

Обзорная статья
УДК 55; 502.5; 504
DOI: 10.2109/2227-9245-2023-29-2-36-44

Оценка радиационно-экологической безопасности ископаемых углей Забайкалья

Галина Петровна Сидорова¹, Павел Михайлович Маниковский²,
Алексей Алексеевич Якимов³, Наталья Валерьевна Овчаренко⁴

^{1,2,3,4}Забайкальский государственный университет, г. Чита Россия

¹druja@inbox.ru, ²manikovskiy@yandex.ru, ³yaa76@yandex.ru, ⁴nataovharenko@mail.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию
03.04.2023

Одобрена после
рецензирования 28.05.2023

Принята к публикации
01.06.2023

Ключевые слова: уголь, месторождения бурых углей Забайкалья, естественные радионуклиды, качество углей, радиационно-экологическая безопасность, продукты сжигания углей, опасные элементы, окружающая среда, нормы радиационной безопасности, гамма – опробование

В статье представлена обзорная информация по результатам проведенных ранее, и проводимых в настоящее время исследований, посвященных актуальной проблеме топливно-энергетического комплекса – радиационно-экологическая безопасность угля и продуктов его сжигания. Объектом исследований является радиационно-экологическое качество бурых углей Забайкалья. Предмет исследования – месторождения бурых углей Забайкалья. Цель работы – оценка радиационно-экологического состояния бурогоугольных месторождений Забайкалья. Задачей исследований является получение достоверной информации о содержании и распределении ЕРН в углях и продуктах их сжигания. Методы исследования: полевое-гамма-опробование с применением современных радиометрических приборов ДКС-96; обработка лабораторных проб с использованием гамма-спектрометра «Прогресс»; камеральные работы. Представлены данные о концентрациях радионуклидов в углях и продуктах их сжигания (зола и шлак) угольных бассейнов США и России по содержанию урана и тория в углях и продуктах их сжигания угольных бассейнов России. В результате проведенных исследований проанализированы радиационные характеристики бурых углей Уртуйского, Харанорского, Татауровского и Окино-Ключеского месторождений. Дана предварительная оценка экологической безопасности месторождений Южно-Аргунского бурогоугольного бассейна. Представлена схема гамма-опробования на участке выхода пласта угля под наносы на Кутинском месторождении. Показан схематический план Пограничного месторождения бурого угля с сетью гамма-опробования в масштабе 1:100 000. Установлено, что содержание радионуклидов (U-238, Ra-226, Th-232, K-40) в углях Забайкалья и продуктах их сжигания находится в широких пределах, что свидетельствует о высоком уровне радиационной опасности. Планируемая работа в перспективе – построение карты качества месторождений по радиационно-гигиеническим показателям, которая используется при принятии технологических решений отработки угольных пластов.

Благодарность: Статья подготовлена при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках выполнения гранта на проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований «Оценка радиационно-экологического качества углей месторождений Забайкальского края для разработки фундаментальных основ экологически и ресурсосберегающих технологий их освоения» (соглашение номер 22-27-20057, 2022–2023 гг.).

Original article

Radiation and Environmental Safety Assessment of Fossil Coals in Transbaikalia

Galina P. Sidorova¹, Pavel M. Manikovsky², Aleksey A. Yakimov³, Natalia V. Ovcharenko⁴

^{1,2,3,4}Transbaikal State University, Chita, Russia

¹druja@inbox.ru, ²manikovskiy@yandex.ru, ³yaa76@yandex.ru, ⁴nataovharenko@mail.ru

Information about the article

Received April 3, 2023

Approved after reviewing
May 28, 2023

Accepted for publication
June 1, 2023

The article presents an overview of the results of earlier and currently ongoing studies on the actual problem of the fuel and energy complex – radiation and environmental safety of coal and its combustion products. The object of the research is the radiation-ecological quality of brown coals of Transbaikalia. The subject of the research is the brown coal deposits of Transbaikalia. The purpose of the work is to assess the radiation-ecological state of brown coal deposits in Transbaikalia. The ob-

Keywords:

coal, brown coal deposits of Transbaikalia, radionuclides, coal quality, radiation and environmental safety, coal combustion products, hazardous elements, environment, radiation safety standards, gamma testing

jective of the research is to obtain reliable information about the content and distribution of H in coals and their combustion products. Research methods are the following: field-gamma-testing with the use of modern radiometric devices DKS-96; processing of laboratory samples using the gamma spectrometer "Progress"; desk work. Data on the concentrations of radionuclides in coals and their combustion products (ash and slag) of coal basins in the USA and Russia are presented. Data on the content of uranium and thorium in coals and ashes of coal from coal basins in Russia are presented. As a result of the conducted research, the radiation characteristics of brown coals of the Urtuy, Kharanor, Tataurovsky and Okino-Klyuchsky deposits are analyzed. A preliminary assessment of the environmental safety of the deposits of the Yuzhno-Argun brown coal basin is given. The scheme of gamma-testing at the site of the coal seam outlet for sediment at the Kutinsky deposit is presented. A schematic plan of a Boundary lignite deposit with a gamma-sampling network on a scale of 1:100,000 is shown. It has been found that the content of radionuclides (U-238, Ra-226, Th-232, K-40) in the coals of Transbaikalia and their combustion products is in wide ranges, which indicates a high level of radiation hazard. The planned work in the future is to build a map of the quality of deposits according to radiation and hygienic indicators, which can be used in making technological decisions for mining coal seams.

Acknowledgment: The article was prepared with the financial support of the Russian Science Foundation as part of the grant for conducting fundamental scientific research and exploratory scientific research "Assessment of the radiation and environmental quality of coal deposits in the Transbaikal Territory for the development of the fundamentals of environmentally and resource-saving technologies for their development" (agreement number 22-27-20057, 2022–2023).

Введение. В настоящее время качество углей определяется не только показателями их технологической привлекательности, но и содержанием в них опасных и потенциально опасных элементов. В последние десятилетия в странах Азиатско-Тихоокеанского региона ужесточились нормы содержания в угольной продукции фтора, ртути, мышьяка, хлора и фосфора, а также нормативы содержания в отходах (жидких, твёрдых и газообразных) тяжёлых металлов, токсичных веществ, в том числе радионуклидов [4; 5].

В процессах добычи, обогащения и переработки опасные и потенциально опасные элементы могут перераспределяться и концентрироваться, как в продукции, так и в образующихся твёрдых, жидких и газообразных отходах.

Отходы добычи, обогащения и переработки углей при складировании являются источником поступления в окружающую среду опасных элементов, что оказывает негативное влияние на окружающую среду.

Актуальность темы исследования.

Топливную энергетику на угле экологи относят к числу наиболее крупных источников загрязнения окружающей среды радионуклидами, однако серьёзных шагов по ограничению выбросов ЕРН с продуктами сжигания углей не предпринимается [15]. Содержание естественных радионуклидов в добываемом угле не контролируется, и угли с повышенным содержанием ЕРН поступают к потребителю, что приводит к дополнительной нагрузке на

окружающую среду за счёт выбросов из труб радиоактивных аэрозолей и образования золы с повышенным содержанием радиоактивных элементов [7; 9; 14].

Требования потребителей к качеству углей, в том числе и их экологической безопасности, в условиях насыщения рынка постоянно растут и весьма разнообразны, поэтому создание эффективных систем контроля на многих угледобывающих предприятиях считается одним из главных направлений работ. Управление качеством углей является неотъемлемой частью разработки месторождения. В процессе совершенствования горного производства, наряду со стандартными методами контроля и управления качеством углей возникает необходимость применения современных методов, которые должны обеспечивать экспрессность, достаточную представительность анализируемого объема, возможность использования на различных этапах технологического процесса и обеспечивающую экологическую безопасность окружающей среды.

Одним из возможных решений этого вопроса является разработка эффективной системы управления качеством углей, в том числе и радиационным [3; 7]. Разработка эффективной технологии добычи бурых углей и управления их качеством с учётом наиболее полного использования полезного ископаемого, за счёт сокращения потерь и снижения негативного влияния на окружающую среду радионуклидов, содержащихся в этих углях –

это актуальная научно-техническая проблема [6; 7]. Она обозначена Федеральной целевой программой «Ядерная и радиационная безопасность России», раздел 3.7, п. 2, 6–9 и «Энергетической стратегией России на период до 2030 г.», раздел VI, п. 5.

Для определения реального экологического ущерба и планирования природоохранных мероприятий, направленных на снижение негативного влияния добычи и продуктов сжигания углей на окружающую среду, должна использоваться достоверная информация о содержании и распределении опасных элементов, в т. ч. и ЕРН в углях и продуктах их сжигания.

Объектом исследования является радиационно-экологическое качество бурых углей Забайкалья.

Предмет исследования – месторождения бурых углей Забайкалья.

Цель работы – оценка радиационно-экологического состояния бурогоугольных месторождений Забайкалья.

Задачей исследований является получение достоверной информации о содержании и распределении ЕРН в углях и продуктах их сжигания.

Полученные данные могут быть использованы уже на стадии проектирования разработки месторождения с использованием цифровых информационных систем и предусматривать мероприятия по снижению негативного влияния на окружающую среду радионуклидов, содержащихся в этих углях, не снижая полноту их извлечения из недр [1–3].

Методы исследования: полевое-гамма-опробование с применением современных радиометрических приборов ДКС-96; обработка лабораторных проб с использованием гамма-спектрометра «Прогресс»; камеральные работы.

Разработанность проблемы исследований. В последние годы в рамках Грантов РФФИ и РНФ авторами статьи проводится комплексное радиационно-экологическое исследование Южно-Аргунского бурогоугольного бассейна.

Научно-исследовательские работы на площади Южно-Аргунского бассейна направленные на решение проблемы снижения дозовой нагрузки на окружающую среду при отработке месторождений, имеющих угли с

повышенным содержанием естественных радионуклидов.

Южно-Аргунский угленосный район – один из крупнейших в Забайкальском крае: по результатам оценки 1968 г. его угольные ресурсы определены в 2000 млн т; в перспективе на их базе может быть создан мощный угледобывающий центр, обеспечивающий топливно-энергетическим сырьем промышленность Юго-Восточного Забайкалья и прилегающих районов Китая.

Кроме этого, перспективность освоения района определяется Программой развития угольной промышленности России на период до 2030 г., в которой говорится: «Для сохранения конкурентоспособности российской угольной продукции на внешних рынках представляется целесообразным осваивать в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке новые месторождения углей, пользующихся спросом на внешних рынках. Расположение таких месторождений вблизи границ позволит существенно снизить транспортные затраты по сравнению с предприятиями, расположенными в центре территории страны».

Оценка радиационно-экологической безопасности ископаемых углей на основе обзора. Уголь всегда содержит ЕРН 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 распада ^{220}Rn , ^{216}Po . Уран является наиболее изученным из ЕРН в углях. Остальные радионуклиды изучены слабо и только на отдельных угольных месторождениях.

По данным Я. Э. Юдовича, кларковое содержание U: в бурых углях – $2,7 \pm 0,3$ г/т; в каменных углях $1,9 \pm 0,1$ г/т. Содержание Th: для бурых углей – $3,8 \pm 0,2$ г/т; каменных – $3,1 \pm 0,1$ г/т.

Таким образом, бурые угли обогащены U и Th больше, чем каменные угли.

Удельная активность ЕРН в углях различных месторождений может отличаться в 10–100 раз и более [10; 11].

Данные о концентрациях радионуклидов в углях и продуктах их сжигания (зола и шлак) угольных бассейнов США и России, соответственно, представлены на рис. 1 и в таблице [8].

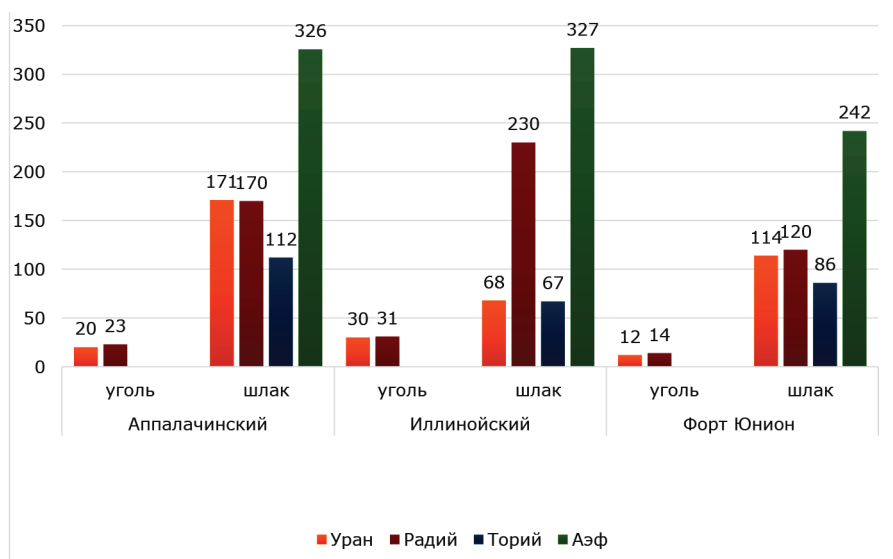


Рис. 1. Концентрации радионуклидов в углях и продуктах сжигания углей (шлак) угольных бассейнов США, Бк/кг / **Fig.1.** Radionuclide concentrations in coals and coal combustion products (slag) of coal basins in the USA, Bq/kg

Содержание урана и тория в углях и продуктах их сжигания угольных бассейнов России (по данным исследований С. И. Арбузова, Л. П. Рихванова и др.) / The content of uranium and thorium in coals and products of their combustion in coal basins of Russia (according to the research data of S. I. Arbuzov, L. P. Rikhvanov, etc.)

Угольный бассейн / Coal basin	Содержание элементов, г/т / Content of elements, g/t			
	Уголь / Coal		Зола/ Ash	
	Уран / Uranus	Торий / Thorium	Уран / Uranus	Торий / Thorium
Подмосковный / near Moscow	6,8	8,1		
Печорский / Pechorsky	2,7	5,5		
Донецкий / Donetsk	1,8	2,8		
Таймырский / Taimyrsky	2,1	3,8	9,2	16,3
Тунгусский / Tunguska	2,7	3,3	19,0	32,25
Канско-Ачинский / Kansk-Achinsky	3,2	1,0	32,7	10,2
Горловский / Gorlovsky	1,0	1,9	14,3	27,1
Кузнецкий / Kuznetsky	2,1	2,2	12,1	12,7
Минусинский / Minusinsky	2,1	2,8	14,1	18,4
Улуг-Хемский / Ulug-Khemsy	1,2	1,2	12,9	12,9
Иркутский / Irkutsky	2,7	4,1	18,5	28,5

При оценке опасных элементов в углях, вмещающих и вскрышных породах, отходах переработки, необходимо учитывать потенциальную возможность их эмиссии в окружающую среду [7; 9].

Нормативно-методическое обеспечение работ по определению опасных и потенциально опасных элементов в углях, в том числе для целей экспорта угольной продукции, должно основываться на использовании

современных инструментальных методов, позволяющих проводить, как высокоточные измерения, так и экспресс диагностику в условиях действующих предприятий. Соответствующие стандарты на методы определения опасных элементов должны быть гармонизованы с международными стандартами.

В настоящее время практически отсутствуют нормативно-методическое обеспечение, регламентирующее оценку опасных и

потенциально опасных элементов в углях и отходах добычи и переработки углей.

Одной из актуальных проблем является разработка классификации углей, вмещающих и вскрышных пород, отходов обогащения и переработки по содержанию в них опасных и потенциально опасных соединений. В 1999 г. Б. Б. Чебатенко и Е. П. Майсюк [10; 11] предложена методика оценки углей по величине «потенциала экологической опасности» (П). Одним из выделенных показателей является П (ЕРН) – составляющая, обусловленная присутствием в топливе естественных радионуклидов, в условных единицах на тонну условного топлива. Данные рекомендации авторов вызывают определённый интерес, но одновременно возникает ряд вопросов, которые требуют детального изучения и научного обоснования.

В Российской Федерации отсутствует надёжная информация о содержании опасных и потенциально опасных элементов, их распределении и накоплении в углях, вмещающих и вскрышных породах, отходах обогащения и переработки [7; 10; 11].

Указанные проблемы не позволяют планировать качество добываемого сырья, оценивать реальные экологические и экономические ущербы от загрязнения окружающей среды и разрабатывать превентивные мероприятия по её защите.

Решение проблем радиоактивности углей требует централизованного подхода и создания соответствующей нормативной базы. Между тем, нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009) в России ограничивают только применение шлаков в строительных целях. Уголь по радиационному признаку не нормируется.

Томскими исследователями в 1999 г. предложена редакция норм радиационной безопасности (НРБ) для углей, сжигаемых в отопительных котельных и бытовых печах, рассчитывать удельную активность естественных радионуклидов по формуле

$$A_{Ra} + 2,1 A_{Th} < 180 \text{ Бк/кг}, \quad (1)$$

где A_{Ra} и A_{Th} – удельная активность радия – 226 и тория – 228, находящихся в равновесии с членами уранового и ториевого семейств, соответственно.

При разработке новых норм радиационной безопасности данные рекомендации не были учтены. Для решения вопроса нормирования углей, содержащих естествен-

ные радионуклиды, необходим специальный комплект с исследований, который должен содержать: изучение радиоактивных элементов в угольных пластах в естественном залегании, включающее прогноз повышенных содержаний радиоактивных элементов по месторождениям; детальное исследование выделенных месторождений на предмет радиоактивности углей; разработку системы отработки и управления потоком углей с повышенным содержанием радиоактивных элементов; контроль радиоактивных элементов в отходах угольных электростанций (зола и шлак); мониторинг окружающей среды при отработке и использовании углей с повышенным содержанием ЕРН; разработку нормативных документов, регламентирующих этот процесс, разработку технологических основ экологически безопасного и ресурсосберегающего освоения таких месторождений [2; 12; 13; 15].

Забайкалье является одним из старейших угледобывающих регионов России, где уголь – основное энергетическое сырьё. В крае добывается около 12 млн т угля в год. Общий ресурсный запас углей составляет более 7 млрд т. На территории Забайкалья известно 48 месторождений и 18 проявлений угля [3; 7].

В структуре добычи угля в регионе основная доля приходится на бурые угли, около 80 %. Наиболее широкое распространение на территории Забайкалья получили низко метаморфизованные угли, представленные бурными углями технологических групп 1Б-3Б.

Уголь является основным источником производства энергии в регионе, альтернативных источников нет.

Кроме этого, Забайкалье – это крупный уранодобывающий регион, где столкнулись с проблемой использования урансодержащих углей.

На территории региона с достаточной степенью детальности изучена радиоактивность углей Уртуйского, Харанорского, Татауровского и Окино-Ключеского бурого угольного месторождений (рис. 2).

Исследования проводились двумя методами: полевые работы и лабораторные исследования. *Исследование проб угля в лабораторных условиях с применением гамма-спектрометра.* Исследование проб угля в лабораторных условиях осуществлялось с применением гамма-спектрометра «Прогресс».

Определение радиационных параметров в пробах угля осуществлялось с использованием следующих сертифицированных методик:

- отбор проб. Угольный пласт (штабель);
- приготовление счётных образцов. Проба;
- выполнение измерений. Счётный образец;
- представление результатов измерений;
- обработка результатов измерений.

Ранее подобные исследования на данной территории не проводились. Методика

гамма-опробования (ГО) углей в естественном залегании и в штабелях с применением переносных радиометрических приборов разработана и успешно прошла апробацию при проведении исследований авторами статьи совместно с другими коллегами-учёными на Уртуйском буроголовном месторождении [3; 7].

Схематический план Пограничного месторождения бурого угля с сетью гамма-опробования представлен на рис. 4.



Рис. 4. Схематический план Пограничного месторождения бурого угля с сетью гамма-опробования. Масштаб 1: 100 000 (в 1 см. – 1 км) / **Fig. 4.** Schematic plan of the Pogranichnoye brown coal deposit with a network of gamma sampling. Scale 1: 100,000 (in 1 cm – 1 km)

Выводы. Радиационно-экологическая безопасность ископаемых углей Забайкалья – актуальная экологическая проблема региона, являющегося одним из основных регионов по добыче природного урана, что становится основной причиной накопления ЕРН в углях.

Дана общая оценка радиационно-экологической безопасности ископаемых углей Забайкалья. Проанализированы радиационные характеристики бурых углей Уртуйского, Харанорского, Татауровского и Окино-Ключевского месторождений. Дана предварительная оценка экологической безопасности месторождений Южно-Аргунского буроголовного

бассейна. Представлены схемы проведённого гамма-опробования Кутинского и Пограничного месторождений. Установлено, что содержание радионуклидов (U-238, Ra-226, Th-232, K-40) в углях Забайкалья и продуктах их сжигания находится в широких пределах, что свидетельствует о высоком уровне радиационной опасности.

Планируемая работа в перспективе – построение карты качества месторождений по радиационно-гигиеническим показателям, которая имеет практическое значение и может использоваться при принятии технологических решений отработки угольных пластов.

Список литературы

1. Звонарев С. В. Основы математического моделирования. Екатеринбург: Урал. ун-т, 2019. 112 с.
2. Кантемиров В. Д., Яковлев А. М., Титов Р. С. Геоинформационные технологии блочного моделирования для оценки качественных показателей полезных ископаемых в условиях переходных процессов горного производства // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2021. № 1. С. 38–47.

3. Маниковский П. М., Васютин Л. А., Сидорова Г. П. Методика моделирования рудных месторождений в ГГИС // Вестник Забайкальского государственного университета. 2021. Т. 27, № 2. С. 6–14.
4. Молев М. Д., Масленников С. А., Занина И. А. Экологическая безопасность угледобывающих регионов: монография. Шахты: Ин-т Сферы Обслуживания и Предпринимательства филиал ДГТУ. 115 с.
5. Новоселов С. В. Проблема оценки техногенного воздействия на экологию странами – лидерами по производству и потреблению энергии // Уголь. 2020. № 2. С. 48–50.
6. Орлов П. М., Сычев В. Г., Аканова Н. И. Естественные радионуклиды в почвах России и фосфатных рудах планеты. Текст: электронный // МСХ. 2020. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/estestvennyye-radionuklidy-v-pochvah-rossii-i-fosfatnyh-rudah-planety> (дата обращения: 16.10.2022).
7. Сидорова Г. П., Авдеев П. Б., Якимов А. А., Овчаренко Н. В., Маниковский П. М. Мониторинг состояния окружающей среды на территориях, вовлеченных в обращение углей с повышенным содержанием естественных радионуклидов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. № 12. С. 102–113.
8. Статистический ежегодник мировой энергетики. URL: <https://yeabook.ennerdata.ru> (дата обращения: 15.01.2020). Текст: электронный.
9. Трубина Л. К. Геоэкологический мониторинг. URL: <https://search.rsl.ru/ru/search> (дата обращения: 15.06.2019). Текст: электронный.
10. Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Ценные элементы-примеси в углях. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 538 с.
11. Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Токсичные элементы-примеси в ископаемых углях: монография. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 648 с.
12. 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.
13. 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.
14. Ferian A., Hendra A., Agung H., Noely T. Th., Sahri A. A., Zain A. N. A. Rare earth element and yttrium content of coal in the Banko coalfield, South Sumatra Basin, Indonesia: Contributions from tonstein layers // International Journal of Coal Geology. 2018. Vol. 196. P. 159–172.
15. 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. Zvonarev S. V. Fundamentals of mathematical modeling. Yekaterinburg: Ural University Publ., 2019. (In Rus.)
2. Kantemirov V. D., Yakovlev A. M., Titov R. S. Geoinformation technologies of block modeling for evaluation of qualitative indicators of minerals in the conditions of transitional processes of mining production. Bulletin of the FEB RAS, no. 1, pp. 38–47, 2021. (In Rus.)
3. Manikovsky P. M., Vasyutich L. A., Sidorova G. P. Methods of modeling ore deposits in GGIS. Bulletin of the Transbaikal State University, vol. 27, no. 2, pp. 6–14, 2021. (In Rus.)
4. Moлев M. D., Maslennikov S. A., Zanina I. A. Ecological safety of coal-mining regions: monograph. Mines: Institute of the Service Sector and Entrepreneurship branch of the DSTU. (In Rus.)
5. Novoselov S. V. The problem of assessing the technogenic impact on the environment by the leading countries in energy production and consumption. Coal, no. 2, pp. 48–50, 2020. (In Rus.)
6. Orlov P. M., Sychev V. G., Akanova N. I. Natural radionuclides in the soils of Russia and phosphate ores of the planet. Ministry of Agriculture, 2020, no. 4. Web. 16.10.2023. <https://cyberleninka.ru/article/n/estestvennyye-radionuklidy-v-pochvah-rossii-i-fosfatnyh-rudah-planety>. (In Rus.)
7. Sidorova G. P., Avdeev P. B., Yakimov A. A., Ovcharenko N. V., Manikovsky P. M. Monitoring of the state of the environment in the territories involved in the circulation of coals with a high content of natural radionuclides. Mining information and analytical bulletin, no. 12, pp. 102–113, 2019. (In Rus.)
8. Statistical Yearbook of World Energy. Web. 15.01.2023. <https://yeabook.ennerdata.ru>. (In Rus.)
9. Trubina L. K. Geoeological monitoring. Web. 15.06.2023. <https://search.rsl.ru/ru/search>. (In Rus.)
10. Yudovich Ya. E., Ketris M. P. Valuable elements-impurities in coals. Yekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2006. (In Rus.)
11. Yudovich Ya. E., Ketris M. P. Toxic elements- impurities in fossil coals: monograph. Yekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2005. (In Rus.)
12. 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, pp. 66–90, 2020. (In Eng.)
13. Daia S., Finkelman R. B. Coal as a promising source of critical elements: progress and future prospects. International Journal of Coal Geology, vol. 186, pp. 155–164, 2018. (In Eng.)

14. Ferian A., Hendra A., Agung H., Noely T. Th., Sahri A. A., Nur Asa Z. A. Rare earth element and yttrium content of coal in the Banko coalfield, South Sumatra Basin, Indonesia: Contributions from tonstein layers. *International Journal of Coal Geology*, vol. 196, pp. 159–172, 2018. (In Eng.).

15. 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, pp. 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, аспирант, ст. преподаватель, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия; manikovskiyrm@yandex.ru. Область научных интересов: геотехнология и геоэкология, математическое моделирование месторождений ТПИ, моделирование угольных и рудных месторождений, ГИС, САПР, геологическое моделирование.

Якимов Алексей Алексеевич, канд. техн. наук, доцент, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия; yaa76@yandex.ru. Область научных интересов: геотехнология и геоэкология горного производства.

Овчаренко Наталья Валерьевна, канд. техн. наук, доцент, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия; nataovharenko@mail.ru. Область научных интересов: геотехнология и геоэкология горного производства.

Information about authors

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

Manikovsky Pavel M., postgraduate, Senior Lecturer, Transbaikal State University, Chita, Russia; manikovskiyrm@yandex.ru. Research interests: geoecology and geotechnology, mathematical modeling of solid minerals deposits, modeling of coal and ore deposits, GIS, CAD, geological modeling.

Yakimov Aleksey A., candidate of technical sciences, associate professor, Transbaikal State University, Chita, Russia; yaa76@yandex.ru. Research interests: geotechnology and geoecology of mining.

Ovcharenko Natalia V., candidate of technical sciences, associate professor, Transbaikal State University, Chita, Russia; nataovharenko@mail.ru. Research interests: geotechnology and geoecology of mining.

Вклад авторов в статью

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

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

А. А. Якимов – полевые и лабораторные испытания, обработка результатов исследований, построение схем и графиков, написание текста.

Н. В. Овчаренко – полевые и лабораторные испытания, обработка результатов исследований, построение схем и графиков, написание текста.

The authors` contribution to the article

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

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

A. A. Yakimov – field and laboratory tests, processing of the research results, construction of diagrams and graphs, writing text.

N. V. Ovcharenko – field and laboratory tests, processing of the research results, construction of diagrams and graphs, writing text.

Для цитирования

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.

For citation

Sidorova G. P., Manikovsky P. M., Yakimov A. A., Ovcharenko N. V. Radiation and environmental safety assessment of fossil coals in Transbaikalia // *Bulletin of the Transbaikal State University*. 2023. Vol. 29, no. 2. P. 35–44. DOI: 10.2109/2227-9245-2023-29-2-36-44.