

Радиационные исследования отвалов Кизеловского угольного бассейна

Елена Александровна МЕНЬШИКОВА^{*},
Сергей Михайлович БЛИНОВ^{**},
Дмитрий Александрович БЕЛЫШЕВ^{***},
Роман Дмитриевич ПЕРЕВОЩИКОВ^{****}

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Россия, Пермь

Актуальность работы. Достаточно широкое распространение углей с повышенным содержанием естественных радионуклидов и растущие показатели использования этого полезного ископаемого в энергетической отрасли ставят задачи исследования возможных радиоэкологических проблем, связанных с его добычей, транспортом и сжиганием. В связи с активизацией внимания к реализации направления отложенного ресурсного потенциала различных отходов актуальны и исследования пород шахтных отвалов угледобычи на предмет их радиационной безопасности.

Целью исследования является оценка потенциальной радиационной опасности пород шахтных отвалов Кизеловского угольного бассейна на территории г. Губахи Пермского края.

Методы изучения. Исследования включали измерения мощности амбиентного эквивалента дозы непрерывного гамма-излучения (МЭД) и удельных активностей основных радионуклидов природного происхождения (^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th) гамма-спектрометрическим методом.

Результаты. Породы исследованных отвалов характеризуются допустимым уровнем удельной эффективной активности естественных радионуклидов с диапазоном изменений 52–238 Бк/кг. Наибольший вклад в этот показатель вносит активность ^{226}Ra (до 63 %), несколько меньший связан с ^{232}Th (до 40 %) и ^{40}K (до 28 %). Согласно результатам проведенных исследований, по показателю МЭД породы шахтных отвалов Кизеловского угольного бассейна соответствуют требованиям нормативных документов в области радиационной безопасности, в том числе для территории жилой застройки. При этом для основного объема проб измеренные значения МЭД превышают фоновое гамма-излучение. Для отдельных отвалов отмечена закономерность увеличения гамма-излучения с глубиной, обусловленная гипергенным переносом элементов из поверхностных слоев отвалов.

Выводы. Полученные результаты демонстрируют отсутствие ограничений по радиационным характеристикам для возможного использования вещества отвалов Кизеловского угольного бассейна и дополняют широкий перечень опубликованных исследований по экологическому состоянию этой территории.

Ключевые слова: уголь, шахтные отвалы, радиоактивность, естественные радионуклиды, Кизеловский угольный бассейн, Пермский край.

Введение
В настоящее время для оценки экологического состояния территорий часто применяются методы оценки потенциальной радиационной опасности объектов окружающей среды и гамма-спектрометрические измерения активности естественных радионуклидов. В связи с активизацией использования угля в качестве топлива, темпы роста которого в мире превышают использование нефти, все больший интерес вызывают радиоэкологические проблемы, связанные с добычей, транспортом и сжиганием угля. В природе достаточно широко распространены угли с повышенным содержанием естественных радионуклидов, в связи с чем энергетика, основанная на использовании угля, а также объекты размещения отходов предприятий угольной промышленности часто являются источниками загрязнения окружающей среды радионуклидами.

Отечественные исследования, связанные с оценкой радиационной опасности при добыче и сжигании угля, проведены в основных угледобывающих районах Сибири и Дальнего Востока [1, 2]. Известно о существенном увеличении активности радионуклидов в твердых продуктах сжигания угля [3]. Так, по данным исследований Уртуйского бурого угольного месторождения, угли которого отличаются высоким содержанием природных радиоактивных элементов, увеличение активности радионуклидов в угольных шлаках в сравнении с углем составляет 5,5 раза, в золе – 8,7 раза [4]. При сжигании углей даже с низкими концентрациями радиоактивных элементов в их продуктах сжигания содержание этих элементов обычно увеличивается в 3–4 раза по отношению к исходному топливу.

Активные исследования радиоактивности углей проводятся в Китае [5]. Результаты исследований по удельной активности ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{238}U в углях месторождений в провинции Юньнань в Восточном Китае демонстрируют аналогичный уровень этих показателей в сравнении с обобщенными данными для углей территории Китая. При этом полученные результаты отличаются более высокими значениями в сравнении с данными по углям Австралии и Польши.

Радиационные исследования угольных отвалов в последние годы проводятся на территории Польши [6], где угольная отрасль создает наибольшее количество отходов в сравнении со всеми промышленными отходами страны – около 30 млн т в год. На площади 4000 га к настоящему времени размещено более 760 млн т отходов добычи каменного угля. Природоохранными нормами стран Европейского союза отвалы отходов угледобычи рассматриваются как важный вторичный ресурс, прежде всего для дополнительного извлечения угля [7], а также для дорожного и гражданского строительства, закладки заброшенных подземных выработок. В связи с этим возможное активное использование этих отходов предполагает их радиационную безопасность.

✉ menshikova_e@list.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5199-7590>

** blinov_s@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-4953-3567>

*** dmitry-belyshev@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9917-5593>

**** rperevoshnikov@bk.ru

Объектом данных исследований являются породы отвалов угольных шахт объединения «Кизелуголь» в окрестностях города Губахи Пермского края. Кизеловский угольный бассейн вытянут узкой полосой в меридиональном направлении вдоль западного склона Среднего Урала, имеет протяженность более 100 км, а ширину 15–20 км.

Добыча угля на этой территории велась еще с конца XVIII в., но интенсивное развитие получила с 1930-х гг. В период активной разработки в годы Великой Отечественной войны и послевоенное время в бассейне насчитывалось 37 шахт с ежегодной добычей около 12 млн т. По причине нерентабельности добычи в сложных горно-геологических условиях в 1997 г. началась ликвидация шахт, завершенная к 2002 г.

Разработка месторождений угля в Кизеловском бассейне сопровождалась образованием породных отвалов, в которых размещались обломки аргиллитов, песчаников, известняков с присутствием угля. Кроме того, в них содержится древесина, металлические предметы и строительный мусор. Уголь, формирующийся за счет медленного разложения органического вещества под действием биологических и геологических процессов, всегда содержит в своем составе природные радиоактивные вещества уранового и актиноуранового рядов (^{238}U и продукты его распада ^{234}U , ^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{210}Pb , ^{210}Po и т. д.; ^{235}U и продукты его распада ^{219}Rn и т. д.), ториевого ряда (^{232}Th и продукты его распада ^{220}Rn , ^{216}Po), а также долгоживущий радиоактивный изотоп ^{40}K . Таким образом, естественная радиоактивность угля формируется за счет природных радионуклидов. Уран в окислительных условиях земной поверхности, как правило, присутствует в виде хорошо растворимых соединений и поэтому значительно более широко рассеян, чем торий, хотя среднее содержание урана в земной коре ниже, чем тория.

Породы отвалов Кизеловского угольного бассейна неоднородны по гранулометрическому составу, имеют размер от глинистых частиц до глыб. Они складировались в виде терриконов высотой до 80 м, хребтовых и плоских отвалов. В 53 отвалах, занимающих более 300 га, складировано свыше 24 млн м^3 твердых отходов угледобычи [8, 9].

Шахтные отвалы, подверженные процессам ветровой и водной эрозии, самовозгоранию, являются крупными объектами загрязнения окружающей среды и наряду с самоизливами кислых шахтных вод определяют экологическую ситуацию этой территории [10, 11]. Горение пород отвалов вызывает образование пустот в их массиве, обрушение и осадку горелых пород, выбросы газов, пыли и горной массы. Термическое воздействие на горную массу отвалов сопровождается преимущественно их выгоранием и спеканием, реже – плавлением. В массиве отвала формируется зональность, обусловленная перераспределением исходного вещественного состава, техногенным минералообразованием, в том числе с формированием неустойчивых фаз водных и безводных сульфатов Al, Fe, Ca, Mg и аммония. Изменение внешнего облика горелых отвалов с черно-серой окраски пород на желто-красную отражает стадии обжига вещества: желтые породы представляют собой продукты начальной стадии обжига, которые составляют основу большинства слабо горевших, чаще всего небольших отвалов; розовые породы – среднетемпературной стадии обжига в окислительной среде и присутствуют во всех горелых отвалах; в зоне отвала, где температура достигает 1000 °C и более, образуется отвальный спек или остеклованный клинкер [12].

Среди широкого перечня опубликованных исследований по экологическим проблемам территории Кизеловского угольного бассейна отсутствует информация о радиационной обстановке. Целью данной работы является оценка потенциальной радиационной опасности шахтных отвалов Кизеловского угольного бассейна. Исследования включали измерения непосредственно на объектах и пробоотбор с дальнейшим лабораторным исследованием пород из шести отвалов шахт «Центральная», «им. Калинина», «Новая», «Нагорная», «Шумихинская» и «им. 40-летия Октября» (рис. 1).

Исследованные отвалы занимают площадь более 60 га, в них складировано более 3 млн м^3 горных пород (табл. 1). Форма планировки отвалов до проведения рекультивации была различная: коническая с системой плосковершинных гряд высотой до 6 м с понижениями между ними; хребтовая; плосковершинная с террасированными склонами. В настоящее время практически все отвалы Кизеловского бассейна плоские, технический этап рекультивации предполагал их выравнивание и покрытие слоем глины. В результате биологического этапа рекультивации отвалы частично подвержены процессам зарастания (рис. 2).

Горные выработки для проведения измерений и отбора проб грунта были пройдены преимущественно в пределах останцов – нерекультивированных участков отвалов с первоначальным строением, оставленных для хозяйственного использования. На отвалах шахт «Центральная» и «Нагорная» останцов нет, поэтому выработки были пройдены с проходкой верхнего слоя глины в центральной части отвалов (рис. 2).

Методы исследования

Оценка радиационной опасности пород шахтных отвалов выполнена в соответствии с требованиями действующих нормативных документов МУ 2.6.1.2398-08, НРБ-99/2009 (СанПиН 2.6.1.2523-09) и включала измерение мощности амбиентного эквивалента дозы непрерывного гамма-излучения (МЭД), а также измерение удельной активности естественных радионуклидов гамма-спектрометрическим методом.

При проведении измерений МЭД использовано поверенное оборудование лаборатории экологической геологии Естественного института ПГНИУ. При осуществлении контроля МЭД применялись дозиметры-радиометры с

Таблица 1. Параметры исследованных шахтных отвалов Кизеловского угольного бассейна.

Table 1. Parameters of the investigated mine dumps of the Kizelovsky coal basin.

Шахта	Параметры отвалов до рекультивации, 2003 г. [8]				Форма отвала после рекультивации
	Форма	Площадь, га	Высота, м	Объем, тыс. м^3	
Центральная	Конический	7,5	26	798	Плоский
Им. Калинина	Плоский	0,5	4	16	Плоский
Новая	Плоский	6,1	3	15	Плоский
Нагорная	Конический	3,7	40	261	Плоский
Шумихинская	Плоский	30	11	1253	Плоский
Им. 40-летия Октября	Плоский	12,4	7	719	Плоский

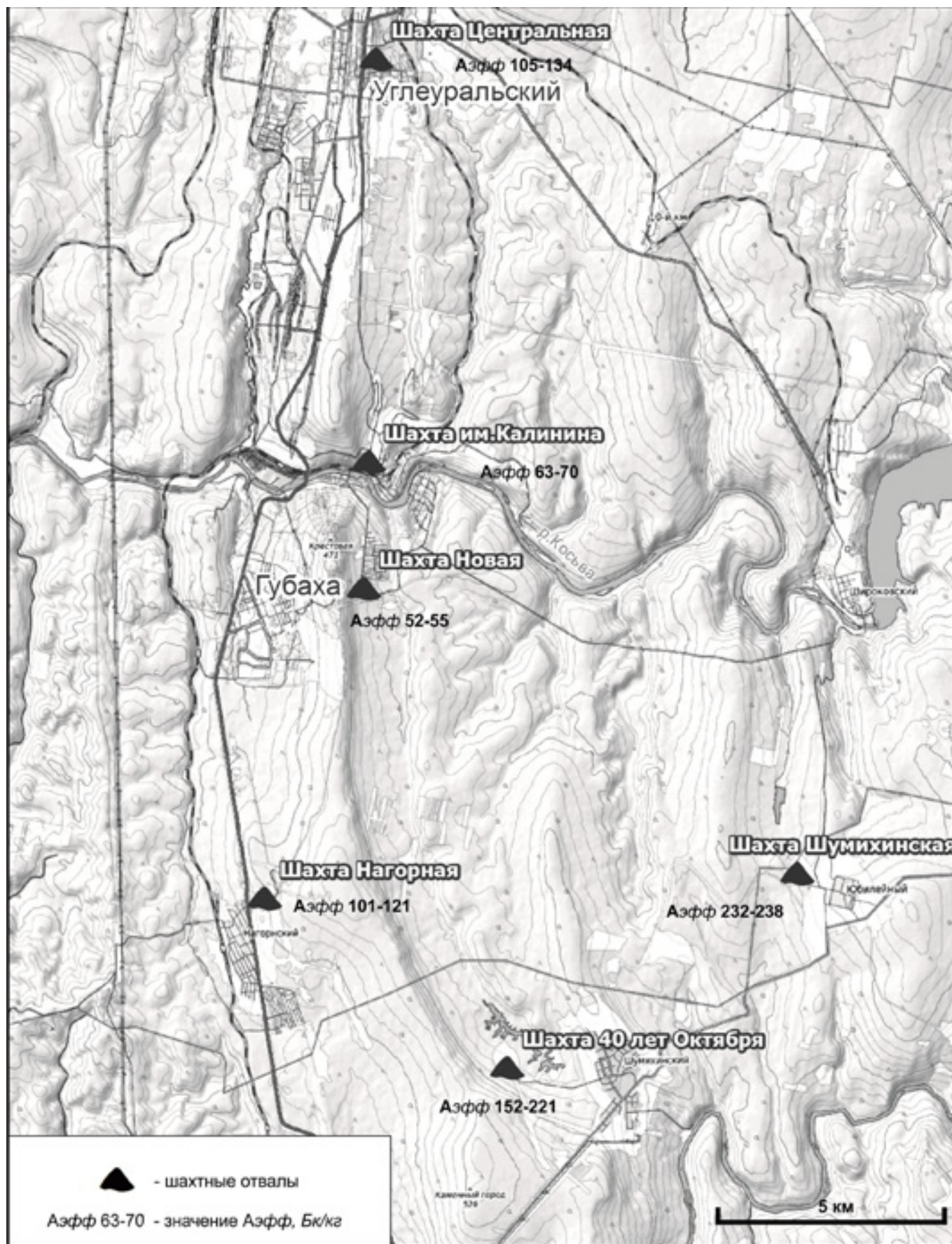
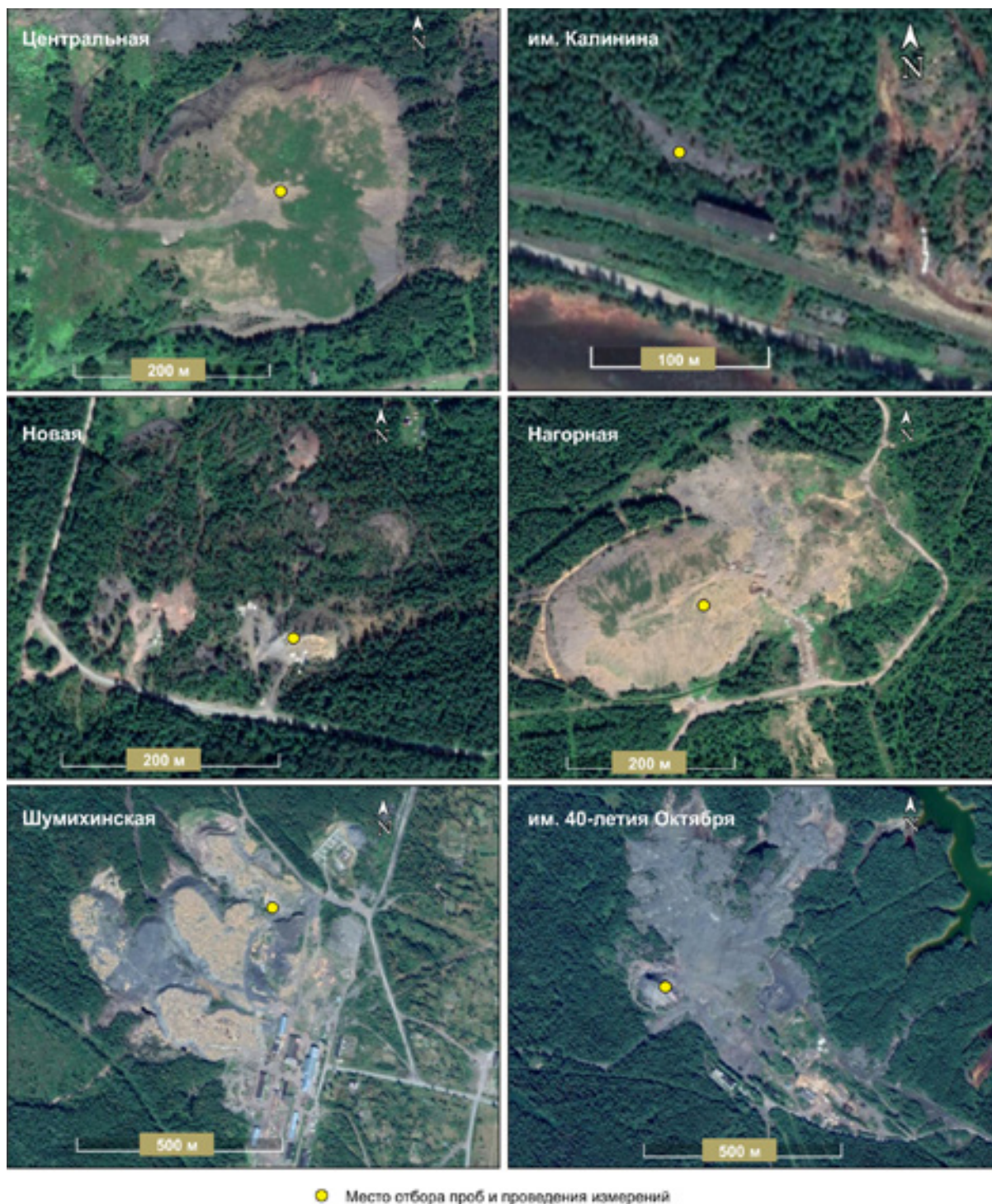


Рисунок 1. Схема расположения объектов исследования и значения удельной эффективной активности ЕРН.
Figure 1. Way-finding diagram of the study and the values of the specific effective activity of natural radionuclides.



**Рисунок 2. Космические снимки исследованных отвалов шахт Кизеловского угольного бассейна.
Figure 2. Space images of the investigated dumps of the mines of the Kizelovsky coal basin.**

автоматическими блоками детектирования, измеряющими мощность дозы гамма-излучения. Технические характеристики используемой аппаратуры соответствовали требованиям п. 4.3. МУ 2.6.1.2398-08.

Гамма-спектрометрические измерения проведены в лаборатории петрофизических исследований кафедры геофизики геологического факультета ПГНИУ. Измерение активности естественных радионуклидов (ЕРН) и определение их содержания проводились при помощи гамма-спектрометра «Мультирад», который представляет собой лабораторное оборудование (в том числе и для передвижных лабораторий) с широким спектром возможностей и может применяться на предприятиях Минатома, Госсанэпиднадзора, МЧС, природоохранных предприятий различных ведомств. Принцип действия этого спектрометра основан на преобразовании энергии ионизирующих излучений в электрические импульсы, которые с помощью аналого-цифрового преобразователя переводятся в цифровой сигнал. Определяемые радионуклиды ^{232}Th , ^{40}K , ^{226}Ra .

Нормирование воздействия ЕРН в соответствии с требованиями НРБ-99/2009 проводится по расчетной величине удельной эффективной активности $A_{\text{эфф}}$, которая характеризует суммарную удельную активность естественных радио-

нуклидов в исследуемом материале, определяемую с учетом их биологического воздействия на организм человека (Бк/кг). Формула для ее расчета имеет вид:

$$A_{\text{эфф}} = A_{\text{Ra}} + 1,31 A_{\text{Th}} + 0,085 A_{\text{K}},$$

где A_{Ra} , A_{Th} удельные активности ^{226}Ra и ^{232}Th находящиеся в равновесии с остальными членами уранового и ториевого рядов, Бк/кг; A_{K} – удельная активность ^{40}K , Бк/кг.

Результаты и их обсуждение

Значения мощности дозы гамма-излучения на территории исследования представлены в табл. 2. По результатам проведенных измерений наблюдаемые значения гамма-излучения находятся пределах 0,10–0,16 мкЗв/ч. Образцов пород отвалов с МЭД гамма-излучения, превышающей нормативные значения в 0,3 мкЗв/ч (для территорий жилой застройки) и 0,6 мкЗв/ч (для промышленных территорий), не обнаружено.

По материалам Пермского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды – филиала федерального государственного бюджетного учреждения «Уральское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», на территории Пермского края радиоактивных источников, подлежащих учету Росгидромета, нет [13]. По программе радиационного мониторинга наблюдения ведутся за фоновой мощностью эквивалентной дозы гамма-излучения, как за наиболее опасным излучением, имеющим высокую проникающую способность. Наблюдения проводятся на 17 метеостанциях края. Среднегодовое значение гамма-фона составило по г. Перми и Пермскому краю 0,11 мкЗв/ч.

С учетом фонового подхода к оценке измеренных значений гамма-излучения для основного объема проб этот показатель незначительно (до 1,5 раза) превышает фоновое гамма-излучение в г. Губахе, которое по данным наблюдений [13], для этой территории составляет 0,11 мкЗв/ч. Измеренные значения гамма-излучения пород отвалов, как правило, незначительно превышают и радиационный фон на прилегающей территории. Для отдельных отвалов отмечена закономерность увеличения МЭД гамма-излучения с глубиной – до 27 %, обусловленная, очевидно, гипергенным переносом элементов из поверхностных слоев отвалов в более глубокие.

Определение удельной эффективной активности ЕРН пород шахтных отвалов Кизеловского угольного бассейна показало отсутствие ограничений для их использования в качестве строительных материалов. С учетом значения удельной эффективной активности ЕРН в диапазоне 52–238 Бк/кг проанализированные образцы согласно п. 5.3.4 НРБ-99 можно отнести к первому классу строительных материалов. В соответствии с указанными нормами допустимая величина $A_{\text{эфф}}$ для первого класса строительных материалов (с возможностью использования их в населенных пунктах) составляет не более 370 Бк/кг. С учетом формулы расчета наибольший вклад в величину $A_{\text{эфф}}$ исследованных пород вносит удельная активность ^{226}Ra (до 63 %), меньший вклад связан с ^{232}Th (до 40 %) и ^{40}K (до 28 %), (табл. 3). Из исследованных отвалов наибольшие значения $A_{\text{эфф}}$ отмечены для отвалов шахты «Шумихинская» (до 238 Бк/кг) и шахты «им. 40-летия Октября» (до 221 Бк/кг) (рис. 1).

Данные об удельной эффективной активности ЕРН углей и породных отвалов различных месторождений отрывочны [14]. Сравнение полученных результатов с опубликованными данными по другим территориям (табл. 3) показывает, что наиболее близкими по усредненным показателям к рассматриваемым объектам Кизеловского угольного бассейна являются данные по породным отвалам Верхнесилезского бассейна в Польше [6]. При этом отмеченные максимальные активности ЕРН для исследованных отвалов на территории Польши показывают однозначное несоответствие пород отдельных отвалов Верхнесилезского бассейна действующим нормативам Российской Федерации для использования в качестве строительных материалов с возможностью применения в населенных пунктах, прежде всего по высоким показателям удельных активностей ^{232}Th и ^{226}Ra .

Опубликованные результаты по углям и породам шахтных отвалов Польши (табл. 2) демонстрируют закономерность большей удельной активности вмещающих пород (размещенных в отвалах) [6] в сравнении с продуктивными

Таблица 2. Значения МЭД гамма-излучения пород шахтных отвалов Кизеловского угольного бассейна, мкЗв/ч.

Table 2. Values of gamma radiation DER from rocks of mine dumps of the Kizelovsky coal basin, mSv/h.

Место отбора	Шифр пробы*	МЭД гамма-излучения	Фон на прилегающей территории
Шахта «Центральная»	6P	0,12	0,11
	6G	0,11	
Шахта им. Калинина	4P	0,14	0,12
	4G	0,13	
Шахта «Новая»	5P	0,11	0,11
	5G	0,14	
Шахта «Нагорная»	3P	0,11	0,10
	3G	0,14	
	7P	0,13	
Шахта «Шумихинская»	7G	0,10	0,10
	8P	0,15	
	8G	0,16	
Шахта им. 40-летия Октября, горелый отвал	1G	0,13	0,12
	2P	0,12	
	2G	0,15	
Фоновое гамма-излучение по данным Пермского ЦГМС [13]		0,11	

*Пробы с индексом P отобраны с поверхности, G – с глубины 0,5 м.

Таблица 3. Удельная активность ЕРН пород шахтных отвалов Кизеловского угольного бассейна.
Table 3. The specific activity of the natural radionuclides of mine dumps rocks of the Kizelovsky coal basin.

Место отбора	Шифр пробы	Величина активности, Бк/кг				Величина вклада активностей ЕРН в общей формуле расчета $A_{эфф}$, %		
		A_{Th}	A_K	A_{Ra}	$A_{эфф}$	^{232}Th	^{40}K	^{226}Ra
Шахта «Центральная»	6P	32,95	447,00	53,25	134,41	32,1	28,3	39,6
	6G	32,25	250,50	41,73	105,26	40,1	20,2	39,7
Шахта им. Калинина	4P	19,52	119,20	35,00	70,70	36,2	14,3	49,5
	4G	13,93	58,20	40,50	63,69	28,6	7,8	63,6
Шахта «Новая»	5P	14,54	60,60	28,30	52,50	36,3	9,8	53,9
	5G	13,29	48,50	33,48	55,00	31,7	7,5	60,8
Шахта «Нагорная»	3P	30,86	277,70	37,18	101,21	39,9	23,3	36,8
	3G	35,41	299,80	49,18	121,05	38,3	21,0	40,7
Шахта «Шумихинская»	7P	64,20	451,00	110,60	233,04	36,1	16,5	47,4
	7G	63,60	429,00	118,60	238,38	35,0	15,3	49,7
	8P	62,90	471,00	109,80	232,23	35,5	17,3	47,2
	8G	62,90	449,00	103,30	223,86	36,3	17,4	46,3
Шахта им. 40-летия Октября, горелый отвал	1G	65,50	491,00	94,00	221,54	38,8	18,8	42,4
	2P	46,19	368,00	61,00	152,78	39,6	20,5	39,9
	2G	44,89	398,00	66,30	158,94	37,0	21,3	41,7
<i>Среднее</i>		40,00	308,00	65,00	144,00	36,1	17,3	46,6
Обобщенные данные по угольным отвалам Верхнесилезского бассейна в Польше [6]:								
минимум		8,00	110,00	8,00				
максимум		850,00	1250,00	632,00				
<i>Среднее</i>		67,00	496,00	62,00				
Средняя удельная активность угля по миру [2]		20,00	50,00	–				
Обобщенные данные по углям различных месторождений [5]:								
Китай		37,50	106,00	49,40				
Польша		14,30	129,90	18,10				
Австралия		24,00	75,00	21,00				

угольными пластами [15]. Указанная закономерность отмечена и исследованиями на рудниках Кузбасса, где содержание ЕРН в углях в 2–5 раз меньше, чем во вмещающих породах [2].

В соответствии с Федеральным законом «О радиационной безопасности населения» № 3-ФЗ радиационный мониторинг осуществляется на всех стадиях горнодобывающих работ, включая геологоразведочные и эксплуатационные работы. При необходимости проводится оценка качества продукции и отходов. В рамках направления отложенного ресурсного потенциала различных отходов и возможности их вторичного использования в последние годы предлагаются перспективные технологии, учитывающие специфику состава пород угольных отвалов. В частности, разработаны технологии производства строительной керамики [16, 17], когда присутствующие в породах угольные частицы, выгорая при обжиге, позволяют достичь экономии традиционных энергоносителей и получить высококачественные стеновые материалы, востребованные на рынке. Предлагаются технологии с использованием термических процессов в массиве отвалов с целенаправленным обжигом горных пород и с контролируемым достижением заранее заданных физико-механических свойств (крепость, пористость, сорбционная активность и др.) [18, 19].

Заключение

Полученные результаты показали, что исследованные породы шахтных отвалов Кизеловского угольного бассейна по показателю мощности амбиентного эквивалента дозы непрерывного гамма-излучения соответствуют требованиям нормативных документов в области радиационной безопасности, в том числе для территории жилой застройки. Уровень удельной эффективной активности естественных радионуклидов составил 52–238 Бк/кг. Наибольший вклад в этот показатель вносит активность ^{226}Ra (до 63 %), несколько меньший связан с ^{232}Th (до 40 %) и ^{40}K (до 28 %).

С учетом величины значения эффективной удельной активности естественных радионуклидов проанализированные образцы пород шахтных отвалов Кизеловского угольного бассейна относятся к первому классу строительных материалов в соответствии с п. 5.3.4 НРБ-99/2009, что допускает их использование в населенных пунктах. Отмеченная закономерность увеличения МЭД гамма-излучения с глубиной, обусловленная гипергенным выносом элементов из поверхностных слоев, ставит задачу оценки радиационных параметров на всю глубину отвального массива, прежде всего для объектов возможного вторичного использования.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (задание 5.6881.2017/8.9).

ЛИТЕРАТУРА

1. Сидорова Г. П., Крылов Д. А. Оценка содержания радиоактивных элементов в углях и продуктах их сжигания // ГИАБ. 2015. С. 369–376.
2. Крылов Д. А., Овсейчук В. А., Сидорова Г. П. Радиоактивность углей // Энергия: экономика, техника, экология. 2015. № 5. С. 2–11.
3. Pak Y. N., Pak D. Y., Ponomaryova M. V., Baizbayev M. B., Zhelayeva N. V. Radioactivity of Coal and Its Combustion Wastes // Coke and Chemistry. 2018. Vol. 61, № 5. P. 188–192.
4. Суханов Р. А., Сидорова Г. П. Проблемы использования углей с повышенной радиоактивностью // Горный журнал. 2009. № 2. С. 67–69.
5. Xin Wang, Qiyang Feng, Ruoyu Sun, Guijian Liu. Radioactivity of Natural Nuclides (^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra) in Coals from Eastern Yunnan, China // Minerals. 2015. № 5. P. 637–646. <https://doi.org/10.3390/min5040513>
6. Kozłowska B., Walencik A., Dorda J., Zipper W. Radioactivity of dumps in mining areas of the Upper Silesian Coal Basin in Poland // EPJ Web of Conferences. 2012. Vol. 24. 8 p. <https://doi.org/10.1051/epjconf/20122405006>
7. Gramor Ł. Coal mining waste dumps as secondary deposits – examples from the Upper Silesian Coal Basin and the Lublin Coal Basin // Geology, Geophysics & Environment. 2014. Vol. 40, № 3. P. 285–289. <https://doi.org/10.7494/geol.2014.40.3.285>
8. Красавин А. П., Сафин Р. Т. Экологическая реабилитация углепромышленных территорий Кизеловского бассейна в связи с закрытием шахт. Пермь, 2005. 175 с.
9. Минерально-сырьевые ресурсы Пермского края: энцикл. / гл. ред. А. И. Кудряшов. Пермь: Книжная площадь, 2006. 464 с.
10. Бачурин Б. А. Экологические проблемы горнопромышленных районов Пермского края // Экология и промышленность России. 2006. № 4. С. 32–35.
11. Меньшикова Е. А., Блинов С. М. Эколого-геохимическое состояние донных отложений рек Кизеловского угольного бассейна в период после ликвидации шахт // Вестник Пермского университета. 2005. № 3. С. 167–174.
12. Воробьев А. Е., Портнов В. С., Маусымбаева А. Д., Бекетова М. С. Изменение качества углелодной массы в терриконах // Труды университета. 2016. № 3 (64). С. 61–65.
13. О состоянии и об охране окружающей среды Пермского края в 2016 году: доклад. Пермь: ООО «ВК-Сервис», 2017. 222 с.
14. Куркатов С. В. Гигиеническая оценка радиационной опасности углей и попутного минерального сырья Канско-Ачинского угольного бассейна: автореф. дис. ... канд. мед. наук. 14.00.07. Кемерово: КемГМА, 1997. 25 с.
15. Bem H., Wiczorkowski P., Budzanowski M. Evaluation of technologically enhanced natural radiation near the coal-fired power plants in the Lodz region of Poland // Environmental Radioactivity. 2002. Vol. 61, № 2. P. 191–201.
16. Баталин Б. С., Белозерова Т. А., Гайдай М. Ф. Строительная керамика из терриконов Кизеловского угольного бассейна // Стекло и керамика. 2014. № 3. С. 8–10.
17. Гайдай М. Ф., Вайсман Я. И., Глушанкова И. С., Семейных Н. С. Использование отходов угледобычи при производстве строительной керамики по экологически безопасной, ресурсосберегающей технологии // Вестник МГСУ. 2016. № 3. С. 93–110.
18. Воробьев А. Е., Джимиева Р. Б. Экологические аспекты ресурсоспроизводящих технологий угольного комплекса // Энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды: сб. трудов междунар. науч.-техн. конф. Белгород: БГТУ, 2015. С. 311–325.
19. Воробьев А. Е., Мозолькова А. В. Ресурсоспроизводящие технологии в угольной промышленности // ГИАБ. 2005. № 10. С. 168–170.

Статья поступила в редакцию 13 июня 2019 года

Radiation studies of dumps of the Kizelovsky coal basin

Elena Aleksandrovna MENSHIKOVA^{*},
Sergey Mikhailovich BLINOV^{**},
Dmitriy Aleksandrovich BELYSHEV^{***},
Roman Dmitrievich PEREVOSHCHIKOV^{****}

Perm State National Research University, Perm, Russia

Relevance of the work. The fairly widespread distribution of coals with a high content of natural radionuclides and the growing indicators of the use of this mineral in the energy industry set the task of studying possible radioecological problems associated with its extraction, transport and burning. In connection with the implementation of the direction of the deferred resource potential of various wastes, studies of the rocks of coal mining dumps for their radiation safety are also relevant.

The aim of the study is to assess the potential radiation hazard of the rocks of mine dumps of the Kizelovsky coal basin within the territory of the town of Gubakha, the Perm Territory.

Methods of study. The studies included measuring the ambient dose equivalent dose rate of continuous gamma radiation (DER) and specific activities of the main radionuclides of natural origin (^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th) using the gamma spectrometric method.

Results. The rocks of the studied dumps are characterized by an acceptable level of specific effective activity of natural radionuclides with a change range of 52-238 Bq/kg. The greatest contribution to this indicator is made by the activity of ^{226}Ra (up to 63%), a slightly smaller one is associated with ^{232}Th (up to 40%) and ^{40}K (up to 28%). According to the results of the studies and the DER indicator, the rocks of the mine dumps of the Kizelovsky coal basin correspond to the requirements of regulatory documents in the field of radiation safety, including for residential areas. Moreover, for the main sample volume, the measured DER values exceed the background gamma radiation. For individual dumps, a pattern of increase in gamma radiation with depth, due to the hypergene transfer of elements from the surface layers of dumps, is noted.

Conclusions. The results obtained demonstrate the absence of restrictions on radiation characteristics for the possible use of the material from the Kizelovsky coal basin dumps and supplement the wide list of published studies on the ecological state of this territory.

Keywords: coal, mine dumps, radioactivity, natural radionuclides, Kizelovsky coal basin, the Perm Territory.

The work was carried out with the financial support of the Ministry of education and science of the Russian Federation (ex. 5.6881.2017 / 8.9).

REFERENCES

1. Sidorova G. P., Krylov D. A. 2015, Estimation of the content of radioactive elements in coal and products of their combustion. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining informational and analytical bulletin], pp. 369–376. (In Russ.)
2. Krylov D. A., Ovseychuk V. A., Sidorova G. P. 2015, Radioactivity of coals. *Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya* [Energy: economics, technology, ecology], No 5, P. 2–11. (In Russ.)
3. Pak Y. N., Pak D. Y., Ponomaryova M. V., Baizbayev M. B., Zhelayeva N. V. 2018, Radioactivity of Coal and Its Combustion Wastes. *Coke and Chemistry*. Vol. 61, No 5. P. 188–192.
4. Sukhanov R. A., Sidorova G. P. 2009, Problems of use of coals with increased radioactivity. *Gornyi Zhurnal* [Mining Journal], No 2. P. 67–69. (In Russ.)
5. Xin Wang, Qiyan Feng, Ruoyu Sun, Guijian Liu. 2015, Radioactivity of Natural Nuclides (^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra) in Coals from Eastern Yunnan, China. *Minerals*. No 5. P. 637–646. <https://doi.org/10.3390/min5040513>
6. Kozłowska B., Walencik A., Dorda J., Zipper W. 2012, Radioactivity of dumps in mining areas of the Upper Silesian Coal Basin in Poland. *EPJ Web of Conferences*. Vol. 24. 8 p. <https://doi.org/10.1051/epjconf/20122405006>
7. Gramor Ł. 2014, Coal mining waste dumps as secondary deposits – examples from the Upper Silesian Coal Basin and the Lublin Coal Basin. *Geology, Geophysics & Environment*. Vol. 40, No 3. P. 285–289. <https://doi.org/10.7494/geol.2014.40.3.285>
8. Krasavin A. P., Safin R. T. 2005, Ekologicheskaya reabilitatsiya uglepromyshlennykh territoriy Kizelovskogo basseyna v svyazi s zakrytiyem shakht [Ecological rehabilitation of coal-mining territories of the Kizelovsky basin in connection with the closure of mines], Perm, 175 p.
9. 2006, Mineral resources of the Perm region: *Encycl./Ed. by A. I. Kudryashov*. Perm, 464 p.
10. Bachurin B. A. 2006, Ecological problems of mining regions of the Perm region. *Ekologiya i promyshlennost Rossii* [Ecology and Industry of Russia], No 4, P. 32–35. (In Russ.)
11. Mеньшикова Е. А., Блинков С. М. 2005, Ecological and geochemical state of bottom sediments of rivers of Kizelovsky coal basin in the period after liquidation of mines. *Vestnik Permskogo universiteta* [Bulletin of Perm University]. No 3. Pp. 167–174. (In Russ.)
12. Vorobyov A. E., Portnov V. S., Mausymbaeva A. D., Beketova M. S. 2016, Change of quality of carbon mass in mine waste. *Trudy universiteta* [University's works], No 3 (64). P. 61–65. (In Russ.)
13. 2017, *O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchey sredy Permskogo kraya v 2016 godu* [On the state and environmental protection of the Perm region in 2016], report, Perm, 222 p.
14. Kurkatov S. V. 1997, *Gigiyenicheskaya otsenka radiatsionnoy opasnosti ugley i poputnogo mineral'nogo syr'ya Kansk-Achinskogo ugol'nogo basseyna* [Hygienic assessment of the radiation hazard of coal and associated mineral raw materials of the Kansk-Achinsk coal basin], PhD thesis, Kemerovo, 25 p.
15. Bem H., Wiczorkowski P., Budzanowski M. 2002, Evaluation of technologically enhanced natural radiation near the coal-fired power plants in the Lodz region of Poland. *Environmental Radioactivity*. Vol. 61, No 2. P. 191–201.
16. Batalin B. S., Belozeroва T. A., Gaiday M. F. 2014, Building ceramics from heaps of the Kizelovsky coal basin. *Steklo i keramika* [Glass and Ceramics], No 3, P. 8–10. (In Russ.)

✉ menshikova_e@list.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5199-7590>

** blinov_s@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-4953-3567>

*** dmitry-belyshev@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9917-5593>

**** rperevoshchikov@bk.ru

17. Gaiday M. F., Weisman J. I., Glushankova I. S., Semeinykh N. S. 2016, Use of coal mining waste in the production of construction ceramics by ecologically safe, resource-saving technology, *VESTNIK MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture], No 3. P. 93–110. (In Russ.)
18. Vorobyov A. E., Djimieva R. B. 2015, *Ekologicheskiye aspekty resursovosproizvodyashchikh tekhnologiy ugol'nogo kompleksa. Energo- i resursoberegayushchiye ekologicheski chistyye khimiko-tekhnologicheskiye protsessy zashchity okruzhayushchey sredy* [Ecological aspects of resource-reproducing technologies of the coal complex. Energy and resource-saving environmentally friendly chemical-technological processes of environmental protection], book of reports of International scientific conference. Belgorod. P. 311–325.
19. Vorobyov A. E., Mozolkova A. V. 2005, Resource-reproducing technologies in the coal industry. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining informational and analytical bulletin], No 10, P. 168–170. (In Russ.)

The article was received on June 13, 2019