

УДК 504.064.36:574

DOI 10.18522/0321-3005-2016-3-66-71

ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОТОКИ УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ (НА ПРИМЕРЕ ДОНЕЦКОГО БАССЕЙНА)*

© 2016 г. В.Е. Закруткин, Е.В. Гибков

Закруткин Владимир Евгеньевич – доктор геолого-минералогических наук, заведующий кафедрой геоэкологии и прикладной геохимии, Институт наук о Земле Южного федерального университета, ул. Зорге, 40, г. Ростов-на-Дону, 344090, e-mail: vezak@list.ru

Zakrutkin Vladimir Evgen'evich – Doctor of Geological and Mineralogical Science, Head of the Department of Geocology and Applied Geochemistry, Institute of Earth Sciences of the Southern Federal University, Zorge St., 40, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: vezak@list.ru

Гибков Евгений Викторович – кандидат географических наук, старший преподаватель, кафедра геоэкологии и прикладной геохимии, Институт наук о Земле Южного федерального университета, ул. Зорге, 40, г. Ростов-на-Дону, 344090, e-mail: irvict@mail.ru

Gibkov Evgenii Viktorovich – Candidate of Geographical Science, Senior Lecturer, Department of Geocology and Applied Geochemistry, Institute of Earth Sciences of the Southern Federal University, Zorge St., 40, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: irvict@mail.ru

Представлены результаты исследования техногенных геохимических потоков в Донецком бассейне. Установлены масштабы влияния первичных и вторичных техногенных потоков на компоненты окружающей среды – атмосферный воздух, почвенный покров, поверхностные и подземные воды. Рекомендуется для уменьшения негативных последствий при формировании экологической обстановки в пределах углепромышленных территорий разработать специализированную систему управления указанными потоками.

Ключевые слова: геохимические потоки, породные отвалы, Донбасс, химический состав воды, уровень загрязнения, техногенные шахтные воды.

Results of research of technogenic geochemical streams in the Donetsk Basin are presented in article. Scales influence of primary and secondary technogenic streams on environment components – air, soils, the surface and underground water are established. It is recommended to reduce the negative effects of the formation of the environmental situation within the coal-mining territories to develop a specialized specified traffic management system.

Keywords: geochemical streams, coal dumps, Donbass, chemical composition, pollution level, technogenic mine water.

Углепромышленные территории традиционно относятся к наиболее проблемным в экологическом отношении регионам. Природные комплексы в их пределах на протяжении длительного времени подвергаются интенсивному техногенному воздействию, следствием которого является широкомасштабное загрязнение компонентов окружающей среды. Основную роль в этих негативных процессах, как показывают исследования, играют техногенные геохимические потоки, формирующиеся как на стадии эксплуатации угольных месторождений, так и вследствие ликвидации нерентабельных шахт.

Одна из первых попыток типизации техногенных геохимических (ТГ) потоков в пределах угледобывающих районов была предпринята Н.П. Солнцевой и Е.М. Никифоровой [1] в связи с необходимостью комплексного изучения геохимических особенностей природных объектов (почв, поверхностных и подземных вод, растительности, ландшафтов в целом), находящихся в сфере влияния отвалов вскрышных пород.

Этими авторами по аналогии с принятыми при геохимических поисках полезных ископаемых оп-

ределениями и с учетом характера (фазы) поступления вещества в природную среду были выделены: а) литохимические потоки – поступление веществ в твердой фазе; б) гидрохимические потоки – поступление веществ в жидкой фазе; в) атмосферические потоки – поступление веществ в газообразном виде. Дальнейшая типизация ТГ-потоков осуществлялась в зависимости от этапа трансформации территории угледобычи. Здесь, прежде всего, выделены первичные ТГ-потоки загрязнителей, образующиеся в процессе эксплуатации угольного месторождения и соответствующие техническому этапу. К ним относятся (при закрытом способе добычи) вскрышные и вмещающие породы, представляющие первичные ТГ литохимические потоки, шахтные воды – первичные ТГ гидрохимические потоки; дымы, пыль, аэрозоли от технических объектов (энергоотопительных систем, обогатительных и коксохимических предприятий) – первичные ТГ атмосферические потоки.

В местах аккумуляции этих потоков формируются первичные ореолы загрязнения. Важно подчеркнуть, что в качестве основного вида таких тех-

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-17-00376).

ногенных ореолов рассматриваются все виды отвалов вскрышных пород, которые, в свою очередь, являются причиной и источником формирования вторичных ТГ-потоков загрязнителей: атмо-, лито- и гидрохимических.

Данная статья посвящена характеристике техногенных геохимических потоков в пределах Донецкого каменноугольного бассейна – одного из крупнейших в Европе. Он расположен на территории Ростовской области Российской Федерации, Луганской и Донецкой областей Украины. Его эксплуатация осуществляется на протяжении более двухсот лет, что привело к извлечению на поверхность больших объемов вскрышных и вмещающих пород. В настоящее время в Донецком бассейне сформировалось более 1500 отвалов, в которых сосредоточено порядка 1400 млн м³ породного материала [2, 3]. Эти отвалы занимают более 12 тыс. га наиболее плодородных почв мира – черноземов и представляют собой, как отмечалось выше, пер-

вичные техногенные ореолы. В литологическом отношении отвалы представлены аргиллитами, алевролитами, песчаниками, углем и другими породами. Обломки отвальных пород неоднородны по гранулометрическому составу, имеют размер от глинистых частиц до глыб. Они складываются в основном в виде терриконов высотой до 80 м. Их геохимическая специфика обусловлена рядом факторов. В первую очередь она определяется региональными особенностями угленосной провинции (ее структурно-тектонической позицией, возрастом угленосной толщи, палеогеографическими условиями угленакопления и др.). Это хорошо видно на рис. 1, где демонстрируются существенные различия в геохимических спектрах микроэлементов вскрышных пород Донецкого и Кизеловского (Пермская область РФ) угольных бассейнов. Эти различия проявляются, прежде всего, в относительной обогащенности большинством элементов отвальных пород Донбасса.

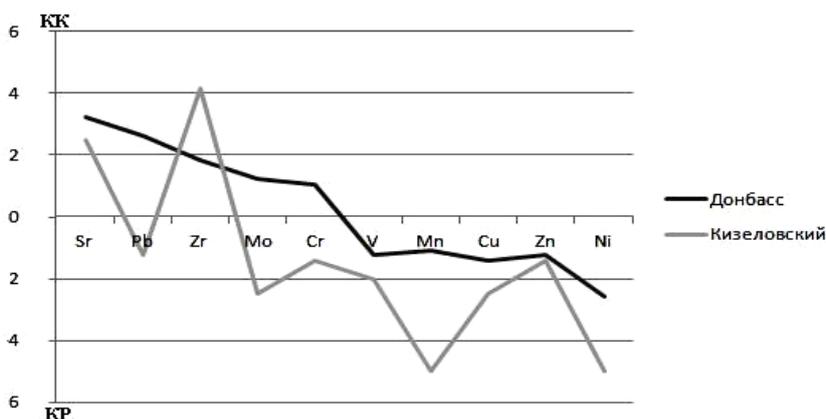


Рис. 1. Геохимические спектры отвальных пород Донецкого и Кизеловского угольных бассейнов (по данным [1, 4])

Неоднородность химического состава породных отвалов обнаруживается и внутри бассейнов при сравнении, например, отдельных его сегментов (Восточно-

го и Западного), а также в пределах сегментов при сопоставлении геохимических спектров отвальных пород различных углепромышленных районов (рис. 2).

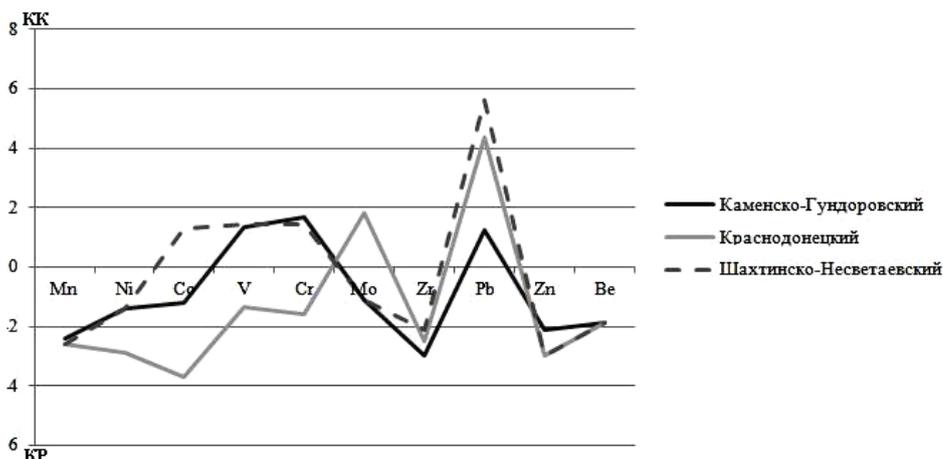


Рис. 2. Геохимические спектры отвальных пород углепромышленных районов Восточного Донбасса

И в том, и в другом случае геохимические особенности первичных литохимических ореолов будут зависеть от их возраста (длительности гипергенного этапа трансформации), состояния (негорелые, горелые и перегоревшие), количественных соотношений в них обломков пород различного литологического состава.

На рис. 3 демонстрируется сравнительная оценка геохимических спектров пород, из обломков ко-

торых в основном состоят эти отвалы. Как и следовало ожидать, большинство из рассматриваемых элементов проявляет склонность к накоплению в аргиллитах и алевролитах, особенно в их пиритизированных разностях. Таким образом, надо полагать, что чем большую роль в составе отвалов будут играть отмеченные разности пород, тем контрастнее будут выглядеть первичные литохимические ореолы.

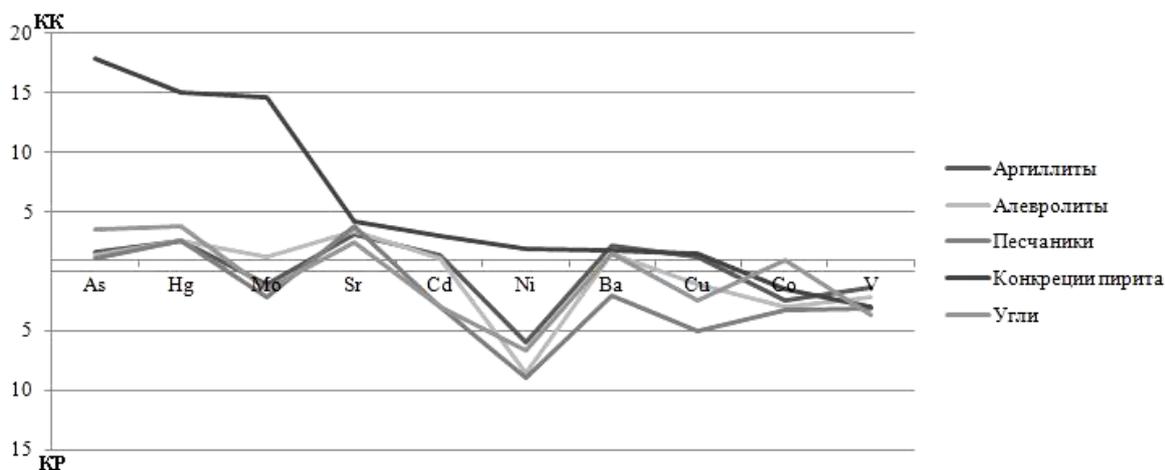


Рис. 3. Геохимические спектры отдельных литотипов Донецкого бассейна [4]

Породные отвалы угледобывающих районов неустойчивы в условиях земной поверхности. Они подвергаются, прежде всего, физическому и химическому выветриванию (окислению, гидролизу, гидратации, метасоматозу), что способствует изменению их химического состава. Среди химических процессов, протекающих в породных отвалах, особую роль играют процессы окисления сульфидов металлов, в основном пирита – неперменного компонента угленосных отложений. Реакции окисления протекают с выделением тепла и нередко сопровождаются самовозгоранием отвалов, обжигом, переплавлением минералов, фумарольными процессами. Гипергенная переработка и горение отвалов продолжаются на протяжении многих лет. В результате формируются трансформированные литохимические ореолы. Трансформация породных отвалов сопровождается образованием вторичных геохимических потоков – атмо-, гидро-, литогеохимических.

Поступление загрязняющих веществ в атмосферу происходит в результате ветровой эрозии и самовозгорания терриконов. Так, по имеющимся оценкам, в процессе дефляции за год с одного терриконика в пределах Донецкого бассейна в атмосферу поступает свыше 0,7 т пыли, которая, оседая, загрязняет 2,5 га сельскохозяйственных земель. А один интенсивно горящий отвал является источни-

ком выделения в атмосферный воздух от 5 до 25 т в год опасных для здоровья населения загрязняющих веществ – главным образом оксида углерода, диоксида серы, сероводорода и оксидов азота.

Газовые выделения из горящих угольных отвалов являются контрастными по своему химическому составу, что связано с длительностью процессов горения. У длительно горящих (высокотемпературных) терриконов типоморфными элементами выбросов в атмосферу являются S, Ti, Ag, Cd, Al, P, у «молодых» (низкотемпературных) – K, Cr, Co, As [5].

В процессе посттехногенной трансформации пород отвалов в результате окисления и сернокислого гидролиза образуются вторичные гидрохимические потоки, содержащие большое количество геохимически активных соединений. Состав водорастворимых солей, мигрирующих с этими потоками, – преимущественно сульфатный. Причем абсолютное количество SO_4 напрямую связано с состоянием терриконов: максимальное содержание анионов данного типа наблюдается в негорящих отвалах, минимальное – в уже перегоревших. Из катионов преобладают Na и Mg, соотношение которых также подвержено существенным колебаниям. Особого внимания заслуживают соединения Fe, содержание которых во вторичных гидрохимических потоках может достигать 5400 мг/дм^3 (табл. 1).

Таблица 1

Химический состав вторичных гидрохимических потоков Донецкого бассейна

Тип породного отвала	РН, ед. Н	Na+K, мг/дм ³	Ca, мг/дм ³	Mg, мг/дм ³	Cl, мг/дм ³	SO ₄ , мг/дм ³	Fe _{общ.} , мг/дм ³	Fe закис., мг/дм ³	Сух. ост., мг/дм ³
Негорящий (водоток № 1 из-под пор. отв. в п. Сидорово-Кадамовском)	3,14	15444	721	4815	253	50046	5400	3715	72325
Негорящий (выход воды № 1 из-под породного отвала ш. № 26)	2,96	4694	2605	5715	69	37720	2530	2160	52228
Перегоревший (выход воды из-под породного отвала шх. № 143)	4,12	224	120	112	49	982	0,06	0,03	1564
Горящий (выход воды № 1 из-под породного отвала шурфа № 5)	3,06	4209	521	4013	456	24551	12,8	4,8	35708

Сернистые миграционные потоки с породных отвалов при контакте с зональным типом почв, представленным черноземами обыкновенными, с нейтральной или слабощелочной реакцией среды формируют щелочные геохимические барьеры [3]. При этом часть элементов, мигрирующих в виде простых катионов (Zn, Cu, Pb, Cd, Li, Sr), осаждаются в форме слаборастворимых гидроокислов. Группа элементов, находящаяся в сернистом потоке в гидролизированных соединениях (Al, W, Be, Mo, Zr), осаждаются в почвах в виде простых ионов. В дальнейшем большая часть химических элементов поглощается почвой и концентрируется в гумусовом горизонте, формируя локальные зоны загрязнения, и только некоторая часть (Ag, Bi, Mo, Nb, W) рассеивается вниз по почвенному профилю.

Отвалы вскрышных пород являются источником не только водорастворимых соединений, но и коллоидных, а также большого количества механических взвесей, формирующих вторичные литохимические потоки. В основной своей массе этот материал переносится от отвалов поверхностными стоками. Вещества, поступающие в результате водной миграции, образуют специфические наносы на поверхности почв – «техногенный делювий», мощность которого меняется от нескольких сантиметров до полуметра. По микроэлементному составу образования данного типа на территории Донбасса занимают промежуточное положение между отвалами пород и почвами, находящимися за пределами выноса «техногенного делювия» (табл. 2).

Таблица 2

Микроэлементный состав отвальных пород, материала «техногенного делювия» и почв Донецкого Бассейна [3]

Объекты изучения	Cu	Pb	V	Mn	Ni	Mo	Zr	Sr	Cr	Zn
Отвальная порода	20	10	70	1000	30	3	300	10	100	30
Почва (шлейф выноса) – «техногенный делювий»	20	20	100	700	50	5	300	20	100	70
Почва (контроль)	30	30	100	700	50	5	300	10	100	100

Как известно, шахтные воды угольных бассейнов, представляющие собой первичные гидрохимические потоки, формируются за счет подземных вод, дренирующих горные выработки. Дополнительным источником может служить инфильтрация в выработанное пространство атмосферных осадков и поверхностных вод из прилегающих водных объектов, что особенно характерно для Донбасса, где трещиноватые горные породы пользуются широким распространением.

По своему составу шахтные воды сильно отличаются от исходных подземных вод по общей минерализации и содержанию большинства макро-

микрокомпонентов. В частности, в углепромышленных районах Восточного Донбасса их минерализация изменяется в пределах 1,3–4,5 г/л, а в отдельных случаях достигает 10–12 г/л. По химическому составу это преимущественно воды сульфатного класса натриевой группы.

Следует отметить, что химический состав шахтных вод непостоянен и заметно изменяется со временем. Так, по некоторым данным [6], за 5 лет эксплуатации угольных месторождений минерализация вод в отдельных шахтах Восточного Донбасса увеличилась на 9–13 %. При этом класс воды сменился с гидрокарбонатного на сульфатный,

а местами – на хлоридный. В катионном составе отмечен рост содержания натрия.

Однако наиболее существенные изменения в химическом составе шахтных вод произошли в последние 20–25 лет в связи с реструктуризацией угольной промышленности, предусматривающей ликвидацию нерентабельных шахт путем их затопления. Как показали наши расчеты, минерализация шахтных вод за этот период возросла в среднем на 55 %, а количество отдельных макрокомпонентов (сульфатов, Mg и Ca) увеличилось на 100–150 %. Аналогичные изменения произошли и в микрокомпонентном составе шахтных вод. В частности, содержание железа и марганца в водах ликвидиру-

ванных шахт оказалось в десятки раз выше, чем в водах периода их эксплуатации. Вместе с тем состав компонентов-загрязнителей техногенных шахтных вод в значительной степени соответствует набору типоморфных элементов в подземных и речных водах данного региона. Это свидетельствует о существенной роли техногенных шахтных вод в формировании качества поверхностной и подземной гидросферы. Дополнительным аргументом в пользу такого вывода служат геохимические спектры подземных, речных и шахтных вод, приведенные на рис. 4. Как видно, эти спектры в значительной степени симбатны, т.е. повторяют друг друга (имеют схожий ход изменения).

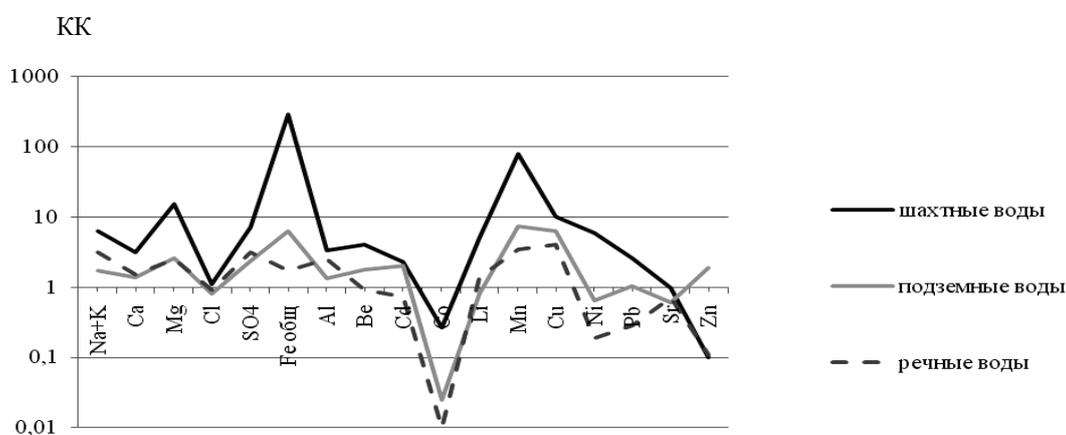


Рис. 4. Геохимические спектры шахтных, подземных и речных вод Восточного Донбасса

Затопление нерентабельных шахт способствовало поступлению техногенных шахтных вод в водоносные горизонты и формированию ореолов распространения сильнозагрязненных подземных вод, непригодных для хозяйственно-питьевого водоснабжения местного населения. Такая обстановка сложилась в ряде населенных пунктов Октябрьского и Красносулинского районов Ростовской области.

Ликвидация объектов добычи угля оказала резко негативное влияние и на качество поверхностных вод за счет сброса на рельеф и поступления в речную сеть сильнозагрязненных шахтных вод. Объектами такого влияния оказались, в частности, реки Кадамовка, Малый и Большой Несветай, Аюта, Кундрючья, Гнилуша, Лихая, Бургуста, Малая Каменка. В них, по некоторым оценкам [7], поступает от 150 до 2500 м³/ч таких вод. В результате многие малые реки практически полностью утратили свои природные функции, стали непригодными для использования не только в питьевых, но и в хозяйственных целях. Следует также учитывать высокую вероятность загрязнения речных вод не только сверху, но и снизу в связи с подъемом уровня подземных вод и выходом их на поверхность по

тектонически нарушенным зонам как естественно-го, так и техногенного происхождения. Увеличение питания рек и водоемов подземными водами в результате ликвидации шахт Восточного Донбасса отмечалось рядом исследователей [6, 8].

Таким образом, проведенные выше исследования наглядно продемонстрировали важную роль техногенных геохимических потоков в формировании экологической обстановки в пределах углепромышленных территорий. В связи с этим приоритетной природоохранной задачей становится разработка специализированной системы управления этими потоками с целью минимизации последствий их негативного влияния на компоненты окружающей среды.

Литература

1. Никифорова Е.М., Солнцева Н.П. Влияние техногенных потоков на геохимию лесных почв (в связи с угледобычей) // Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем. М., 1982. С. 82–130.
2. Коломенский Г.Ю., Гипич Л.В., Коломенская В.Г. Техногенные месторождения // Проблемы и перспек-

- тивы комплексного освоения минеральных ресурсов Восточного Донбасса. Ростов н/Д., 2005. С. 85–101.
3. Зубова Л.Г., Зубов А.Р., Харламова А.В., Воробьев С.Г., Макаришина Ю.И., Буныченко В.В. Терриконы. Луганск, 2015. 712 с.
 4. Кизильштейн Л.Я. Экогеохимия элементов-примесей в углях. Ростов н/Д., 2002. 296 с.
 5. Девятова А.Ю. Газофазные выбросы в атмосферу при горении угля // Изв. вузов. Горный журн. 2013. № 5. С. 29–34.
 6. Мохов А.В., Журбицкий Б.И., Карасев Г.К., Дымна А.И. Влияние угольного комплекса на геоэкологическую ситуацию // Проблемы и перспективы комплексного освоения минеральных ресурсов Восточного Донбасса. Ростов н/Д., 2005. С. 129–138.
 7. Закруткин В.Е., Иваник В.М., Гибков Е.В. Эколого-географический анализ рисков реструктуризации угольной промышленности в Восточном Донбассе // Изв. РАН. География. 2010. № 5. С. 94–102.
 8. Экологический мониторинг ликвидации неперспективных шахт Восточного Донбасса / под ред. В.М. Еремеева. Шахты, 2001. 82 с.
 2. Kolomenskii G.Yu., Gipich L.V., Kolomenskaya V.G. [Technogenic deposits]. *Problemy i perspektivy kompleksnogo osvoeniya mineral'nykh resursov Vostochnogo Donbassa* [Problems and prospects of integrated development of mineral resources of the Eastern Donbass]. Rostov-on-Don, 2005, pp. 85-101.
 3. Zubova L.G., Zubov A.R., Kharlamova A.V., Vorob'ev S.G., Makarishina Yu.I., Bunyachenko V.V. *Terrikony* [Waste heaps]. Lugansk, 2015, 712 p.
 4. Kizil'shtein L.Ya. *Ekogeokhimiya elementov-primesei v uglyakh* [Ecogeochemistry of trace elements in coals]. Rostov-on-Don, 2002, 296 p.
 5. Devyatova A.Yu. *Gazofaznye vybrosy v atmosferu pri gorenii uglya* [The gas-phase emissions from coal combustion]. *Izv. vuzov. Gornyi zhurn.*, 2013, no 5, pp. 29-34.
 6. Mokhov A.V., Zhurbitskii B.I., Karasev G.K., Dymna A.I. [Influence of coal complex geoecological situation]. *Problemy i perspektivy kompleksnogo osvoeniya mineral'nykh resursov Vostochnogo Donbassa* [Problems and prospects of integrated development of mineral resources of the Eastern Donbass]. Rostov-on-Don, 2005, pp. 129-138.
 7. Zakrutkin V.E., Ivanik V.M., Gibkov E.V. *Ekologo-geograficheskii analiz riskov restrukturalizatsii ugol'noi promyshlennosti v Vostochnom Donbasse* [Ecological and geographical analysis of the risk of restructuring the coal industry in the Eastern Donbass]. *Izv. RAN. Geografiya*, 2010, no 5, pp. 94-102.
 8. *Ekologicheskii monitoring likvidatsii neperspektivnykh shakht Vostochnogo Donbassa* [Environmental monitoring liquidation of unpromising mines of Eastern Donbass]. Ed. V.M. Eremeev. Shakhty, 2001, 82 p.

References

1. Nikiforova E.M., Solntseva N.P. [Influence of technological flows in the forest soil geochemistry (in connection with coal mining)]. *Dobycha poleznykh iskopayemykh i geokhimiya prirodnykh ekosistem* [Mining and geochemistry of natural ecosystems]. Moscow, 1982, pp. 82-130.
8. *Ekologicheskii monitoring likvidatsii neperspektivnykh shakht Vostochnogo Donbassa* [Environmental monitoring liquidation of unpromising mines of Eastern Donbass]. Ed. V.M. Eremeev. Shakhty, 2001, 82 p.