

УДК 622.5:543.3

DOI: 10.46698/VNC.2023.97.79.015

Оригинальная статья

Минерагенический аспект накопления сульфат- и гидрокарбонат-ионов в шахтных водах (на примере Восточного Донбасса)

А.В. Мохов 

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

Статья поступила: 09.10.2023, доработана: 27.11.2023, принята к публикации: 30.11.2023

Резюме. Статья посвящена выявлению причин накопления в водах угольных шахт западной части Восточного Донбасса сульфат- и гидрокарбонат-ионов. **Актуальность исследований** определяется необходимостью ослабления вредного влияния химического состава шахтных вод на добычу угля и экологическую обстановку. **Цель исследований.** Совершенствование научных основ формирования и прогнозирования химического состава шахтных вод угольных шахт. **Методы исследований.** Исследование данных о химическом составе шахтных вод, минералогический анализ обстановки его формирования известными общенаучными методами, корреляционный анализ материалов по западной части Восточного Донбасса. **Результаты исследований:** Шахтные воды региона резко отличаются от подземных вод повышенным содержанием ряда компонентов химического состава. Высокие содержания сульфат-ионов в воде традиционно связываются с окислением сульфидов горного массива. В ряде районов Восточного Донбасса обнаружены статистические взаимосвязи содержаний отдельных компонентов состава воды, связь их с сернистостью угля. Повышенные содержания кальция и натрия вызваны выщелачиванием пород серной кислотой – продуктом окисления сульфидов. Высокими значениями коэффициента парной корреляции характеризуется связь содержания сульфат-ионов и серы, кальция и сульфат-ионов, кальция и серы общей. Связь содержаний гидрокарбонат- и сульфат-ионов имеет стабильно обратный характер. Эти данные позволяют сделать вывод о наличии причинно-следственной природы указанных связей. Подтверждена связь генерации сульфат-ионов с окислением сульфидов. Взаимодействие серной кислоты с горными породами продуцирует появление углекислого газа и сульфат-ионов, что способствует появлению в воде гидрокарбонат-ионов. Поступление и накопление гидрокарбонат-ионов происходит по реакции Е. Гильгарда. Происходит как поступление в воду отдельных химических компонентов, так и уход их из воды. Различие химического состава шахтных вод в регионе объясняется суммарным действием таких минералогических факторов как повышенное присутствие сульфидов и карбонатов в горном массиве, разное, от низкого до высокого, содержание в нем углекислого газа и углеводородных газов.

Ключевые слова: шахтные воды, химический состав, сульфат-ионы, гидрокарбонат-ионы, Восточный Донбасс, генезис

Благодарности: Работа выполнена в рамках реализации Государственного задания ЮНЦ РАН, № Г.р. 122020100345-8.

Для цитирования: Мохов А.В. Минерагенический аспект накопления сульфат- и гидрокарбонат-ионов в шахтных водах (на примере Восточного Донбасса). *Геология и геофизика Юга России*. 2023. 13(4): 188-197. DOI: 10.46698/VNC.2023.97.79.015

DOI: 10.46698/VNC.2023.97.79.015

Original paper

Mineragenic aspect of the accumulation of sulfate and hydrocarbonate ions in mine waters (on the example of Eastern Donbass)

A.V. Mokhov 

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

Received: 09.10.2023, revised: 27.11.2023, accepted: 30.11.2023

Abstract: Relevance. The article is devoted to identifying the reasons for the accumulation of sulfate and bicarbonate ions in the waters of coal mines in the western part of Eastern Donbass. **Relevance.** It is determined by the need to mitigate the harmful effects of the chemical composition of mine waters on coal mining and the environmental situation. **Aim.** Improving the scientific basis for the formation and prediction of the chemical composition of mine waters in coal mines. **Methods.** Research of data on the chemical composition of mine waters, mineralogical analysis of the situation of its formation using well-known general scientific methods, correlation analysis of materials from the western part of Eastern Donbass. **Results.** Mine waters in the region differ sharply from groundwater in the increased content of a number of components of their chemical composition. High contents of sulfate ions in water are traditionally associated with the oxidation of sulfides in the rock massif. In a number of areas of Eastern Donbass, statistical relationships were discovered between the content of individual components of the water composition and their connection with the sulfur content of coal. Elevated calcium and sodium contents are caused by leaching of rocks with sulfuric acid, a product of sulfide oxidation. High values of the pair correlation coefficient characterize the relationship between the content of sulfate ions and sulfur, calcium and sulfate ions, calcium and total sulfur. The relationship between the contents of bicarbonate and sulfate ions is consistently inverse. These data allow us to conclude that these relationships have a cause-and-effect nature. The connection between the generation of sulfate ions and the oxidation of sulfides has been confirmed. The interaction of sulfuric acid with rocks produces the appearance of carbon dioxide and sulfate ions, which contributes to the appearance of bicarbonate ions in water. The entry and accumulation of bicarbonate ions occurs according to the E. Hilgard reaction. Both individual chemical components enter the water and leave the water. The difference in the chemical composition of mine waters in the region is explained by the cumulative effect of such mineralogical factors as the increased presence of sulfides and carbonates in the mountain range, and the varied content of carbon dioxide and hydrocarbon gases in it, from low to high.

Keywords: mine waters, chemical composition, sulfate ions, hydrocarbonate ions, Eastern Donbass, genesis

Acknowledgements: *The work was carried out as part of the implementation of the state task of the UNC RAS, state registration number of the project 122020100345-8.*

For citation: Mokhov A.V. Mineragenic aspect of the accumulation of sulfate and hydrocarbonate ions in mine waters (on the example of Eastern Donbass). *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South.* (in Russ.). 2023. 13(4): 188-197. DOI: 10.46698/VNC.2023.97.79.015

Введение

Воды угольных шахт имеют значительную минерализацию и высокие содержания многих компонентов, стабильно превосходя в этом отношении материнские природные подземные воды. Выявление процессов формирования шахтных вод создает возможности для прогнозирования и регулирования их состава, использования как попутных полезных ископаемых.

Формирование химического типа шахтных вод связывают с составом водовмещающих пород и естественных флюидов недр [Посохов, 1975]. Состав шахтных вод является во многом результатом скоротечных преобразований материнских вод в ходе геохимических процессов в горных выработках. Помимо минералогических значительное влияние оказывают также техногенные факторы и деятельность различных микроорганизмов.

Механизмы поступления в шахтные воды и причины существенного накопления в них многих макрокомпонентов, как и ход геохимических процессов, остаются неясными и дискуссионными. Прежде всего это относится к гидрокарбонат-ионам. Определенна ситуация с сульфат-ионами.

С химической точки зрения их появление в повышенном количестве легко объяснимо: они являются одним из продуктов окисления сульфидов (преимущественно пирита) массива горных пород под влиянием деятельности тионовых бактерий и контакта частиц этих минералов с кислородом воздуха и водной среды. Результатом этих реакций служит появление в воде серной кислоты и сульфата железа.

По данным специальных исследований [Докукин и др., 1950], предпосылкой повышенных концентраций сульфат-ионов в шахтных водах Донбасса является высокое содержание в угле серы (свыше 2,5 %) и ряд других факторов. Предел накоплению сульфат-ионов ставит выщелоченность сульфидов, а гидрокарбонат-ионов – рост кислотности воды. Последний фактор может подавляться в карбонатсодержащей среде.

Предлагаются различные источники и механизмы поступления гидрокарбонат-ионов, однако этот вопрос остается мало исследованным.

Разработаны представления о генерации этих ионов для других вод в ходе обменных процессов. Этим вопросам посвящены многочисленные публикации [Докукин и др., 1950; Назарова, 1968; Гавришин и др., 2003; Шварцев и др., 2011; Гавришин, 2018, 2019; Войтович, 2015; Закруткин и др., 2022; Парада и др., 2023; Мохов, 2023; Reshetnyak et al., 2014; Zakrutkin V.E. et al., 2015; Rybnikova L.S. et al., 2020]. Предложена серия химических реакций генерации данных ионов в водах природных обстановок [Никольский и др., 1958], однако возможность их привлечения для решения рассматриваемого вопроса остается неясной и не подкрепляется натурными данными. Многие реакции вялотекущи и вполне обратимы.

О потенциальных возможностях массовой генерации гидрокарбонат-ионов под влиянием углекислого и, вероятно, других газов свидетельствует обнаруженная связь состава подземных вод угольных месторождений СССР, включая объекты Донбасса, с газоносностью недр [Кравцов, 1968].

Химический тип воды устойчиво сопряжен в Донбассе с газовой зональностью недр. Выделены пять газовых зон: азотно-углекислых газов (метана нет, шахта негазовая), углекисло-азотных (шахты негазовые или I-ой категории по газу; углекислого газа в первой из обстановок более 80%, а во второй – менее 20%, метана – следы), метаново-азотных газов (шахты II -ой или, иногда, III-ей категории),

азотно-метановых (шахты II-ой категории) и метановых (шахты III категории или сверхкатегорийные). Им соответствуют зоны с водами гидрокарбонатными кальциевыми; гидрокарбонатно-сульфатными кальциево-натриевыми; гидрокарбонатно-сульфатными натриевыми; гидрокарбонатными натриевыми; гидрокарбонатными и хлоридными натриевыми. Данные указывают на недра как источник углекислого и других газов – триггера генерации гидрокарбонат-ионов.

Потенциально, процесс поступления и накопления гидрокарбонат-ионов является многофакторным. По нашему мнению, источником дополнительного поступления углекислого газа является взаимодействие карбонатов массива, в первую очередь, с серной кислотой. Так создаются условия для генерации и накопления гидрокарбонат-ионов в шахтной воде разными механизмами. Вместе с тем, его ограничивает высокая кислотность среды – довольно кислые воды по химическим причинам негидрокарбонатны.

Настоящая публикация посвящена исследованию минералогических вопросов накопления сульфат- и гидрокарбонат-ионов в существенных концентрациях в водах действовавших в начале 1980-х гг. шахт на западной окраине Восточного Донбасса (геолого-промышленные районы Каменско-Гундоровский (КГГПР), Гуково-Зверевский (ГЗГПР) и Шахтинско-Несветаевский (ШНГПР)). Состав воды действовавших в тот период и в настоящее время шахт других районов открытого Донбасса здесь близок.

Материалы и методы исследования

Использованы результаты изучения химического состава шахтных вод действующих шахт Восточного Донбасса из производственных отчетов, материалов разведочных работ на уголь специализированных организаций и собственные данные. Применен стандартный комплекс методов научного исследования, включая корреляционный анализ связей содержаний компонентов состава вод.

Результаты исследований и их обсуждение

Обобщение материалов по действовавшим в 1981–1986-х гг. шахтам рассматриваемой части региона показало гидрокарбонатно-сульфатный, реже – сульфатно-гидрокарбонатный натриевый облик, кратное превышение величиной минерализации (около 2,5–6 г/дм³) шахтных вод, содержания в них ионов сульфат-, гидрокарбонат- и натрия типичных показателей материнских подземных вод в естественном состоянии.

Согласно [Гидрогеология, 1971; Угольная база, 2000; Гавришин и др., 2003], природные воды каменноугольных отложений региона имеют в диапазоне глубин углеработок минерализацию преимущественно от 1 до 3 г/дм³, гидрокарбонатно-сульфатный натриево-кальциевый состав. Максимум минерализации характерен для нижних горизонтов массива. Подземные воды, имея часто тот же гидрогеохимический тип что и шахтные, содержат мало сульфат- и гидрокарбонат-ионов, а также натрия, кальция (их содержание – первые сотни мг/дм³), железа и других компонентов.

Шахтные воды центральных водосборников в КГГПР (5 шахт), ГЗГПР (10 шахт) и ШНГПР (12 шахт) имели (1981-1986 гг.) среднегодовые величины минерализации 4040-5840; 2600-5750; 2860-5690, содержания сульфат-ионов – 1177-1635; 1064-3090; 1117-3134, гидрокарбонат-ионов – 909-1532; 264-1440; 256-939 мг/дм³ соот-

ветственно. Трансформация природных вод в шахтные по составу была направлена таким образом в сторону общего резкого непропорционального роста концентраций и доли многих компонентов, особенно, сульфат- и гидрокарбонат-ионов, а также натрия.

Анализы свидетельствуют о варьированности среднего содержания катионов: натрия – от 812 до 1384 (КГГПР), от 412 до 1905 мг/дм³, ГЗГПР – от 412 до 1366; ШНГПР – от 426 до 1905, кальция – от 140 до 323 (КГГПР), от 44 до 514 (ГЗГПР), от 70 до 406 (ШНГПР) мг/дм³ соответственно. Частные значения показателей колеблются в еще более широком диапазоне.

Диапазоны содержаний гидрокарбонат-ионов в ГЗГПР и КГГПР смещены в целом в сторону повышенных концентраций относительно ШНГПР. Для диапазона концентраций сульфат-ионов ГЗГПР и ШНГПР, которые имеют между собой практически совпадающую локализацию, имеется сдвиг в ту же сторону по сравнению с объектами КГГПР.

Большая ширина диапазона указывает на разнообразие, варьирование факторов формирования и механизмов поступления в воду компонентов, отражая, в частности различные последствия выщелачивания.

Так, массовые содержания натрия в шахтных водах ШНГПР характеризуются более широким диапазоном изменчивости, чем в ГЗГПР. Его избыток является следствием поступления в воду из боковых пород и накопления этого редко образующего малорастворимые соединения элемента.

В ГЗГПР значения коэффициента корреляции содержаний с серой общей составляют для сульфат-ионов, гидрокарбонат-ионов, кальция, натрия 0,610; -0,047; 0,215; 0,328. Его значения для содержаний натрия и сульфат-ионов, натрия и гидрокарбонат-ионов, кальция и сульфат-ионов, кальция и гидрокарбонат-ионов, натрия и кальция составили 0,315; 0,808; 0,756; -0,420; -0,089. Расчеты по ШНГПР дают следующие значения коэффициента корреляции с серой общей содержаний сульфат-ионов, гидрокарбонат-ионов, кальция и натрия 0,602; -0,130; 0,587 и 0,128. Коэффициенты корреляции содержаний натрия и сульфат-ионов (0,003), натрия и гидрокарбонат-ионов, кальция и сульфат-ионов, кальция и гидрокарбонат-ионов, натрия и кальция составляли 0,003; 0,222; 0,304; 0,614; -0,211 соответственно.

Величины коэффициента корреляции среднегодовых содержаний гидрокарбонат-ионов и сульфат-ионов имели отрицательное значение для ГЗГПР и ШНГПР, соответственно, -0,369 и -0,556.

Различия корреляции в отдельных районах и в сводной выборке являются основанием для вывода о присутствии в последней данных из разных генеральных совокупностей с различными спектром формирующих состав воды факторов, степенью их влияния и синергизмом.

Сильная корреляция содержаний сульфат-ионов и пластовой серы общей является подтверждением представлений о формировании сульфатности шахтных вод в результате окисления сульфидов. Сильная положительная связь содержаний кальция и сульфат-ионов для ГЗГПР и ШНГПР вместе и порознь служит доводом в пользу обоснованности идентификации источника их поступления – карбонатов и угольной массы.

Поскольку обнаруженные концентрации ионов кальция (в среднем около 200 мг/дм³) находятся намного ниже предела (около 2000 мг/дм³) растворимости сульфата кальция, вероятен уход из воды данного компонента, например, вместе с се-

рой и железом. Низкие для потенциально функциональной связи сульфат-ионов с базовым веществом – серой – показатели указывают на процессы сдерживания накопления сульфат-ионов в воде и (или) возможность удаления их отсюда разными механизмами.

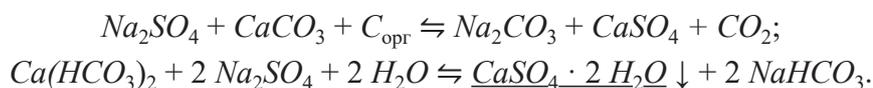
Повсеместно слабая связь гидрокарбонат-ионов с серой указывает на разнесенность во времени формирования состава воды. Большая, чем с серой, связь содержания кальция и сульфат-ионов, служит признаком наличия цепи химических реакций формирования итогового состава.

Слабость связей при явной близости отдельных из них к генетически функциональной зависимости служит признаком трансформации химического состава воды параллельными разнонаправленными процессами, включая, поступление в воду и садку из нее минеральных веществ.

Указанием на вероятный механизм поступления гидрокарбонат-ионов является по нашему мнению обратная связь содержания гидрокарбонат- и сульфат-ионов, сильная положительная связь натрия и гидрокарбонат-ионов. Причинно-следственные закономерности означают наличие связи содержания сульфат- и гидрокарбонат-ионов в ходе метаморфизации воды.

Вырисовывается такая схема формирования состава воды: окисление сульфидов → появление серной кислоты и железа → выщелачивание кислотой из пород натрия, кальция и других компонентов → выделение в воду углекислого газа → частичное замещение сульфат-ионов гидрокарбонат-ионами.

Поступление ряда компонентов в повышенном количестве дает старт их взаимодействию между собой и с породной средой, по доказанной реакции Е. Гильгарда (в разновидностях) [Никольский и др., 1958]:



Первая реакция продуцирует дополнительное поступление в водную среду углекислого газа. Вторая реакция резко сдвигается вправо и поддерживается при наличии его повышенных концентраций [Никольский и др., 1958], чему благоприятствуют протекание первой реакции и шахтные условия. Массовое образование гидрокарбонат-ионов запускается окислением сульфидов.

Сопоставление геологических в широком смысле характеристик районов и обстановки внутри них приближает к пониманию причин сходства и различия состава шахтных вод и содержания рассматриваемых компонентов.

Кусты шахт районов территориально и геоструктурно вполне обособлены. Шахты каждого из них занимают отдельные крупные складчатые структуры: Изваринскую антиклиналь (КГГПР), Сулино-Садкинскую (ГЗГПР) синклиналь, западную часть Шахтинско-Несветаевской (ШНГПР) синклинали. Затруднения с водообменом не создают автономные условия формирования состава подземных вод. Его сходство указывает на слабость влияния здесь данного тектонического фактора.

Близость химического типа, низкая минерализация подземных вод указывает на слабость влияния литологического состава угленосных массивов. Угленосные толщи сложены однотипным комплексом пород (песчаники, алевролиты, аргиллиты, известняки, угли) с несколько нарастающим присутствием известняков к северу от ШНГПР к КГГПР (до 3 % объема массива). Характеристики пород также вполне однотипны: преобладают кварцевые песчаники; цемент глинистый и кварцевый. Существенные различия появляются на уровне минералогических факторов мень-

шого порядка. Исключительное значение в формировании сульфатности шахтных вод всех районов имеет высокая сернистость угля.

Содержания общей серы (основная часть которой находится в виде сульфидов – до 90 %) в угле КГГПР, ГЗГПР и ШНГПР имеют повышенные их значения в первом из них (от 1,6 до 6,0 при преобладании около 5,0 %), пониженные в третьем (от 0,6 до 5,5 при преобладающем около 2,5 %), промежуточные во втором (0,9 – 3,46, преобладает около 3,0 %), что обеспечивает повсеместно высокую сульфатность шахтных вод, отражается на направлении и изменчивости концентраций ряда компонентов их состава.

Сочетание повышенной сернистости угля дополняется в КГГПР фактором относительно меньшей метаморфизации известняков и других пород – повышенной их способности к растворению и выщелачиванию кислыми средами, соответственно, более высокой генерацией углекислого газа по сравнению с шахтами ШНГПР и ГЗГПР.

В более благоприятном для участия в химических реакциях этого газа отношении по сравнению с другими районами КГГПР находится в связи с высокой газообильностью выработок и газоносностью массива. Выработки сверхкатегорийных шахт КГГПР находились в метановой зоне, где велась выемка среднетемпературных углей марок К (косовый) и Ж (жирный). Метанообильность шахт колебалась от 28,9 до 55,1 м³/тонны суточной добычи. Выделение в выработки углекислого газа значительно. В ГЗГПР и ШНГПР выделения метана и углекислого газа в шахтах практически полностью отсутствовали [Каталог..., 1990].

По данным современных геологоразведочных работ газоносность углей на глубинах до 491 м в КГГПР колеблется от 1,48 до 35,78 мл/грамм горючей массы, причем содержание углекислого газа существенно и находится на том же уровне, что и метана. Здесь имеется значительный потенциал выделений углекислого газа из недр. Повышенное выделение углекислого и углеводородных газов вносит дополнительный вклад в формирование насыщенности гидрокарбонатами шахтных вод КГГПР и его отличие от других районов. Высокие газоносность пород и газообильность шахт, пониженная степень метаморфизма материала известняков позитивно отражаются на генерации гидрокарбонат-ионов и накоплении их в воде.

Выводы

Шахтные воды Восточного Донбасса отличаются от подземных вод повышенным содержанием ряда компонентов химического состава. Формирование состава шахтных вод запада региона из подземных находится под сильным влиянием факторов минералогической природы.

Изучение результатов химического анализа шахтных вод показывает существование взаимосвязей содержаний ряда компонентов состава воды и горного массива. Высокими значениями коэффициента парной корреляции характеризуется связь содержания кальция и сульфат-ионов с серой общей, натрия и гидрокарбонат-ионов. Связь содержаний гидрокарбонат- и сульфат-ионов имеет стабильно обратный характер. Эти данные позволяют сделать вывод о наличии причинно-следственной природы указанных связей.

Подтверждена зависимость генерации сульфат-ионов от окисления сульфидов. Повышенные содержания кальция и натрия вызваны выщелачиванием пород серной кислотой. Воздействие кислоты на карбонаты продуцирует появление углекис-

лого газа, что приводит к образованию и накоплению гидрокарбонат-ионов. Тот же эффект вызывает наличие в воде сульфат-ионов по реакции Гильгарда, которая запускается окислением сульфидов. Выявлена возможность поступления в воду отдельных компонентов и ухода их из воды в результате серии параллельно-последовательных реакций. Различие химического состава, потребительских свойств шахтных вод объясняется разнообразием присутствия сульфидов и карбонатов в горном массиве, содержания в нем углекислого и углеводородных газов.

Трансформация состава вод в выработках шахт создает трудности для использования их как попутных полезных ископаемых.

Литература

1. Войтович С.П. Геохимические особенности шахтных вод угольных бассейнов Украины и России. // Молодой ученый. – 2015. – № 23 (103). – С. 395-397.
2. Гавришин А.И. Состояние окружающей среды в районе угольных шахт Восточного Донбасса. // Горный журнал. – 2018. №1 – С. 92-96. DOI:10.17580/gzh.2018.01.17.
3. Гавришин А.И. Изменение гидрогеохимических условий в Восточном Донбассе за 25 лет. // Геология и геофизика Юга России. – 2019. – Т.9(3). – С. 36-46.
4. Гидрогеология СССР. Том VI. Донбасс. М.: Недра. 1971. – 480 с.
5. Докукин А.В. и Докукина Л.С. Возникновение кислотных рудничных вод и борьба с ними. – М.-Л.: Углетехиздат. – 1950. – 332с.
6. Закруткин В.Е., Гибков Е.В., Решетняк О.С. Химический состав и некоторые особенности минералообразования в донных отложениях рек бассейна Северского Донца (в пределах Ростовской области). // Геология и геофизика Юга России. – 2022. – Т.12(1). – С. 19-34. DOI:10.46698/VNC.2022.20.40.002.
7. Каталог метаноносности и выбросоопасности основных угольных пластов Донецкого и Львовско-Волынского угольных бассейнов в границах действующих шахт / Минуглепром СССР. Донецк. 1990. – 117 с.
8. Кравцов А.И. Геологические условия газоносности угольных, рудных и нерудных месторождений полезных ископаемых. / М.: Недра. 1968. – 330с.
9. Мохов А.В. Гидравлические аспекты режима гидросферы на полях угольных шахт (на примере Восточного Донбасса). // Геология и геофизика Юга России. – 2023. – Т.13(3). – С. 191–199. DOI:10.46698/VNC.2023.93.35.015.
10. Назарова Л.Н. Шахтные воды восточной части Донбасса и некоторые вопросы происхождения их химического состава. – Гидрохимические материалы. 1968. – Т.47. – С.99–109.
11. Никольский Ю.П., Мошкина И.А. К вопросу образования соды в природе химическим путем. // Тр. Хим.-мет. ин-та Зап.-Сиб. ф-ла АН СССР. 1958. – №12. – С. 153–162.
12. Парада С.Г., Гамбург К.Ю. Рудно-магматические системы Восточного Донбасса. // Геология и геофизика Юга России. – 2023. – Т.13(2). – С. 95–105. DOI:10.46698/VNC.2023.84.41.008.
13. Посохов Е.В. Общая гидрохимия. Л.: Недра. 1975. – 208с.
14. Угольная база, т.1. Угольные бассейны и месторождения европейской части России (Северный Кавказ, Восточный Донбасс, Подмосковный, Камский и Печорский бассейны, Урал). – М.: ЗАО «Геоформмарк». 2000. – 483с.
15. Гавришин А.И., Корadini А., Мохов А.В., Бондарева Л.И. Формирование химического состава шахтных вод в Восточном Донбассе. Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ). 2003. – 187с.
16. Шварцев С.Л., Домрачева Е.В., Рассказов Н.М. Геохимия и формирование содовых вод Кузбасса. // Изв. Томского политехн. ун-та. – 2011. – Т.318. No. 1. – С. 128–134.
17. Reshetnyak Olga S., Nikanorov Anatoly V., Zakrutkin Vladimir Ye., Gibkov Yevgeny V.

The Chemical Composition of Surface Waters of Technogenically Affected Geo-Systems in the Eastern Donbas Region. // *European Researcher*. – 2014. – Vol. 86. No. 11–1. – pp. 1978–1992. DOI:10.13187/er.2014.86.1978.

18. Zakrutkin V.E., Sklyarenko G.Y. The influence of coal mining on groundwater pollution (Eastern Donbass). // *International multidisciplinary Scientific Geo Conference Surveying Geology and Mining Ecology Management. SCeM 15th*. – 2015. – pp. 927–932.

19. Rybnikova L.S., Rybnikov P.A. Pit Lake and Drinking Water Intake: Example of Coexistence (Middle Urals, Russia) // *Mine Water and the Environment*. – 2020. – pp. 464–472.

References

1. Voitovich S.P. Geochemical features of mine waters in coal basins of Ukraine and Russia. *Young scientist*. 2015. No. 23 (103). pp. 395–397. (in Russ.)

2. Gavrishin A.I. State of the environment in the area of coal mines in Eastern Donbass. *Mining magazine*. 2018. No. 1. pp. 92–96. DOI:10.17580/gzh.2018.01.17. (in Russ.)

3. Gavrishin A.I. Changes in hydrogeochemical conditions in Eastern Donbass over 25 years. *Geology and geophysics of the South of Russia*. 2019. Vol. 9. No. 3. pp. 36–46. (in Russ.)

4. *Hydrogeology of the USSR. Volume VI. Donbass*. Moscow. Nedra. 1971. 480 p. (in Russ.)

5. Dokukin A.V. and Dokukin L.S. The occurrence of acidic mine waters and their control. Moscow-Leningrad. Ugletekhizdat. 1950. 332 p. (in Russ.)

6. Zakrutkin V.E., Gibkov E.V., Reshetnyak O.S. Chemical composition and some features of mineral formation in bottom sediments of rivers in the Seversky Donets basin (within the Rostov region). *Geology and Geophysics of Russian South*. 2022. Vol. 12. No. 1. pp. 19–34. DOI:10.46698/VNC.2022.20.40.002. (in Russ.)

7. Catalog of methane content and outburst hazard of the main coal seams of the Donetsk and Lvov-Volyn coal basins within the boundaries of existing mines. Ministry of Coal Industry of the USSR. Donetsk. 1990. 117 p. (in Russ.)

8. Kravtsov A.I. Geological conditions of gas content of coal, ore and non-metallic mineral deposits. Moscow. Nedra, 1968. 330 p. (in Russ.)

9. Mokhov A.V. Hydraulic aspects of the hydrosphere regime in the fields of coal mines (using the example of Eastern Donbass). *Geology and Geophysics of Russian South*. 2023. Vol. 13. No. 3. pp. 191–199. DOI:10.46698/VNC.2023.93.35.015. (in Russ.)

10. Nazarova L.N. Mine waters of the eastern part of Donbass and some questions of the origin of their chemical composition. *Hydrochemical materials*. 1968. Vol. 47. pp. 99–109. (in Russ.)

11. Nikolsky Yu.P., Moshkina I.A. On the issue of the formation of soda in nature by chemical means. *Proceedings of the Chemical-Metallurgical Institute. West Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences*. 1958. No. 12. pp. 153–162. (in Russ.)

12. Parada S.G., Hamburg K.Yu. Ore-magmatic systems of Eastern Donbass. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2023. Vol. 13. No. 2. pp. 95–105. DOI:10.46698/VNC.2023.84.41.008. (in Russ.)

13. Posokhov E.V. *General hydrochemistry*. Leningrad. Nedra. 1975. 208 p. (in Russ.)

14. Coal base. Coal basins and deposits of the European part of Russia (North Caucasus, Eastern Donbass, Moscow Region, Kama and Pechora basins, Ural). Moscow. JSC Geoformmark, 2000. 483 p. (in Russ.)

15. Gavrishin A.I., Coradini A., Mokhov A.V., Bondareva L.I. Formation of the chemical composition of mine waters in Eastern Donbass. *Novochoerkassk. SRSTU. NPI*. 2003. 187 p. (in Russ.)

16. Shvartsev S.L., Domracheva E.V., Rasskazov N.M. Geochemistry and formation of soda waters of Kuzbass. *Izv. Tomsk Polytechnic University*. 2011. Vol. 318. No. 1. pp. 128–134. (in Russ.)

17. Reshetnyak Olga S., Nikanorov Anatoly V., Zakrutkin Vladimir Ye., Gibkov Yevgeny

V. The Chemical Composition of Surface Waters of Technogenically Affected Geo-Systems in the Eastern Donbas Region. *European Researcher* 2014. Vol. 86. No. 11–1. pp. 1978-1992. DOI:10.13187/er.2014.86.1978.

18. Zakrutkin V.E., Sklyarenko G.Y. The influence of coal mining on groundwater pollution (Eastern Donbass). *International multidisciplinary Scientific Geo Conference Surveying Geology and Mining Ecology Management. SCeM 15th*. 2015. pp. 927–932.

19. Rybnikova L.S., Rybnikov P.A. Pit Lake and Drinking Water Intake: Example of Coexistence (Middle Urals, Russia). *Mine Water and the Environment*. 2020. pp. 464–472.