3. McPherson M. J. Subsurface ventilation and environmental engineering. London : Chapman & Hall, 2009. 935 p.
4. Brake D. J. Mine ventilation: A practitioner's manual. Mine Ventilation. Australia : Brisbane, 2012. 686 p.
5. Mackay L., Bluhm S., Van Rensburg J. Refrigeration and cooling concepts for ultra deep platinum mining. *The 4th International Platinum Conference: Platinum in transition "Boom or Bust", The Southern African Institute of Mining and Metallurgy.* 2010. pp. 35–39.
6. Li Q., Niu Y. S., Sun Y. X., Liu Z. Heat and Mass Transfer Analysis of Mine Exhaust Air Heat Exchanger : Advanced Materials Research. 2013. Vol. 765–767. pp. 3018–3022.
7. Calm J. M. Refrigerants for deep mine. *Refrigeration for Sustainable Development : Proceedings of the 23rd International Congress of Refrigeration.* International Institute of Refrigeration, Czech Republic, 2011. pp. 64–68.
8. Zaitsev A.V., Semin M.A., Klyukin Yu.A. Improvement of microclimate conditions rationing criteria in mine airways. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten.* 2015. No. 12. pp. 151–156.
9. SanPiN 2.2.4.548-96. Hygienic requirements to occupational microclimate. Moscow : Minzdrav Rossii, 1997.
10. Shcherban A. N., Kremnev O. A., Zhuravlenko V. Ya. Guidance on regulation of thermal regime of mines. Moscow : Nedra, 1977. 359 p.
11. Shuvalov Yu. V. Regulation of thermal regime of pits and mines of North: resource-saving systems. Leningrad : Leningradskii Universitet, 1988. 196 p.
12. Gendler S. G. Thermal mode of underground facilities. Leningrad, 1987. 102 p.
13. Kachurin N. M., Vorobev S. A., Levin A. D., Botov F. M. Theoretical substantiation and practical results of underground workings ventilation simulation. *Eurasian Mining.* 2015. No. 2. pp. 35–39. DOI: 10.17580/em.2015.02.09
14. Kazakov B. P., Levin L. Yu., Zaitsev A. V. Modern approaches to development of methods of controlling of thermal mode of mines with high temperature of rock massif. *Gornyi Zhurnal.* 2014. No. 5. pp. 22–25.
15. Zaitsev A. V., Kazakov B. P., Kashnikov A. V., Kormshchikov D. S., Kruglov Yu. V. et al. AeroSet analytical software. Certificate of official registration of computer programs No. 2015610589; Applied: 24.04.2014/ Published: 14.01.2016.

УДК 553.94:550.84

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕХНОГЕНЕЗА КИЗЕЛОВСКОГО УГОЛЬНОГО БАССЕЙНА

Б. А. БАЧУРИН, *зав. лабораторией, канд. геол.-минерал. наук, bba@mi-perm.ru*

Горный институт УрО РАН – филиал ФГБУН Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН, Пермь, Россия

Приведены результаты анализа загрязнений гидросферы и почвенного покрова на территории Кизеловского угольного бассейна. Показано, что после закрытия шахт продукты техногенеза длительное время продолжают загрязнять природную среду. Основная причина загрязнения водного бассейна и донных отложений сульфатами, железом, алюминием и другими токсичными компонентами — поступление кислых шахтных вод в вышезалегающие горизонты подземных вод и на поверхность. На основе экспериментального моделирования выявлен характер эмиссии указанных компонентов а техногенные потоки рассеяния и установлен механизм загрязнения окружающей среды.

Ключевые слова: *Кизеловский угольный бассейн, изливы шахтных вод, породные отвалы, стоки, тяжелые металлы и микроэлементы, взаимодействие отходов с водой, лабораторное моделирование, техногенные потоки рассеяния.*

DOI: *10.17580/gzh.2018.06.08*

Введение

Кизеловский угольный бассейн являлся старейшим горнодобывающим районом России: добыча угля здесь началась около 200 лет тому назад и была прекращена в связи с нерентабельностью в 1994 г. С экологической точки зрения эксплуатация угольных шахт бассейна была сложной в течение всего периода его существования, что связано с высокой сернистостью углей (до 6 %), большими (до 1000–2700 м^3/ч) водопритоками, агрессивностью шахтных вод и высоким содержанием в них и отходах угледобычи широкого спектра токсичных микроэлементов. Несмотря на реализуемые в период эксплуатации шахт природоохранные мероприятия, техногенное воздействие угледобывающих

Рис. 1. Изливы шахтных вод и стоки с породных отвалов Кизеловского бассейна (фото сотрудников ЕНИ ПГНИУ)

© Бачурин Б. А., 2018

предприятий на природные геосистемы имело существенные масштабы и привело к нарушению окружающей природной среды на значительных площадях бассейна [1–3]. Наибольшему воздействию подвергалась гидросфера, что связано со сбросом в реки кислых шахтных вод. Другим источником загрязнения являлись твердые отходы угледобычи (более 70 отвалов с объемом заскладированной породы свыше 35 млн м^3), химически неустойчивые в условиях гипергенеза [1, 3]. Под воздействием поступающих с отвалов агрессивных техногенных потоков рассеяния в сопряженных с ними почвах зафиксировано накопление ряда токсичных микроэлементов [4, 5].

Прекращение в связи с реструктуризацией угольной отрасли РФ добычи угля в Кизеловском бассейне и ликвидация к 2000 г. всех угледобывающих предприятий не решили сложных геоэкологических проблем, возникших в процессе длительной эксплуатации бассейна. Вследствие прекращения шахтного водоотлива произошло затопление горных выработок с образованием в отработанных шахтных полях техногенного водоносного горизонта, разгружающегося в вышезалегающие горизонты подземных вод и на поверхность через горные выработки и родники, дренирующие зоны природно-техногенной трещиноватости. Суммарный объем излива шахтных вод колеблется от 1328 до 2650 м^3/ч [6]. Как и во время функционирования угледобывающих предприятий, шахтные воды имеют кислую реакцию (pH = 2÷3), сульфатный состав и отличаются высоким содержанием железа, алюминия и ряда микрокомпонентов [3, 6, 7].

Суммарный расход стоков с породных отвалов в зависимости от количества осадков колеблется от 27,9 до 37,3 м^3/ч. В результате действия атмосферных осадков из заскладированных пород выщелачиваются в больших концентрациях такие микроэлементы, как бериллий, литий, марганец, алюминий, железо. Их содержание в сточных водах с отвалов превышает предельно допустимую норму в сотни и тысячи раз. В меньшем количестве обнаружены кадмий, кобальт, никель, кремний и сульфатный ион [6, 8].

Разгрузка на поверхность шахтных вод и стоки с породных отвалов (**рис. 1**) приводят к экстремальному загрязнению рек по железу (превышение ПДК более чем в 2 тыс. раз), алюминию (до 45–87 ПДК), бериллию (до 58–118), марганцу (до 50–165) [3, 6]. На загрязняемых участках рек формируется значительный объем техногенных донных осадков, представленных аморфными гидроксидами железа и алюминия с высоким содержанием Mn, Cu, Ni, Zn, Pb, Cd и др., являющихся вторичным источником загрязнения рек.

Обобщение результатов экологического мониторинга, проводимого в Кизеловском бассейне Уральским центром социально-экологического мониторинга углепромышленных территорий (УЦСЭМУТ), свидетельствует об отсутствии четких тенденций в формировании состава шахтных вод. Процесс формирования химического состава шахтных вод зависит от многих факторов (объема выработанного пространства затопленных шахт, горно-геологических и гидрогеологических условий, минерального состава пород и др.), и стабилизация гидрогеохимического режима по различным изливам шахтных вод будет носить индивидуальный характер.

Затруднена и оценка состояния пород отвалов как потенциальных источников поллютантов, что связано с недостаточной изученностью форм нахождения тяжелых металлов в составе минеральной фазы отходов. Как показывают результаты зарубежных исследований [5, 9–12], прогноз состава стоков породных отвалов должен базироваться на учете их минерального состава и климатических условий, определяющих потенциал кислотного дренажа и масштабы выщелачивания отдельных микроэлементов.

Методика проведенных исследований

Основной целью исследований являлось определение содержания и форм нахождения токсичных минеральных и органических соединений в породных отвалах, представленных сильнопиритизированными обломками алевролитов, аргиллитов и песчаников с включениями и прослоями каменного угля. Изучаемыми объектами являлись грунтосмеси восьми разновозрастных породных отвалов, прилегающие к ним почвы и подотвальные воды.

Спектральный анализ валового содержания микроэлементов показал, что доминирующими компонентами минеральной матрицы угольно-породных отвалов являются Ti (7–9 г/кг), Ba (0,3–0,5 г/кг) и Zr (0,4–0,6 г/кг); содержания Cr, Mn, V, Sr и Y находятся в пределах 90–200 мг/кг; Ni, Co, Sc, Ge, Cu, Zn, Pb, Mo, Sn, Be, Ga, Yb, La, Ni – в количестве 1–90 мг/кг; Ag, Bi – 0,2–1 мг/кг [5]. При этом по большинству тяжелых металлов , за исключением меди и единичных проб по свинцу, ванадию и цинку, их валовое содержание в отходах ниже значений ПДК, принятых для почв.

Для оценки геохимической подвижности и миграционных свойств тяжелых металлов на спектрометре Квант-АФА по аттестованным методикам проведено атомно-абсорбционное определение содержания кислоторастворимых (извлекаемых горячим раствором 5н HNO_3), подвижных (экстракция ацетатно-аммонийным буферным раствором) и водорастворимых форм. Кислоторастворимые формы тяжелых металлов дают сведения о содержании потенциально подвижных соединений, которые могут быть мобилизованы из отходов и вовлечены в миграционные потоки при изменении кислотно-щелочных условий среды; ацетатно-аммонийный буферный раствор моделирует действие почвенных растворов и позволяет оценить содержание водорастворимых, ионообменных и непрочносорбированных соединений, доступных для питания растений. Наличие тяжелых металлов в водной вытяжке характеризует их максимальную миграционную и биологическую активность и может использоваться для оценки возможных масштабов загрязнения гидросферы.

Сведения об уровне органического загрязнения отходов угледобычи Кизеловского бассейна практически отсутствуют. Вместе с тем повышенное содержание в породах отвалов органического углерода (12–20 %) свидетельствует о наличии органического материала, преимущественно гумусового характера. Кроме того, в изливающихся шахтных водах зафиксировано присутствие битуминозных веществ (0,3–12,33 мг/дм^3), нефтепродуктов

(0,05–1,87 мг/дм^3), низкомолекулярных ароматических углеводородов (0,09–0,39 мг/дм^3) [13].

При оценке уровня органического загрязнения исследуемых объектов основное внимание уделялось изучению наиболее миграционноспособных фракций органических веществ – битуминозным компонентам, извлекаемым хлороформом (ХБА), и нефтепродуктам. При исследовании использовали современные химико-аналитические методы, позволяющие судить о структурно-групповом и индивидуальном составе органических соединений и характере их геохимической трансформации: тонкослойная хроматография (ТСХ), инфракрасная спектроскопия (ИК-Фурье спектрометр PerkinElmer), хромато-масс-спектрометрия (хроматограф Agilent 6890 с МСД 5975В).

Для уточнения характера выщелачивания тяжелых металлов и органических соединений из пород отвалов проведено лабораторное моделирование поведения системы «отходы–вода», включающее последовательное четырехэтапное растворение грунто-смесей в дистиллированной воде. В ходе эксперимента исследовали динамику содержания подвижных и водорастворимых форм тяжелых металлов и состав органических соединений. Данное моделирование с определенной степенью условности имитирует действие атмосферных осадков на складируемые на поверхности породные отвалы.

Результаты исследований и их обсуждение

Тяжелые металлы. Полученные результаты (**табл. 1**) свидетельствуют, что максимальные концентрации всех форм тяжелых металлов характерны для железа. Содержание кислоторастворимых форм тяжелых металлов уменьшается в следующем ряду: Fe ≫ Cr > Mn > Pb, Cu, Zn > Ni > Co > Cd. Близким распределением характеризуются исследованные тяжелые металлы по степени доступности растениям: Fe ≫ Mn > Cr > Zn, Ni, > > Cu > Pb, Co, Cd. Следует отметить, что зафиксированные концентрации данных форм тяжелых металлов в породах отвалов не превышают принятые в России ПДК и ОДК для почв.

Распределение содержания водорастворимых форм ТМ в грунтосмесях отвалов несколько отличается: Fe > Zn, Mn, Cu > > Ni > Pb, Co, Cd. Зафиксированные концентрации водорастворимых форм тяжелых металлов повсеместно превышают значения ПДК вод рыбохозяйственных водоемов.

Близкие данные получены по результатам исследования вскрышных и вмещающих пород угольных месторождений Кемеровской области [14], что подтверждает зависимость потенциальной возможности участия тяжелых металлов в миграционных процессах от их геохимических свойств.

Доля кислоторастворимых форм тяжелых металлов не превышает 27 % их валового содержания, подвижных – 5–6 %, водорастворимых – 2 %, т. е. их объемы, способные принимать участие в техногенных потоках рассеяния и поглощаться биотой, составляют лишь незначительную часть общего количества, содержащегося в отходах угледобывающего производства.

Вместе с тем результаты экспериментального моделирования поведения системы «отходы–вода» свидетельствуют, что при последовательном многоэтапном воздействии воды, наряду с механическим растворением, в отходах протекают разнообразные деструктивные и синтетические реакции физико-химической природы, приводящие к повышению геохимической подвижности тяжелых металлов и увеличению содержания их миграционноспособных форм. В процессе выщелачивания содержание Fe в водных вытяжках колебалось в пределах 0,15–0,76 мг/дм^3; максимальные концентрации других микроэлементов не превышали 0,05–0,08 мг/дм^3. Исследование состава подотвальных вод показывает, что они характеризуются кислой реакцией (pH = = 3÷3,4) и повышенным содержанием сульфатов (3376–9274 мг/дм^3). Содержание в них тяжелых металлов характеризуется следующими значениями, мг/дм^3: $Fe_{общ}$ – 42–876; Mn – 3,31–13,91; Zn – 0,13–18; Ni – 0,18–4,44; Cu – 0,04–1,32; Pb – 0,17–0,55; Co – 0–0,67; Cr – 0,01–0,95; Cd – 0–0,14.

Результаты исследования почвенного покрова на участках, прилегающих к отвалам, подтверждает эмиссию тяжелых ме-

Таблица 1. Содержание тяжелых металлов в угольно-породных отвалах и почвах

Металл	Содержание, мг/кг					
	Породы			Почвы		
	к/р	подв.	в/р	к/р	подв.	в/р
Fe	1691–19380,3	130,1–918,2	0,3–167	9367–35650	97,3–734,2	2,4–392
Cr	10,0–55,1	1,8–18,9	0,3–0,7	0–23,5	0–8,9	0–1,5
Mn	2,6–48,8	0,6–21,6	0–2,6	7,5–47,8	1,8–9,7	0,2–4,8
Pb	2,1–27,7	0–2,2	0–1,1	0–3,5	0–0,3	0–0,2
Cu	4,1–24,3	0,2–4	0–2,9	3,8–110,2	0,2–2,2	0,2–1,8
Zn	3,7–22,6	0,6–6,7	0,2–2,2	12,3–102,3	1,2–8,8	0,3–2,5
Ni.	2,9–11,8	0,3–2,4	0–1,7	2,1–45,8	0,8–3,2	0,06–1,8
Co	0–4,3	0–1,7	0–0,8	1,9–14,3	0,2–1	0,05–0,56
Cd	0–3,4	0–1	0–0,7	0–3,5	0–0,3	0–0,2

Примечание. Форма тяжелых металлов: к/р – кислоторастворимая, подв. – подвижная, в/р – водорастворимая.

таллов в природные геосистемы за счет дефляции и водноэрозионных процессов. Для отдельных участков содержание их подвижных форм значительно превышает уровень концентраций в породах отвалов, что обусловлено накоплением миграционных соединений на природных геохимических барьерах. В ряде случаев это приводит к превышению содержания отдельных тяжелых металлов (Cr, Cu) относительно принятых ПДК и ОДК почв.

Экспериментально установлено, что после взаимодействия с водой содержание в отходах подвижных форм Ni, Fe, Mn, Cd, Co возрастает в 2, а Zn, Cu, Cr – в 3 раза по сравнению с их исходным содержанием (**рис. 2**), что свидетельствует о разрушении прочносвязанных с минеральной матрицей комплексов и переводом соединений в миграционноспособные формы.

Органические поллютанты. Содержание битуминозных веществ (ХБА) в исследованных грунтосмесях относительно невелико – 0,5–6 г/кг, из них на долю углеводородных соединений (нефтепродуктов – НП) приходится всего 2–13 % ХБА (0,04–2,39 г/кг). По данным тонкослойной хроматографии содержание углеводородных фракций в составе ХБА колеблется в пределах 18–62 %, в том числе метанонафтеновых соединений (МНФ) – 15,5–46,6 %, нафтеноароматических (НАФ) – 7,8–15,6 %.

Анализ МНФ ХБА пород методом хромато-масс-спектрометрии (ХМС) показал, что на долю углеводородных соединений приходится 48–62 %, бóльшая часть из них представлена алифатическими структурами (**табл. 2, рис. 3**). Алифатические углеводороды представлены рядом C_{11}–C_{43} с максимальным содержанием короткоцепочечных гомологов C_{13}–C_{18}. Ароматические структуры (64,8–159 мг/кг) преимущественно полициклические и представлены алкилзамещенными дифенилами, нафталинами, флуоренами, антраценами, фенантренами, пиреном, флуорантеном, 3,4-бензпиреном. Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) и их производные являются визитной карточкой органических веществ угольно-породных отвалов. Не исключено, что их накоплению способствуют термические процессы преобразования органических веществ, происходящие в отвалах (вплоть до самовозгорания). На это указывают данные по содержанию 3,4-бензпирена: в отвалах, где зафиксированы возгорания, концентрация данного соединения достигает 104 мкг/кг, в то время как в других отвалах его содержание не превышает 13–15 мкг/кг. Гетероструктуры битумоидов породных отвалов представлены широкой группой соединений, с доминированием карбоновых кислот, их производных и сераорганических соединений. Повышенное содержание последних объясняется, по всей видимости, высокой сернистостью углей Кизеловского бассейна.

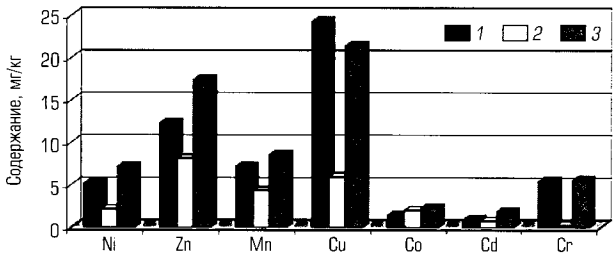

Рис. 2. Характер выщелачивания тяжелых металлов из породных отвалов Кизеловского бассейна:
1 – содержание кислоторастворимых форм тяжелых металлов в исходных отходах; *2* – суммарное содержание тяжелых металлов, перешедших в водную вытяжку при четырехкратном растворении; *3* – содержание кислоторастворимых форм в породах после взаимодействия с водой

По данным лабораторного моделирования поведения системы «отходы–вода», водные вытяжки грунтосмесей отвалов характеризуются следующими показателями: содержание аквабитумоидов (ХБА) – 0,6–2,35 мг/дм^3; нефтепродуктов – 0,05–0,8 мг/дм^3. В отдельных водных вытяжках зафиксировано присутствие фенолов – 0,002–0,005 мг/дм^3, более высокие концентрации которых отмечены в шахтных водах (0,03–0,1 мг/дм^3).

По данным ХМС, битумоиды водных вытяжек пород отвалов представлены преимущественно алифатическими углеводородами и гетеросоединениями с явным доминированием кислородсодержащих структур (см. табл. 2, рис. 3). Алифатические углеводороды представлены рядом C_{10}–C_{44} с бимодальным распределением н-алканов (первый максимум C_{13}–C_{14}, второй C_{20}–C_{21} или C_{35}–C_{36}), наличием изоалканов, алкенов и изопреноидов с длиной цепи C_{10}–C_{22}. Кислородсодержащие соединения включают алифатические нормальные, разветвленные, насыщенные и ненасыщенные спирты карбоновых кислот и их производные. Ароматические кислородные структуры представлены фуранами, фенантренами и фталатами. На долю последних приходится 11,4–23,9 % углеводородной фракции выщелачиваемых комплексов.

Таблица 2. Состав битумоидов отходов угледобывающего производства, % на МНФ ХБА)

Объект	Углеводороды			Гетеросоединения				
	Алканы	Нафтены	Арены	кислород-содержащие	азот-содержащие	серо-содержащие	галоген-содержащие	Поли-элементные
Породы отвалов	42,8–52,7	1,2–1,7	4,6–7,3	15,4–49,2	0,8–1,9	0–10,1	1,4–3,1	0–8
Водная вытяжка	54,6–62,5	1,7–1,8	Отс.	33,2–34,4	0–0,2	Отс.	1,4–6,6	0–3,7
Подотвальные воды	16–24,2	0–1,1	0,3–0,5	65,1–65,4	4,5–9,7	0–4,1	Отс.	4,3–4,4
Шахтные воды	6,4–19,5	0,6–3,2	0–1,1	70–84,6	0,4–3	0–1,5	0,2–2,8	0–6,1

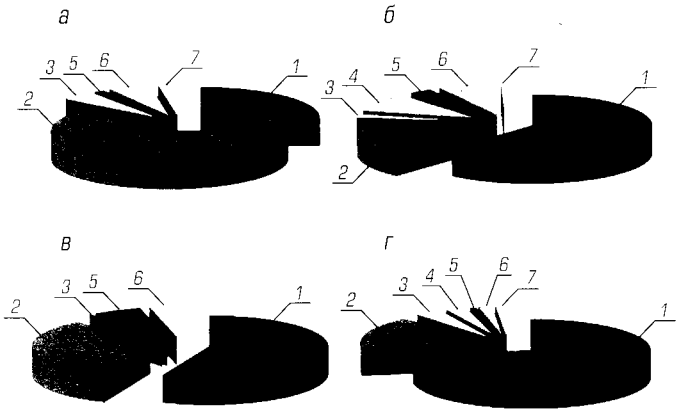

Рис. 3. Органические соединения отходов угледобывающих предприятий:
а – шахтные воды; *б* – породы отвалов; *в* – водная вытяжка пород отвалов; *г* – порода после взаимодействия с водой; *соединения: 1* – углеводороды; *2* – кислородсодержащие; *3* – азотсодержащие; *4* – серосодержащие; *5* – галогенсодержащие; *6* – полифункциональные; *7* – элементоорганические

Моделирование поведения системы «порода–вода» показало, что инфильтрующиеся воды выносят целую гамму органических соединений, многие из которых с экологической точки зрения практически не изучены. В качестве основных индикаторов присутствия угольной органики в составе аквабитумоидов могут рассматриваться гидрированные аналоги полициклических ароматических соединений (нафталины, фенантрены, антрацены). Среди идентифицированных структур особо следует отметить возросшее количество низкомолекулярных, ненасыщенных, галогенированных углеводородов и оксиранов, свидетельствующих об активном протекании в породных отвалах физико-химических и биохимических процессов деструктивного и синтетического характера.

Исследование состава подотвальных вод показало значительный уровень их органического загрязнения с содержанием, мг/дм^3: ХБА – 0,8–11,38; НП – 0,2–1,75; бензола – 0,36–0,39; толуола – 0,11–0,17; фенолов – 0,03–0,06. По-видимому, данное явление обусловлено многоэтапным воздействием атмосферных осадков на породы отвалов, приводящим к поступлению в водную фазу не только легкорастворимых соединений, но и прочносвязанных с минеральной матрицей структур. Аквабитумоиды подотвальных вод, в отличие от водных вытяжек пород, более окисленные – на долю смолисто-асфальтеновой фракции приходится до 79 %. По данным ХМС, в составе ХБА доминируют неуглеводородные структуры при подчиненном содержании углеводородов, представленных преимущественно н-алканами ряда C_{17}–C_{35}. В группе гетеросоединений, как и в водных вытяжках пород, доминируют фталаты, на долю которых приходится 12,2–51,4 % фракции. Высокое содержание данных соединений, являющихся, по всей видимости, продуктами трансформации ароматических структур, обусловлено их устойчивостью в условиях гипергенеза. Кроме того, подотвальные воды несут в окружающие геосистемы целый комплекс других ароматических экотоксикантов – алкилированные бифенилы и антрацены, пирен, флуорантен, галогенированные бензолы, бензамины и бензнитрилы, пиперидины, арилсульфокислоты и т. п. Помимо эфиров, экологически опасными являются и другие производные кислот, представляющие собой продукты более глубокого изменения карбоксильных алифатических и ароматических структур. Из их многообразия отметим амиды и нитрилы кислот, галоидированные и сульфированные эфиры и т. д.

Загрязнение прилегающих к отвалам почв наиболее ярко отражается в составе водных вытяжек проб из поверхностного горизонта: pH = 2÷4; суммарное содержание солей – 0,76–3,24 % (вес.); сульфат-иона – 0,51–1,33 % (вес.); ХБА – 2,4–4 мг/дм^3; нефтепродуктов – 0,77–3,24 мг/дм^3. Как и для подотвальных вод, характерна значительная окисленность почвенных битумоидов: на долю смолисто-асфальтеновой фракции приходится 63,6–92,9 % ХБА.

Приведенные результаты свидетельствуют, что преобразование угольно-породных отвалов в условиях гипергенеза приводит к геохимической трансформации природных органических соединений с образованием широкого спектра структур преимущественно кислородсодержащего типа, обладающих высокой растворимостью и миграционной способностью в водной среде.

Выводы

Таким образом, полученные результаты лабораторного моделирования поведения системы «отвалы–вода» свидетельствуют, что вода выступает не только как растворяющая и транспортирующая поллютанты среда, но и как активный реагент, способствующий активизации миграции тяжелых металлов и органических соединений. Экспериментально доказано, что при взаимодействии отходов с водой происходят разрушение органо-минеральных комплексов пород, увеличение геохимической подвижности и масштабов эмиссии поллютантов в прилегающие ландшафты и гидросферу, с формированием в них очагов загрязнения. Учитывая, что переход соединений в водную фазу является сложным и многоэтапным процессом, зависящим от климатических условий, можно прогнозировать значительную длительность (сотни лет) естественного затухания процессов техногенеза.

Библиографический список

См. англ. блок.

«GORNYI ZHURNAL», 2018, № 6, pp. 40–45
DOI: 10.17580/gzh.2018.06. 08

Geochemical aspects of technogenesis of the Kizel Coal Basin

Information about author
B. A.Bachurin[1], Head of Laboratory, Candidate of Geologo-Mineralogical Sciences, bba@mi-perm.ru

[1] Mining Institute, Perm Federal Research Center, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Perm, Russia

Abstract
The nature of pollution in hydrosphere and soil cover in the area of the Kizel Coal Basin is analyzed. The generalized results of ecological monitoring implemented in KCB by the Ural Center for Socio-Ecological Monitoring of Coal Mining Areas prove the absence of clear trends in the formation of mine water composition. Mine water chemistry depends on many factors (volume of mined-out voids in flooded mines, geological and hydrogeological conditions, mineral composition of rocks, etc.), and stabilization of hydrogeochemical mode should be individual per mine water inrushes.
It is shown that technogenesis continues to affect natural landscape after mine closure. The main cause is the access of acid mine water in the the upper to upper groundwater layers and to ground surface, which results in extreme contamination of rivers and sediments with sulfates, iron, alluminium and toxic microcomponents. Forms of occurrence of heavy metals and organic compounds in coal and rock piles and mine water are examined. Emission of these pollutants in mining-caused flows is studied in experimental modeling of rock–water system behavior. It is found that physicochemical processes in coal and rock piles under sulfuric acid hydrolysis promote decomposition of compounds stably bonded with mineral matrix and facilitate their mobility.
Results of laboratory modeling of pile–water system behavior show that water is both a dissolver/transporter of pollutants and a potent agent contributing to activation of migration of heavy metals and organic compounds. It is experimentally proved that water and waste interaction causes decomposition of organic and mineral compounds, increase in geochemical mobility and scale of emission of pollutants in the adjacent landscape and hydrosphere with the formation of the pollution foci.

Keywords: Kizel Coal Basin, mine water outflow, waste dumps, discharge outlets, heavy metals and microelements, waste and water interaction, laboratory modeling, mining-cased flows.

References
1. Bachurin B. A. Ecological problems of mining regions in the Perm Krai. *Ekologiya i promyshlennost Rossii.* 2006. No. 4. pp. 32–35.
2. Krasavin A. P., Safin R. T. Environmental Healing of Coal Mining Areas due to Mine Closure at the Kizel Coal Basin. Perm : Zvezda. 2005. 286 p.
3. Maksimovich N. G., Cheremnykh N. V., Khairulina E. A. Ecological consequence of mine closure at the Kizel Coal Basin. *Geograficheskii vestnik.* 2006. No. 2. pp. 128–134.
4. Solntseva N. P., Nikiforova E. M. Effect of mine water flows on geochemistry of forest earth (regarding coal mining). *Mineral Mining and Geochemistry of Natural Geosystems.* Moscow : Nauka. 1982. pp. 82–119.
5. Amos R. T., Blowes D. W., Bailey B. L., Sego D. C., Smith L., Ritchie A. I. M. Waste-rock hydrogeology and geochemistry. *Applied Geochemistry.* 2015. Vol. 57. pp. 140–156.
6. Imaikin A. K., Imaikin K. K. Hydrogeological Conditions at the Kizel Coal Basin during Operation and after Mining Completion, and Forecast of Alterations. Perm. 2013. 112 p.
7. Imaikin A. K. Mine water at the Kosvinskoe deposit of the Kizel Coal Basin. Prediction of hydrochemical mode of mine water discharge to ground surface. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya.* 2014. No. 5.
8. Gaidai M. F., Vaisman Ya. I. Evaluation and abatement of ecological impact of heaps in coal mining regions. *Ekologicheskie sistemy i pribory.* 2015. No. 12. pp. 11–21.
9. Anawar H. M. Sustainable rehabilitation of mining waste and acid mine drainage using geochemistry, mine type, mineralogy, texture, ore extraction and climate knowledge. *Journal of Environmental Management.* 2015. Vol. 158. pp. 111–121.
10. Arvind K.R., Biswajit P., Gurdeep S. Studies on leachate samples of overburden materials from some selected mines in Jharia coalfield, Dhanbad, Jharkahnd, India. *Report and opinion.* 2010. No. 2(7). pp. 59–64.
11. Qureshi A., Maurice C., Ohlander B. Potential of coal mine waste rock for generating acid mine drainage. *Journal of Geochemical Exploration.* 2016. Vol. 160. pp. 44–54.
12. Simate G. S., Ndlovu S. Acid mine drainage: Challenges and opportunities. *Journal of Environmental Chemical Engineering.* 2014. Vol. 2, Iss. 3. pp. 1785–1803.
13. Bachurin B. A., Odintsova T. A. Methodical features of hydrosphere organic pollution monitoring (in terms of mining areas). *Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki.* 2014. Vol. 19, Iss. 5. pp. 1646–1649.
14. Zhuravleva N. V., Ivanykina O. V., Ismagilov Z. R., Potokina R. R. The content of toxic elements in overburden and enclosing rocks of coal deposits of the Kemerovo region. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten.* 2015. No. 3. pp. 187–196.

УДК 622.817:622.822.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВЗРЫВОПОЖАРООПАСНОСТИ КАМЕННОУГОЛЬНОЙ ПЫЛИ ИННОВАЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ

С. Я. ЖИХАРЕВ[1], *главный научный сотрудник, д-р техн. наук*
В. А. РОДИОНОВ[2], *проф., канд. техн. наук, 79213258397@mail.ru*
Л. В. ПИККОНЕН[2], *зав. кафедрой, канд. техн. наук*

[1] *Горный институт УрО РАН – филиал ФГБУН Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН, Пермь, Россия*
[2] *Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы МЧС РФ, Санкт-Петербург, Россия*

При проведении экспериментальных исследований технологических свойств каменноугольной пыли применен синхронный термический анализ. Определение показателей взрывопожароопасности пыли велось с помощью 20-литровой взрывной камеры.

Ключевые слова: *синхронный термический анализ, каменноугольная пыль, взрывоопасная пыль, аналитическая проба, выход летучих, зольность, максимальное давление взрыва, скорость нарастания давления, показатели взрывопожароопасности, технологические параметры.*
DOI: *10.17580/gzh.2018.06.09*

Введение

С учетом устойчивого развития угольной промышленности России нарастает важность задачи обеспечения безопасности добычи, транспортирования и хранения угля [1–4]. Кроме того, увеличение нагрузки на угледобывающее предприятие негативно

© Жихарев С. Я., Родионов В. А., Пихконен Л. В., 2018