

УДК 622.5:543.3

DOI: 10.46698/h2232-1234-7742-a

Оригинальная статья

О распределении микроэлементов в водах действующих шахт Восточного Донбасса

А.В. Мохов 

Южный научный центр Российской академии наук,
Россия, 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41,
e-mail: mochov@ssc-ras.ru, mokhov_av@mail.ru

Статья поступила: 04.09.2025, доработана: 05.11.2025, принята к публикации: 07.11.2025

Резюме: Статья посвящена выявлению распределения в водах действующих угольных шахт Восточного Донбасса 9 микроэлементов. **Актуальность исследований** определяется необходимостью обобщения имеющихся данных для обоснования мер по ослаблению вредного влияния шахтных вод на экологическую обстановку, а также возможности использования полученной информации для поисков и разведки рудных объектов. **Цель исследований.** Совершенствование научных основ прогнозирования химического состава вод угольных шахт и методики поисковых и разведочных работ в регионе. **Методы исследований.** Условия накопления 9 микроэлементов и их распределения в шахтных водах Восточного Донбасса исследованы общенаучными и статистическими методами. **Результаты исследований.** Выявлено распределение *Pb, Cd, Ni, Co, Mo, V, Zn, Cu, Cr*, проведено их сравнение в регионе в целом и отдельных его геолого-промышленных районах. Содержание микроэлементов распределено мозаично на площади. Наиболее насыщены воды НГПР, ШГПР и ГЗГПР, минимально – КГГПР, БКГПР. Повсеместно распространены *Pb, Zn, Cu, Mo, Cr, Ni*. Ряд элементов (*Cd, V*) распространен весьма незначительно. Накоплению микроэлементов благоприятствует в общем случае кислотная реакция воды – результат окисления сульфидов массива. Обнаружена как прямая, так и обратная корреляция содержаний отдельных микроэлементов между собой, что отражает возможность совместного поступления их в воду и уход ряда из них отсюда. Имеется специализация ГЗГПР на *Zn, Cu, Ni, Co, V*; КГГПР на *Mo*; НГПР на *Ni, Cd, Co, Cr*. Повышенные содержания ряда микроэлементов тяготеют к участкам интрузий магматических пород и крупным разрывным нарушениям. Сопряженность указывает на вероятность присутствия полиметаллического оруденения. Эти выводы представляют интерес для геоэкологической реабилитации территории и поисков руд. Перспективы обнаружения рудных залежей связаны с участками концентрации магматических тел, а также повышенных содержаний в шахтных и подземных водах рассмотренного комплекса микроэлементов на юге региона.

Ключевые слова: действующие шахты, шахтные воды, химический состав, микроэлементы, распространение, закономерности, Восточный Донбасс.

Благодарности: Публикация подготовлена в рамках реализации государственного задания ЮНЦ РАН, № госрегистрации 125011700412-6.

Для цитирования: Мохов А.В. О распределении микроэлементов в водах действующих шахт Восточного Донбасса. *Геология и геофизика Юга России*. 2025. 15(4). С. 8–16. DOI: 10.46698/h2232-1234-7742-a

DOI: 10.46698/h2232-1234-7742-a

Original paper

On the distribution of microelements in the waters of operating mines in the Eastern Donbass

A.V. Mokhov 

Southern Scientific Centre, Russian Academy of Sciences, 41 Cekhov Ave.,
Rostov-on-Don 344006, Russian Federation, e-mail: mochov@ssc-ras.ru, mokhov_av@mail.ru

Received: 04.09.2025, revised: 05.11.2025, accepted: 07.11.2025

Abstract: The article investigates the distribution of 9 microelements in the mine waters of operating coal mines in the Eastern Donbass. **Relevance of the research** is determined by the need to summarize the available data to substantiate measures to mitigate the harmful effects of mine waters on the environment, as well as the possibility of using the obtained information for prospecting and exploration of ore deposits. **Aim.** Improving the scientific basis for predicting the chemical composition of coal mine waters and the methodology for prospecting and exploration in the region. **Methods.** The conditions governing the accumulation and distribution of the nine trace elements in the mine waters of the Eastern Donbass were studied using general scientific and statistical methods. **Results.** The distribution of *Pb, Cd, Ni, Co, Mo, V, Zn, Cu, Cr* was identified and compared across the region as a whole and within its individual geological and industrial regions. The content of microelements is distributed mosaically over the area. The most saturated waters are NGIR, SHGIR and GZGIR, the least – KGGIR, BKGIR. *Pb, Zn, Cu, Mo, Cr, Ni* are widespread. A number of elements (*Cd, V*) are very insignificantly distributed. Accumulation of trace elements is generally favored by the acid reaction of water, which is the result of oxidation of sulfides in the massif. Both direct and inverse correlations between the contents of individual trace elements have been found, which reflects the possibility of their co-migration into the water and the removal of some of them from it. There is a specialization of GZGIR for *Zn, Cu, Ni, Co, V*; KGGIR for *Mo*; NGIR for *Ni, Cd, Co, Cr*. Elevated contents of a number of trace elements tend to be found in areas of igneous rock intrusions and large faults. This spatial correlation suggests the potential presence of polymetallic mineralization. These findings are of interest for the geoecological rehabilitation of the territory and for ore prospecting. The prospects for discovering ore deposits are associated with areas of concentration of magmatic bodies, as well as elevated contents of the considered complex of microelements in mine and underground waters in the south of the region.

Keywords: active mines, mine waters, chemical composition, microelements, distribution, patterns, Eastern Donbass.

Acknowledgements: The work was carried out within the framework of realization of the state assignment of SSC RAS, state registration No. 125011700412-6.

For citation: Mokhov A.V. On the distribution of microelements in the waters of operating mines in the Eastern Donbass. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2025. 15(4): 8–16. DOI: 10.46698/h2232-1234-7742-a

Введение

Выявление закономерностей формирования химического состава шахтных вод расширяет возможности для его прогнозирования и регулирования, решения других задач. Эти вопросы являются предметом обширных исследований [Назарова, 1968; Кравцов, 1968; Гавришин, 2020; Rybnikova, Rybnikov, 2020; Металлогенический..., 2022; Мохов, 2024].

Формирование химического типа подземных, включая шахтные, вод традиционно связывается с составом водовмещающих породных массивов, различными физико-химическими процессами и проч. [Посохов, 1975]. В Донецком бассейне, помимо повышенного содержания в угле сульфидной серы (свыше 2,5 %), необходим свободный сток воды из горных выработок [Докукин, Докукина, 1950]. Все большее значение придается углубленным исследованиям взаимодействия подземных вод с минеральными компонентами массива [Кизильштейн, 2002]. Развиваются теоретические основы формирования состава с использованием полученных результатов для оценки экологических последствий эксплуатации [Kursun, Terzi, 2018; Finkelman et al., 2018; Han et al., 2019; Dai et al., 2019; Хорошевская, 2022; Cao et al., 2020; 2023; Sun et al., 2020; Zhu et al., 2024; Куликова и др., 2020].

Вместе с тем рассматриваемая тема остается недостаточно исследованной в отношении макрокомпонентов и, тем более, микроэлементов, что в полной мере относится к условиям Восточного Донбасса. К началу 1980-х гг. в шахтных водах Донбасса обнаружено присутствие не менее 30 микроэлементов [Горшков, 1981].

Настоящая публикация посвящена изучению микроэлементного состава вод шахт региона в начале–середине 1980-х гг., когда количество действующих шахт исчислялось многими десятками. Привлечение большего объема фактических данных способствует решению вопроса.

Интерес к микроэлементному составу усиливается возможностью использования сделанных выводов для поиска здесь залежей других полезных ископаемых, прежде всего, руд гидрогеохимическим методом.

Настоящая публикация направлена на выявление общих особенностей распределения в регионе *Pb, Cd, Ni, Co, Mo, V, Zn, Cu, Cr* как геоэкологически опасных и потенциально связанных с рудными залежами.

Материал и методы исследований

Использованы результаты анализа микроэлементного состава шахтных вод 40 угольных шахт Восточного Донбасса из отчетов и публикаций института ВНИИОСуголь и других специализированных организаций, а также материалы автора. Применены корреляционный анализ данных и другие способы обработки информации.

Результаты исследований и их обсуждение

Исследование проведено для геолого-промышленных районов: Каменско-Гундоровского (КГГПР), Гуково-Зверевского (ГЗГПР), Белокалитвинского (БКГПР), Шахтинско-Несветаевского с выделением его Шахтинской (ШГПР) и Новошахтинской (НГПР) частей. Это деление имеет основания, связанные с естественными факторами [Мохов, 2024].

Шахтные воды образуются главным образом из подземных вод минерализацией 2 г/дм³. Формирование химического состава протекает в условиях контакта воды с углепородной массой, проветривания горных выработок, регулярного отведения воды отсюда. Анализы шахтных вод на 17 микроэлементов, включая рассматриваемый набор, показали регулярное присутствие большинства из них в водах шахт [Мохов, 2024].

Углевмещающая толща среднего карбона сложена алевролитами, аргиллитами, песчаниками, известняками, содержит интрузии магматических пород. Угольные

пласты разрабатываются в широких синклиналиях, разделенных узкими антиклиналями, в сводах которых концентрируются продольные разрывы-разломы надвигового типа. Ведущее значение для перехода в воду минеральных веществ имеет высокое содержание сульфидной серы в массиве. Он содержит распространенные и акцессорные минералы с рассматриваемыми микроэлементами. Наличие карбонатов в рассеянном виде и слоев известняков влияет на переход минеральных компонентов массива в шахтный водный объект и уход из него.

КГГПР и часть БКГПР находятся в пределах северной зоны мелкой складчатости, слабо нарушены разрывами. ГЗГПР расположен в пределах Сулино-Садкинской синклинали и Главной антиклинали с разломами, включая Сулино-Константиновский, НГПР и ШГПР – в Шахтинско-Несветаевской синклинали между ним и Персияновским разломом.

На рисунке 1 показаны области распространения водных объектов действующих шахт и элементы геологической обстановки региона.

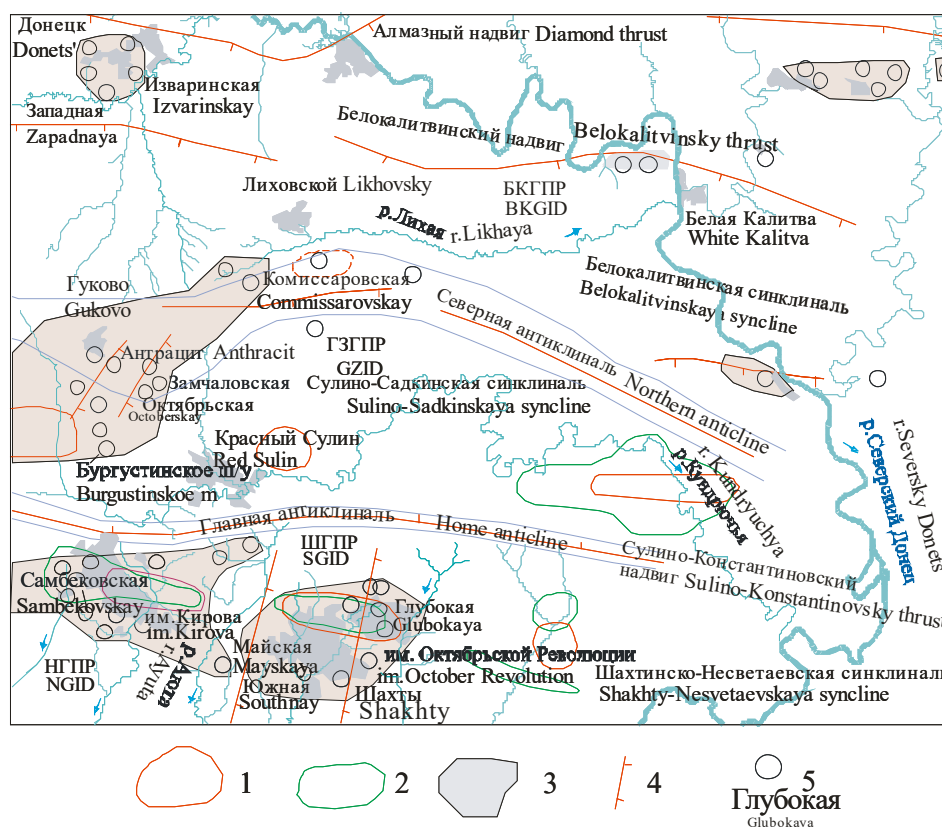


Рис. 1. Схема распространения исследуемых микроэлементов в шахтных водах и элементы геологического строения Восточного Донбасса.

- 1 – Площадь распространения магматических пород Миусско-керчикского лампрофирового комплекса (Парада и др., 2022); 2 – Площадь распространения магматических пород Несветаевского андезит-дацитового комплекса (Парада и др., 2022); 3 – Площадь распространения исследуемых микроэлементов в шахтных водах (1980-е гг.); 4 – Крупные разрывные нарушения; 5 – Угольная шахта и ее название /

Fig. 1. Scheme of distribution of the studied microelements in mine waters and elements of the geological structure of the Eastern Donbass.

- 1 – The area of distribution of igneous rocks of the Mius-Kerchik lamprophyre complex (Parada et al., 2022); 2 – The area of distribution of igneous rocks of the Nesvetaevsky andesite-dacite complex (Parada et al., 2022); 3 – Distribution area of the studied microelements in mine waters (1980s); 4 – Large rupture faults; 5 – Coal mine and its name

Характерна в разной степени повсеместная зараженность вод *Pb*, *Zn*, *Cu*, *Mo*, *Cr*, *Ni*. Концентрации *Pb* и *Co* низки во всех районах. Распространен незначительно (и) или в малых концентрациях на шахтах НГПР *Cd*, минимально *V* (практически отсутствует в НГПР, ШГПР, БКГПР).

Повышенными содержаниями микроэлементов (в скобках – максимум содержания, мг/дм³) выделяются воды шахт (ш.) и шахтоуправлений (ш/у): *Pb* в ГЗГПР ш. Ростовская (0,03), КГГПР – ш. Западная (0,021); ШГПР – ш. им. Октябрьской Революции (0,08); НГПР – ш. им. Кирова (0,017); *Cd* в ГЗГПР – шш. Антрацит, Октябрьская (до 0,02); КГГПР – ш. Центральная (до 0,02), НГПР – ш. Майская (0,045), ШГПР – ш. им. Октябрьской Революции (0,016); *Ni* в ГЗГПР – ш. Октябрьская (0,227), КГГПР – ш. Донецкая (0,031), ШГПР – ш. им. Октябрьской Революции (0,06), НГПР – ш. Самбековская (свыше 0,274); *Zn* в ГЗГПР – ш. Комиссаровская (8,10), КГГПР – ш. Западная (0,23), ШГПР – ш. Глубокая (0,48), НГПР – ш. им. Кирова (свыше 0,50); *Cu* в ГЗГПР – ш. Бургустинская (свыше 0,2), КГГПР – ш. Изваринская (0,017), ШГПР – шш. им. Октябрьской Революции и Глубокая (по 0,017), НГПР – ш. им. Кирова (0,102); *Mo* в ГЗГПР – ш/у Бургустинское (0,032), КГГПР – Гундоровская (0,028), ШГПР – ш. Глубокая (0,032), НГПР – ш. Майская (0,035); *Co* в ГЗГПР шш. Бургустинская (0,2), Комиссаровская (0,178), НГПР – ш. им. Кирова (0,118), ШГПР – ш. Наклонная (0,022); *Cr* в ГЗГПР – ш/у Бургустинское (0,073), КГГПР – Западная (0,031), НГПР – ш. Самбековская (0,182), ШГПР – ш. Южная (0,053); *V* в ГЗГПР – ш/у Бургустинское (0,018), НГПР – ш. Майская (0,004).

Максимальные содержания микроэлементов составляют: *Pb* 0,08 (ШГПР); *Zn* 8,10, *Cu* свыше 0,2, *V* 0,018 (ГЗГПР); *Ni* 0,274, *Cd* 0,045, *Co* 0,118, *Cr* 0,182 (НГПР); *Mo* 0,028 (КГГПР) мг/дм³. Таким образом, ведущие позиции занимают НГПР (4), ГЗГПР (3), минимум – у ШГПР и КГГПР (по 1) и БКГПР (0).

Характерно пятнистое распределение содержаний внутри районов с коэффициентом концентрации до 405 относительно локального минимума.

Выделяются относительно высоким (мг/дм³) для конкретного района, одновременным присутствием нескольких микроэлементов отдельные шахты: *Cd* (0,016), *Pb* (0,08), *Ni* (0,006), *Cu* (0,017) – им. Октябрьской Революции в ШГПР; *Cr* (0,073), *Cu* (свыше 0,2), *Mo* (0,032), *V* (0,018) – Бургустинская и ш/у Бургустинское в ГЗГПР; *Pb* (0,017), *Zn* (свыше 0,50), *Cu* (0,102), *Co* (0,118) – им. Кирова в НГПР; *Cr* (0,031), *Pb* (0,021), *Zn* (0,23) – Западная в КГГПР; *Cd* (0,045), *Mo* (0,035), *V* (0,004) – Майская в НГПР; *Zn* (0,48), *Cu* (0,017), *Mo* (0,032) – Глубокая в ШГПР; *Zn* (8,10) и *Co* (0,178) – Комиссаровская и ш/у Комиссаровское в ГЗГПР; *Cd* (до 0,02), *Ni* (0,227) – Октябрьская в ГЗГПР; *Ni* (свыше 0,274), *Cr* (0,182) – Самбековская в НГПР.

Выделяются шахты-концентраторы нескольких микроэлементов: им. Октябрьской Революции и соседняя с ней Глубокая в ШГПР; близкорасположенные Майская и им. Кирова в НГПР, находящиеся друг от друга по простиранию слоев; в ГЗГПР извлекающие один и тот же пласт соседние ш/у Бургустинское и Бургустинская; в КГГПР Западная.

Выражена специализация районов на микроэлементы: ГЗГПР: на *Zn* 8,10; *Cu* свыше 0,2; *Ni* 0,227; *Co* 0,087; *V* 0,018; КГГПР: на *Mo* 0,028; НГПР: на *Ni* 0,274; *Cd* 0,045; *Co* 0,118; *Cr* 0,182 мг/дм³.

Коэффициенты парной корреляции содержаний микроэлементов сильно варьируют. Корреляция с содержанием *Pb* имеет абсолютную величину коэффициентов от 0,036 до 0,907. Они составляли максимум и показывали вполне значимую

связь в ГЗГПР – с *Cu* 0,509, *Mo* минус 0,682; в КГГПР *Zn* минус 0,700, *Cd* минус 0,882, *Co* 0,907, *Mo* минус 0,862; в ШГПР *Cd* 0,612, *Ni* 0,832; в НГПР *Zn* 0,619, *Cu* 0,754. Коэффициенты корреляции *Zn* составляли: в ГЗГПР – с *Cu* 0,509; в КГГПР с *Cu* минус 0,653; в ШГПР с *Cu* минус 0,744, с *Cd* 0,849. Коэффициенты корреляции: *Cu* с *Cd*; в КГГПР минус 0,708; в ШГПР минус 0,608; в БКГПР минус 0,615; *Ni* с *Co*; в ГЗГПР 0,532; в БКГПР 0,477; *Co* с *Mo* минус 0,859 в КГГПР; *Mo* с *V* в ГЗГПР 0,599; КГГПР 0,602; НГПР 0,622.

Анализ свидетельствует об ограниченности количества значимых связей содержаний, наличии как прямой, так и обратной корреляции микроэлементов. Прямая связь указывает, как правило, на сопоставимость интенсивности перехода микроэлементов в водную среду и сохранности здесь и вполне пропорциональном нарастании их концентраций. Обратная связь отражает развитие вторичного минералообразования с дифференцированным в пространстве уходом из воды элементов.

В целом кислая реакция воды порождает активное выщелачивание горного массива и устойчивость многих микроэлементов в таком растворе. Кислотная обстановка характерна для региона, преобладая, в частности, на юге и западе (в НГПР, ШГПР, ГЗГПР).

Так, в КГГПР преобладают пониженные значения связи содержаний *Zn*, *Cd*, *Co*, *Mo* с *Pb*, имеется отрицательная корреляция с ним, отсутствие либо низкие концентрации последних. Низкие содержания микроэлементов в условиях высокого содержания серы общей (1,6–6,0, при преобладании 5,0 %) порождены взаимодействием продуктов окисления с горными породами.

Указанием на историю компонентов является вывод о существенной обратной зависимости содержаний сульфат- и гидрокарбонат-ионов во всех районах, особенно, ШГПР (минус 0,76), НГПР (минус 0,61), КГГПР (минус 0,60). Важнейшими являются замена сульфат-ионов гидрокарбонат-ионами (реакция Гильгардта), превращение кислых вод в нейтральные и щелочные с уходом ряда макро- и микрокомпонентов из них.

В КГГПР этому способствует повышенная карбонатность массива, относительно слабый метаморфизм горных пород. Вследствие неблагоприятности местных условий только в выработках некоторых шахт ГЗГПР и ШГПР создается возможность накопления как отдельных, так и нескольких микроэлементов, хотя сернистость угля здесь превосходит 2,5 %.

Разнообразие состава и содержаний отражает в целом автономность формирования отдельных шахтных объектов (их групп), отсутствие заметного водообмена между ними. Расположение районов в основном вкрест простиранию слоев в условиях подчиненного развития поперечных разрывных нарушений является препятствием для него. Фактором формирования состава служит влияние магматических горных пород.

Такие тела встречались на шахтах, скважинах, в обнажениях НГПР, ШГПР и, напротив, отсутствовали (не распознавались?) в выработках шахт КГГПР, ГЗГПР и БКГПР. Их проявления в НГПР и ШГПР объединены специалистами ПГО «Южгеология» в Несветаевский андезит-трахиандезитовый (андезит-дацитовая ассоциация), в ГЗГПР Миусско-керчикский лампрофировый кислого и среднего состава (базальт-риолитовая и базальт-лампрофировая ассоциации) частично наложенные друг на друга комплексы юрского возраста с рудной минерализацией [Парада и др., 2022].

Магматические тела тяготеют к осям крупнейших антиклиналей и протягивающимся вдоль них разломам: Персияновскому в Южной антиклинали, к Главной антиклинали и Сулино-Константиновскому разлому и содержат свинцовую, цинковую, медную, золотосеребряную рудную минерализацию. Отметим, что к западу от региона в своде Главной антиклинали вдоль сместителей разрывных нарушений известно полиметаллическое оруденение (Нагольный кряж, Никитовка).

Указанная минерализация выявлена ПГО «Южгеология» в НГПР, ШГПР, ГЗГПР. Размещение крупных разрывных нарушений и рудно-магматических систем, проявлений интрузивных пород приведено на рисунке 1 с учетом [Парада и др., 2022]. Сопоставление площадей развития интрузий, крупных разрывов, рудно-магматических систем и распространения тех или иных микроэлементов в шахтных водах показывает их частичное наложение.

Повышенное содержание микроэлементов в водах пшш. Майская и Глубокая коррелируется с наличием интрузий. Набор компонентов высокой распространенности типичен для проявлений ценных рудных тел полиметаллов, что позволяет рассчитывать на их обнаружение.

Выводы

Химические анализы шахтных вод действовавших в 1980-х гг. шахт Восточного Донбасса показали содержание *Pb, Cd, Ni, Co, Mo, V, Zn, Cu, Cr* от долей до нескольких миллиграммов в литре воды, их мозаичное распределение на площади региона. Наиболее насыщены воды НГПР, ШГПР и ГЗГПР, минимально – КГГПР, БКГПР. Повсеместно распространены *Pb, Zn, Cu, Mo, Cr, Ni*. Концентрации *Pb* и *Co* в целом низки. Распространен весьма незначительно в НГПР *Cd*, практически отсутствует в НГПР, ШГПР, БКГПР *V*. Обнаружена как прямая, так и обратная связь содержаний элементов между собой. Имеется специализация ГЗГПР на *Zn, Cu, Ni, Co, V*; КГГПР на *Mo*; НГПР на *Ni, Cd, Co, Cr*.

Повышенные содержания тяготеют к участкам сочетаний интрузий магматических пород и крупных разрывных нарушений в сводах антиклиналей и связаны с присутствием полиметаллического оруденения.

Перспективы обнаружения руд связаны с этими участками, прежде всего, в пределах Южной антиклинали. Динамизм содержания не исключает изучения площадей с невыясненным присутствием магматических пород.

Выводы публикации представляют интерес для геоэкологической реабилитации территории и поисков различных руд в регионе.

Литература

1. Гавришин А.И. Шахтные воды и управление качеством грунтовых вод в Восточном Донбассе. // Геология и геофизика Юга России. – 2020. – Т. 10. № 3. – С. 127–138. DOI: 10.46698/VNC.2020.62.81.008.
2. Горшков В.А. Очистка и использование сточных вод предприятий угольной промышленности. М.: Недра, 1981. – 269 с.
3. Докукин А.В., Докукина Л.С. Возникновение кислотных рудничных вод и борьба с ними. М.-Л.: Углетехиздат, 1950. – 332 с.
4. Кизильштейн Л.Я. Экогеохимия элементов-примесей в углях. Ростов н/Д: СКНЦ ВШ, 2002. – 296 с.
5. Кравцов А.И. Геологические условия газоносности угольных, рудных и нерудных месторождений полезных ископаемых. М.: Недра, 1968. – 330 с.

6. Парада С.Г., Давыденко Д.Б., Мохов А.В., Рыбин И.В., Трощенко В.В., Гамбург К.Ю. Металлогенический анализ Донбасса на основе современных геофизических данных. // Труды Южного научного центра РАН. Ростов н/Д: ЮНЦ РАН, – 2022. – С. 78–93.
7. Мохов А.В. Микроэлементы в водах действующих шахт Восточного Донбасса. // Геология и геофизика Юга России. – 2024. – Т. 14. № 4. – С. 6–15. DOI: 10.46698/VNC.2024.36.66.002.
8. Назарова Л.Н. Шахтные воды восточной части Донбасса и некоторые вопросы происхождения их химического состава. // Гидрохимические материалы. – 1968. – Т. 47. – С. 99–109.
9. Посохов Е.В. Общая гидрохимия. Л.: Недра, 1975. – 208 с.
10. Куликова А.А., Сергеева Ю.А., Овчинникова Т.И., Хабарова Е.И. Формирование шахтных вод и анализ способов их очистки. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 6 – С. 135–145. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-7-0-135-145.
11. Хорошевская В.О. Сравнительная характеристика микроэлементного состава речных вод, дренирующих Донецкий и Кузбасский угольные бассейны. // Международный научно-исследовательский журнал – 2022. – № 5(119). Часть 1. – С. 124–134. DOI: 10.23670/IRJ.2022.119.5.062.
12. Cao Q., Yang L., Ren W. et al. Spatial distribution of harmful trace elements in Chinese coalfields: an application of WebGIS technology. // Science of the Total Environment. – 2020. – Vol. 755. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.
13. Cao Q., Yang L., Qian Ya., Chen S. Dissolution of harmful trace elements from coal and the environmental risk to mine water utilization. // Environmental Science and Pollution Research. – 2023. – Vol. 30. No. 3. – pp. 7786–7800. DOI: 10.1007/s11356-022-22530-x.
14. Dai S., Hower J.C., Finkelman R.B., Graham I.T., French D., Ward C.R. et al. Organic associations of non-mineral elements in coal: A review. // International Journal of Coal Geology. – 2019. – Vol. 185. No. 1. DOI: 10.1016/j.coal.2019.
15. Finkelman R.B., Plamer C.A., Wang P. Quantification of the modes of occurrence of 42 elements in coal. // International Journal of Coal Geology. – 2018. – Vol. 185. – pp. 138–160. DOI: 10.1016/j.coal.2017.09.005.
16. Han Z., Zhang F., Yao H. et al. Change of regional water chemistry driven by group coal mining in Changzhi basin, Shanxi, China. // E3S Web of Conferences. – 2019. – Vol. 98. DOI: 10.1051/e3sconf/20199809001.
17. Kursun I., Terzi M. Distribution of trace elements in coal and coal fly ash and their recovery with mineral processing practices: A review. // Journal of Mining & Environment. – 2018. – Vol. 9. No. 3. – pp. 641–655. DOI: 10.22044/jme.2018.6855.1518.
18. Rybnikova L.S., Rybnikov P.A. Pit Lake and Drinking Water Intake: Example of Coexistence (Middle Urals, Russia). // Mine Water and the Environment. – 2020. – Vol. 39. – pp. 464–472. DOI: 10.1007/s10230-020-00691-w.
19. Sun Y., Xiao K., Wang X. et al. Evaluating the distribution and potential ecological risks of heavy metal in coal gangue. // Environmental Science and Pollution Research. – 2020. – Vol. 28. No. 15. – pp. 18604–18615. DOI: 10.1007/s11356-020-11055-w.
20. Zhu Y., Zheng L., Chen X., Chen Y. Speciation Characteristics and Contamination Degree of Trace Elements in Coal Gangue Hill of a Mining Area in Huainan Coalfield, China. // Polish Journal of Environmental Studies. – 2024. – Vol. 33. No. 2. – pp. 1981–1989. DOI: 10.15244/pjoes/174397.

References

1. Gavrishin A.I. The mine waters and the management of groundwater pollution in the Eastern Donbass. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2020. Vol. 10. No. 3. pp. 127–138. DOI: 10.46698/VNC.2020.62.81.008. (In Russ.)
2. Gorshkov V.A. Treatment and use of wastewater from coal industry enterprises. Moscow. Nedra. 1981. 269 p. (In Russ.)

3. Dokukin A.V., Dokukina L.S. The emergence of acidic mine waters and the fight against them. Moscow-Leningrad. Ugletekhizdat. 1950. 332 p. (In Russ.)
4. Kizilshtein L.Ya. Ecogeochemistry of impurity elements in coals. Rostov-on-Don. SKNC VSh. 2002. 296 p. (In Russ.)
5. Kravtsov A.I. Geological conditions of gas content of coal, ore and non-metallic mineral deposits. Moscow. Nedra. 1968. 330 p. (In Russ.)
6. Parada S.G., Davydenko D.B., Mokhov A.V., Rybin I.V., Troshchenko V.V., Hamburg K.Yu. Metallogenic analysis of Donbass based on modern geophysical data. Proceedings of the Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. Rostov-on-Don Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2022. pp. 78–93. (In Russ.)
7. Mokhov A.V. Microelements in the waters of operating mines in the Eastern Donbass. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2024. Vol. 14. No. 4. pp. 6–15. DOI: 10.46698/VNC.2024.36.66.002. (In Russ.)
8. Nazarova L.N. Mine waters of the eastern part of Donbass and some issues of the origin of their chemical composition. *Hydrochemical materials*. 1968. Vol. 47. pp. 99–109. (In Russ.)
9. Posokhov E.V. General hydrochemistry. Leningrad. Nedra. 1975. 208 p. (In Russ.)
10. Kulikova A.A., Sergeeva Yu.A., Ovchinnikova T.I., Khabarova E.I. Formation of mine waters and analysis of their purification methods. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2020. No. 7. pp. 135–145. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-7-0-135-145. (In Russ.)
11. Khoroshevskaya V.O. Comparative characteristics of the microelement composition of river waters draining the Donetsk and Kuzbass coal basins. *International Research Journal* 2022. No. 5(119). Part 1. pp. 124–134. DOI: 10.23670/IRJ.2022.119.5.062. (In Russ.)
12. Cao Q., Yang L., Ren W. et al. Spatial distribution of harmful trace elements in Chinese coalfields: an application of WebGIS technology. *Science of the Total Environment*. 2020. Vol. 755. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.
13. Cao Q., Yang L., Qian Ya., Chen S. Dissolution of harmful trace elements from coal and the environmental risk to mine water utilization. *Environmental Science and Pollution Research*. 2023. Vol. 30. No. 3. pp. 7786–7800. DOI: 10.1007/s11356-022-22530-x.
14. Dai S., Hower J.C., Finkelman R.B., Graham I.T., French D., Ward C.R. et al. Organic associations of non-mineral elements in coal: A review. *International Journal of Coal Geology*. 2019. Vol. 185. No. 1. DOI: 10.1016/j.coal.2019.
15. Finkelman R.B., Plamer C.A., Wang P. Quantification of the modes of occurrence of 42 elements in coal. *International Journal of Coal Geology*. 2018. Vol. 185. pp. 138–160. DOI: 10.1016/j.coal.2017.09.005.
16. Han Z., Zhang F., Yao H. et al. Change of regional water chemistry driven by group coal mining in Changzhi basin, Shanxi, China. *E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 98. DOI: 10.1051/e3sconf/20199809001.
17. Kursun I., Terzi M. Distribution of trace elements in coal and coal fly ash and their recovery with mineral processing practices: A review. *Journal of Mining & Environment*. 2018. Vol. 9. No. 3. pp. 641–655. DOI: 10.22044/jme.2018.6855.1518.
18. Rybnikova L.S., Rybnikov P.A. Pit Lake and Drinking Water Intake: Example of Coexistence (Middle Urals, Russia). *Mine Water and the Environment*. 2020. Vol. 39. pp. 464–472. DOI: 10.1007/s10230-020-00691-w.
19. Sun Y., Xiao K., Wang X. et al. Evaluating the distribution and potential ecological risks of heavy metal in coal gangue. *Environmental Science and Pollution Research*. 2020. Vol. 28. No. 15. pp. 18604–18615. DOI: 10.1007/s11356-020-11055-w.
20. Zhu Y., Zheng L., Chen X., Chen Y. Speciation Characteristics and Contamination Degree of Trace Elements in Coal Gangue Hill of a Mining Area in Huainan Coalfield, China. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2024. Vol. 33. No. 2. pp. 1981–1989. DOI: 10.15244/pjoes/174397.