

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Геологический институт СО РАН  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования «Бурятский государственный университет»

## **ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВОДЫ С ГОРНЫМИ ПОРОДАМИ**

Материалы четвертой Всероссийской научной конференции  
с международным участием  
(17–20 августа 2020 г, г. Улан-Удэ)

Ответственный редактор  
д. г.-м. н. *А. М. Плюснин*

Улан-Удэ  
Изд-во БНЦ СО РАН  
2020

УДК 55  
ББК 26  
Г 36

**Редакционная коллегия:**

Члены редколлегии: д.г.-м.н. С.В. Алексеев, д.г.-м.н. С.В. Борзенко, д.г.-м.н. С.Б. Бортникова, д.г.-м.н. Н.В. Гусева, к.г.-м.н. Е.В. Кислов, д.г.-м.н. В.В. Кулаков, д.г.-м.н. В.Ю. Лаврушин, д.г.-м.н. О.Е. Лепокурова, к.г.-м.н. Д.А. Новиков, к.г.н. Е.Г. Перязева, к.г.-м.н. Н.С. Трифонов, к.г.-м.н. А.В. Украинцев, д.г.-м.н. Н.А. Харитоновна, д.г.-м.н. А.А. Цыганков, к.г.-м.н. Г.А. Челноков, к.г.н. М.К. Чернявский

**Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами:** мат-лы четвертой Всерос. конф. с международ. участием (17–20 августа 2020 г., г. Улан-Удэ) / Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Геологический институт СО РАН, Томский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Бурятский государственный университет; [отв. ред.: д.г.-м.н. А.М. Плюснин]. – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН. – 390 с.

ISBN 978-5-7925-0584-1

В сборнике представлены доклады участников конференции, в которых отражены результаты исследования по широкому спектру фундаментальных и прикладных проблем эволюции систем «вода – порода – газ – живое вещество» в природных и техногенных обстановках. Значительное количество работ посвящено изотопным исследованиям. Существенное внимание уделено экспериментальному и численному моделированию процессов, протекающих в рассматриваемых системах, термодинамике этих процессов. В работе конференции приняли участие ведущие российские исследователи, что представляет интерес для широкого круга специалистов в области геологии, гидрогеологии, гидрологии, гидрогеохимии, а также преподавателей и студентов.

УДК 55  
ББК 26

© Министерство науки и высшего образования РФ, 2020  
© Геологический институт СО РАН, 2020  
© Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 2020  
© Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, 2020  
© Бурятский государственный университет, 2020  
© Кол. авторов, 2020  
© Изд-во БНЦ СО РАН, 2020

ISBN 978-5-7925-0584-1

## **Формирование кислых стоков с отвалов Кизеловского угольного бассейна (Пермский край)**

**Максимович Н.Г., Мещерякова О.Ю., Березина О.А., Деменев А.Д., Сединин А.М., Хмурчик В.Т.**

*Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия, nmax54@gmail.com, olgam.psu@gmail.com*

**АННОТАЦИЯ.** Разработка угольных шахт обычно связана с целым рядом экологических проблем, одна из них – накопление значительного количества пустой породы на прилегающих к шахтам территориях. В статье приводится характеристика отвалов, расположенных на территории Кизеловского угольного бассейна, описан процесс их негативного влияния на окружающую среду, а также результаты ДЗЗ по космоснимкам со спутников Santinel-2 и анализы образцов отвалов с применением оптического, рентгеноструктурного, термического, электронно-микроскопического методов.

## **Formation of acidic effluents from dumps of the Kizel coal basin (Perm Territory)**

**Maksimovich N.G., Meshcheryakova O.Yu., Berezina O.A., Demenev A.D., Sedinin A.M., Khmurchik V.T.**

*Perm State University, Perm, Russia, nmax54@gmail.com, olgam.psu@gmail.com*

**ABSTRACT.** The coal mining is usually associated with a number of environmental problems, one of them is the accumulation of a significant amount of waste rock in the territories adjacent to the mines. The dumps located on the territory of the Kizel coal basin are investigated in the article. Also the process of their negative impact on the environment are described, as well as earth remote sensing results from images from Santinel-2 satellites and analyzes of dump samples using optical, x-ray, thermal, and electron microscopy methods.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Одной из основных экологических проблем Пермского края является загрязнение окружающей среды в пределах Кизеловского угольного бассейна (КУБ), расположенного в пределах складчатой зоны Западного Урала и разрабатываемого с XVIII века. После ликвидации шахт в 2000-х годах начались изливы кислых шахтных вод из выработанного пространства [4, 11, 12]. За длительный период эксплуатации и разработки бассейна было накоплено значительное количество отвалов пустой породы. Помимо изъятия земель под отвалы, их стоки оказывают резко негативное влияние на поверхностную гидросферу [6, 10, 12].

### **ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ**

Извлечение горных пород на поверхность из зоны горного давления и кислородного дефицита сопровождается активизацией таких процессов, как физическое выветривание, окисление, растворение, гидролиз, гидратация и др. Это обуславливает возникновение растворимых и нерастворимых продуктов, негативно влияющих на окружающую среду и инженерные сооружения.

Породы, идущие в отвал, формировались за счет проходки выработок, их ремонта и восстановления, они складировались вблизи стволов шахт в виде терриконов высотой до 60 – 80 м, отвалов хребтовидной формы, а также плоских отвалов. Отвалы состоят из аргиллитов на 60 –

80%, алевролитов 10 – 30%, песчаников 4– 0%, известняков до 6%, пирита до 10%, угля 6–20%, содержат древесину, металлические предметы (трубы, провода и др.). Породы неоднородны по гранулометрическому составу, имеют размер от глинистых частиц до глыб [5].

Взаимодействие извлеченных пород с кислородом приводило к окислению пирита и других минералов с выделением тепла и самовозгоранию отвалов. В результате горения происходил выброс сероводорода и углекислого газа в атмосферу [1]. На сегодняшний день по данным мониторинга очагов возгорания не обнаруживается.

Не менее важной проблемой является взаимодействие атмосферных осадков и подземных вод с породами отвалов. Стоки с них характеризуются низким значением pH 2–3, высоким содержанием различных опасных для окружающей среды компонентов, встречаются превышения по железу – до 6000 ПДКхп, алюминию – до 11000, марганцу – до 880 ПДКхп и другим микрокомпонентам, в том числе бериллию, мышьяку, кадмию и др. Их объем составляет до 32,3 м<sup>3</sup>/час.

Формирование поверхностных стоков с отвалов, а также попадание окисленных в ходе фильтрации вод в зону аэрации и взаимодействие их с водами первого от поверхности водоносного горизонта приводит к значительному распространению масштабов загрязнения [7].

При взаимодействии кислых стоков с нейтральными речными водами происходит образование техногенного осадка, который переносится вниз по течению как в форме коллоидного раствора, так и в виде влекомых наносов, являясь источником вторичного загрязнения.

Для выявления закономерностей геохимических процессов в породных отвалах КУБа было проведено изучение их минерального состава. Исследование проведено с применением оптического, рентгеноструктурного, термического, электронно-микроскопического, микронзондового методов. Изучались исходные пробы грунтов отвалов, отдельные кристаллы и их агрегаты, монофракции минералов, корочки, различные выцветы, примазки. Для определения площадей, занятых под отвалы, применялись методы дистанционного зондирования Земли по космоснимкам со спутников Santinel-2, также были определены площади, подверженные негативному влиянию от стоков с отвалов. Был изучен химический состав водной вытяжки стоков с отвалов.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЯ

По данным дистанционного зондирования Земли на территории КУБа, площадью около 1500 км<sup>2</sup>, насчитывается более 100 породных отвалов объемом более 30 млн м<sup>3</sup> и площадью 2,6 км<sup>2</sup>. На основании проведенных исследований в них установлено около 60 минералов, среди которых выделены первичные, характерные для угленосной толщи и вмещающих пород: каолинит, иллит, серицит, монтмориллонит, мусковит, кварц, хлорит, пирит, марказит, кальцит, сидерит, олигоклаз, ортоклаз, арагонит, муассанит, циркон, ставролит, гиперстен, рутил, эпидот, цоизит, гранат, турмалин, анатаз, корунд, хромшпинелид, барит, магнетит, ксенотим. Вторичные минералы, образующиеся в породных отвалах, представлены серой, гематитом, маггемитом, тридимитом, кристобалитом, известью, поргландитом, гётитом, гиббситом, ярозитом, алунином, эпсомитом, гипсом, ангидритом, мелан-теритом, метабазальюмитом, роценитом, копияпитом, галотрихитом, билинитом, пиккерингитом, калинитом, калиевыми квасцами, сидеритилом, чермигитом, флюорэллестадитом, муллитом [8].

Состав стоков с породных отвалов формируется в результате взаимодействия атмосферных осадков с горными породами отвала. Наиболее интенсивно они образуются во время обильных дождей или весеннего снеготаяния [2, 3]. Ввиду неравномерного поступления осадков в течение года и наличия продолжительного периода с отрицательными температурами, объемы сто-

ков очень неравномерны. В отличие от шахтных вод концентрации загрязняющих веществ могут существенно возрастать в маловодные периоды.

Водные вытяжки из грунтов шахтных отвалов имеют в основном сильноокислую реакцию среды (рН достигает 1,8 – 4), в отвалах, содержащих карбонаты, водородный показатель увеличивается до 5,2 – 7,8. Содержание сульфат-иона достигает 91 г/л, Fe<sup>2+</sup> – 1 г/л, Fe<sup>3+</sup> – 6 г/л; Al<sup>3+</sup> – 11 г/л. Химические анализы водных вытяжек из негорелых грунтов отвалов показывают высокое содержание сульфат-иона (79%), железа двухвалентного (4%), железа трехвалентного (9%), кальция (3%), натрия с калием (2,5%); минерализация – 5700 г/кг, рН среды – 2,8. В составе водных вытяжек из горелых грунтов отвалов преобладают сульфат-ион – 76%, кальций – 6%, натрий и калий – 6%, алюминий – 5,5%, железо трехвалентное – 2,5%, железо двухвалентное – 2%, магний – 1%. Таким образом, в горелых грунтах отвалов повышается содержание растворимых соединений Al в 15 раз, Na+K – в 2 раза, Ca – в 2 раза; уменьшается содержание Fe<sup>2+</sup> в 2 раза, Fe<sup>3+</sup> – в 3 раза.

Увеличение содержания алюминия, по-видимому, связано с его высвобождением из алюмосиликатов в процессе горения и образованием растворимых сульфатов (алунигит KAl<sub>3</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(OH)<sub>6</sub>, алуноген Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>×17H<sub>2</sub>O, к-квасцы KAl(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>×12H<sub>2</sub>O и др.). Увеличение содержания кальция, возможно, связано с обжигом известняков и образованием окиси кальция (CaO), неустойчивой к воздействию воды. Снижение концентрации железа в водных вытяжках из пород горелых отвалов, скорее всего, связано с образованием в процессе горения значительного количества гематита Fe<sup>2</sup>O<sup>3</sup> –ми-нерала, устойчивого при взаимодействии с водой. Пробы стоков с отвалов показывают крайнюю неравномерность их химического состава (табл.). Эксперименты показали, что добавление щелочных реагентов в количестве, равном 5% от массы отвала, приводит к нейтрализации стоков и, как следствие, выпадению из раствора значительного количества загрязняющих веществ. Одним из наиболее эффективных реагентов, по результатам экспериментов, являются маловостребованные щелочные продукты, образующиеся в процессе производства соды.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Стоки с отвалов служат источником загрязнения поверхностных и подземных вод. Их инфильтрация в зону аэрации отражается на химическом составе подземных вод, физико-механических и фильтрационных свойствах

грунтов. Воды приобретают агрессивность к бетону. С извлечением пород на поверхность многие элементы из-за своей неустойчивости в условиях земной поверхности переходят в подвижные формы и легко мигрируют в водных растворах. На сегодняшний день мониторинг осуществляется лишь за 30% всех отвалов, это не позволяет учесть их вклад в изменение окружающей среды. Необходимо в дополнение к классическому мониторингу внедрять совре-

менные методы, в том числе дистанционные, что обеспечит получение информации о состоянии окружающей среды в оперативном режиме. Первым этапом явилось создание открытой геоинформационной системы Кизеловского угольного бассейна (<http://kub.maps.psu.ru/>), которая является информационной основой для принятия управленческих решений в части природоохранных мероприятий на совершенно новом качественном уровне.

Таблица 1 – Характерный химический состав стоков с отвалов шахт КУБа, мг/л

Шахта	pH	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Cl <sup>-</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Al <sup>3+</sup>	Na+K	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Fe <sup>3+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Минерализация
Ключевская	2,77	2065,3	117,3	160,3	60,8	497,5			217,0	40,0	3157,9
Центральная	2,35	9905,6	17,7	248,5	253,3	-	-	-	0,0	874,9	11280,0
Серова	1,79	29971,2	106,4	200,4	151,9	4203,5		-	302,0	7348,0	42283,4
Тажная	2,75	3430,8	35,4	300,6	91,1	175,3	353,1	10	0,0	237,3	4635,6
Гремячинская	2,44	2039,9	46,1	300,6	60,7	0,0	200,4	1,2	0,0	209,4	2862,1
Усьва -3	3,62	57,64	25,5	14,03	3,6	-	15,1	0,0	0,6	0,2	117,1
Им. 40 лет Октября	2,20	9968,3	140,3	460,9	182,9	364,2	575,8	3,2	27,9	1870,9	13600,5
Шумихинская	1,99	26427	69,4	340,6	279,5	2091	615,2	5,6	1745,3	3351,0	34935,5
Нагорная	2,70	12981,7	93,6	460,9	413,1	1334,5	959,8	12,6	97,7	363,0	16720,1
Центральная	2,87	2781,9	99,2	140,2	85,0	267,1	234,9	5,1	0,0	96,3	3711,4
Широковская	2,90	500,9	35,4	95,1	15,1	9,4	30,3	2,8	0,0	30,7	721,3
Коспашская	2,39	5099,9	53,8	260,5	72,9	202,3	399,5	5,0	363,3	586,4	7047,7

Рекультивация отвалов, осуществляемая на территории КУБа, не приносит необходимого эффекта, а в большинстве случаев даже усугубляет экологическую ситуацию. Разравнивание конусных породных отвалов приводит к увеличению площади контакта с кислородом, интенсификации процессов выноса загрязняющих веществ.

Таким образом, необходимо усовершенствовать способы рекультивации отвалов, в том числе с применением геохимических барьеров [13]. Для очистки загрязненных подземных вод разработана технология с использованием траншей с отсевами дробления известняка на пути потока кислых вод [6].

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 19-05-50073 и № 17-45-590793.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айруни А. А. Охрана окружающей среды при подземной добыче угля: обзор ЦНИЭИуголь. – М., 1979. – 48 с.
2. Баньковская В. М., Максимович Н. Г. Геохимические изменения природной среды в районах размещения отвалов угледобывающей промышленности // География и природные ресурсы. – 1989. – № 2. – С. 42–45.
3. Калаева С. З., Богданов С. М., Лукин Н. О., Огер А. А. Породные отвалы угольных шахт России // Изв. ТулГУ. Науки о Земле. – 2016. – № 1. – С. 3–22.
4. Красавин А. П., Сафин Р. Т. Экологическая ре-абилитация углепромышленных территорий Кизелов-

ского бассейна в связи с закрытием шахт. Пермь: ИПК «Звезда», 2005. – 287 с.

5. Максимович Н. Г. Геохимия угольных месторождений и окружающая среда // Вестник Перм. ун-та. – 1997. – Вып. 4. Геология. – С. 171–185.
6. Максимович Н. Г. Создание геохимических барьеров для очистки стоков породных отвалов // Уголь, 2006. – № 9. – С. 64.
7. Максимович Н. Г., Пьянков С. В. Кизеловский угольный бассейн: экологические проблемы и пути решения. Пермь, 2018. – 288 с.
8. Потапов С. С., Максимович Н. Г., Паршина Н. В. Список минералов горелых отвалов Челябинского и Кизеловского угольных бассейнов // Минеральное сырье Урала, 2006. – № 6 (10). – С. 43–52.
9. Тарасенко И. А. Геохимические особенности состава и закономерности формирования подземных вод в природно-техногенных гидрогеологических структурах районов ликвидированных шахт. М., 2018. – 247 с.
10. Donovan J. J., Leavitt B. R., Werner E. Long-term changes in water chemistry as a result of mine flooding in closed mines of the Pittsburgh coal basin, USA // Sixth International Conference Acid Rock Drainage (6th ICARD: Cairns, Queensland, 14–17 July 2003). – 2003. – P. 869–875.
11. Orem W. H., Finkelman R. B. Coal formation and geochemistry. In: Mackenzie F. T. (ed), Holland H. D., Turekian K. K. (executive eds). Treatise on Geochemistry. – 2003. – Vol. 7. – P. 191–222.
12. Price P. Water quality impact from the discharge of coal mine wastes to receiving streams: comparison of impacts from an active mine with a closed mine / Price, P., & Wright, I. A. // Water, Air, and Soil Pollution. 2016. – № 5. – P. 155–156. doi:10.1007/s11270-016-2854-7.
13. Siddharth S., Jamal A., Dhar B. B., Shukla R. Acid-base accounting: a geochemical tool for management of acid drainage in coal mines // Mine Water Environ. – 2002. 21. – P. 106–110.