use of brown coal to improve environmental safety of disposal of bottom ash waste in terms of their contact with water. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no. 4, 15 p. Deposited manuscript, 14.03.2019, no. 1179/04-19. [In Russ].

16. Fomenko N. A. *Primenenie okislennykh burykh ugley dlya povysheniya ekologicheskoy bezopasnosti utilizatsii zoloshlakovykh otkhodov* [The use of oxidized brown coals to improve the environmental safety of ash and slag waste disposal], Candidate's thesis, Moscow, NITU «MISiS», 2019, 22 p.

17. Vereshchaka J., Puzinski S., Kuglarz K., Gluba I. The use of coal ash for the soil biological layer for the purpose of reclamation of degraded soils. *Materialy III nauchno-prakticheskogo seminar «Zoloshlaki TES: udalenie, transport, pererabotka, skladirovanie»* [Materials of the III scientific and practical seminar «Ash and slag from thermal power plants: removal, transport, processing, storage»], 2010, pp. 72 – 75. [In Russ].

Shevchenko T. V., Novikova Ya. A., Sannikov Yu. N., Berdova K. A. Land reclamation using oxidized coals. *The Fundamental researches*. 2015, no. 2-23, pp. 5100 – 5103. [In Russ].

19. Janoš P., Lesný J., Závodská L., Kříženecká S., Herzogová L. Czech and Slovak young brown coals in environmental applications. *Nova Biotechnologica et Chimica*. 2022, vol. 7, no. 1, pp. 85 – 91. DOI: 10.36547/nbc.1363.

20. Bezuglova O. S., Gorbov S. N., Tischenko S. A., Shimko A. E. Use of brown coal as a detoxifier of soils contaminated with heavy metals. *Journal of Geochemical Exploration*. 2018, vol. 184, pp. 232 – 238. DOI: 10.1016/j.gexplo.2016.11.004.

21. Verbitskaya N. V., Kondratenko E. P., Soboleva O. M. Использование препарата гуминовой природы для предпосевной обработки семян пшеницы. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2014, no. 3 (103), pp. 128 – 132. [In Russ].

22. Peng X.-X., Gai S., Cheng K., Yang F. Roles of humic substances redox activity on environmental remediation. *Journal of Hazardous Materials*. 2022, vol. 435, article 129070. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2022.129070.

23. Solovov T. M., Shaikhislam G. B., Epstein S. A., Sokolova M. D. Properties and composition of Yakutian lignite as a source of humic substances. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2024, no. 1, pp. 67 – 79. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_1_0_67.

24. Kazakov D. S., Milkov A. V., Stroulea I. L., Filichkina V. A., Kozlov A. S. Fabrication of high-quality optical surface of amorphous nickel coating on a beryllium substrate. *Journal of surface investigation: X-Ray, synchrotron and neutron techniques*. 2019, no. 11, pp. 59 – 63. [In Russ]. DOI: 10.1134/S1028096019110104.

25. Alov N. V. *Osnovy analiticheskoy khimii* [Fundamentals of analytical chemistry], Moscow, Izdatel'skiy tsentr «Akademiya», 2012, 416 p.

26. Kasimov N. S., Vlasov D. V. Clarke basic elements as standards of comparison in ecogeochemistry. *Vestnik Moskovskogo Universiteta, Seriya Geografiya*. 2015, no. 2, pp. 7. [In Russ].

27. Yudovich Ya. E., Ketris M. P. *Tsennye elementy-primesi v uglyakh* [Valuable impurity elements in coals, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences], Ekaterinburg, UrO RAN. 2006, 538 p.

28. Yudovich Ya. E., Ketris M. P. *Toksichnye elementy-primesi v iskopaemykh uglyakh* [Toxic elements enter metal coals], Ekaterinburg, UrO RAN, 2005, 656 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Шайхислам Гулшат¹ – аспирант,
e-mail: gulshatshaikhislam@gmail.com,
ORCID ID: 0009-0004-6988-1747,

Соловьев Тускул Михайлович¹ – канд. техн. наук,
ведущий инженер научного проекта,

e-mail: tuskulsolovev@yandex.ru,
ORCID ID: 0000-0002-7824-7623,
*Эпштейн Светлана Абрамовна*¹ — д-р техн. наук,
профессор, зав. лабораторией,

e-mail: apshtein@yandex.ru,
ORCID ID: 0000-0001-8356-4319,
Семина Ирина Сергеевна — канд. биол. наук,
доцент, директор Центра «Геоэкология»,
Сибирский государственный индустриальный
университет, e-mail: semina.i@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0001-9222-0358,

¹ НУИЛ «Физико-химия угля»,
НИТУ МИСИС, Москва, Россия.

Для контактов: Шайхислам Г., e-mail: gulshatshaikhislam@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*G. Shaikhislam*¹, Graduate Student,
e-mail: gulshatshaikhislam@gmail.com,
ORCID ID: 0009-0004-6988-1747,

*T.M. Solovev*¹, Cand. Sci. (Eng.),
Leading Engineer of Scientific Project,
e-mail: tuskulsolovev@yandex.ru,

*S.A. Epstein*¹, Dr. Sci. (Eng.),
Professor, Head of Laboratory,
e-mail: apshtein@yandex.ru,
ORCID ID: 0000-0001-8356-4319,

I.S. Semina, Cand. Sci. (Biol.),
Assistant Professor, Siberian State Industrial
University, 654007, Novokuznetsk, Russia,
e-mail: semina.i@mail.ru,

ORCID ID: 0000-0001-9222-0358,
¹ Research Testing Laboratory of Physics
and Chemistry of Coals, NUST MISIS,
119049, Moscow, Russia.

Corresponding author: G. Shaikhislam, e-mail: gulshatshaikhislam@gmail.com.

Получена редакцией 24.02.2024; получена после рецензии 30.03.2024; принята к печати 10.06.2024.
Received by the editors 24.02.2024; received after the review 30.03.2024; accepted for printing 10.06.2024.

