

УДК 556.3:550.42(470.61)

ТРАНСФОРМАЦИЯ ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТАВА ШАХТНЫХ ВОД В ВОСТОЧНОМ ДОНБАССЕ ЗА ПОЛВЕКА**Гавришин А.И., Быкова А.Д., Суховий В.М.***Южно-Российский государственный политехнический университет имени М.И. Платова, Новочеркасск, e-mail: agavrishin@rambler.ru*

Приведён анализ основных направлений изменений химического состава шахтных вод на территории Восточного Донбасса в период с 1967 по 2015 гг. Общий анализ показал, что со временем происходит усиление процессов окисления и рост минерализации шахтных вод за счет сульфатов. Детальное изучение процесса трансформации состава шахтных вод выполнено с помощью оригинальной технологии классифицирования многомерных наблюдений АГАТ-2. Обнаружено четыре направления изменения состава вод. По первому направлению формируются кислые сульфатные воды за счет процессов интенсивного окисления сульфидов и серы, заключенных в углях и горных породах. По второму направлению образуются хлоридно-сульфатные воды и процессы окисления переходят на второй план. По третьему направлению обнаружены сульфатно-хлоридные воды, образованные за счет притока в шахты (особенно глубокие) минерализованных хлоридных подземных вод. По четвертому направлению формируются оригинальные содовые воды, которые могут свидетельствовать о наличии в регионе нефтегазовых месторождений. Во время и после завершения ликвидации угольных шахт (к 2015 г.) резко усилились процессы окисления и образования сульфатных вод первого направления, снизилось образование вод второго направления, полностью отсутствуют воды третьего направления, ослаблено четвертое направление. Эти преобразования связаны с тем, что кардинально изменилось направление движения вод, теперь поток вод направлен через выработанное пространство шахт в окружающую среду, что приводит к формированию мощных «айсбергов» загрязнения и необходимости мероприятий по реабилитации окружающей среды в Восточном Донбассе.

Ключевые слова: Восточный Донбасс, шахтные воды, химический состав, трансформация

TRANSFORMATION OF MAIN DIRECTIONS OF CHANGES IN THE COMPOSITION OF MINE WATERS IN THE EASTERN DONBASS REGION FOR HALF A CENTURY**Gavrishin A.I., Bykova A.D., Sukhovi V.M.***South-Russian State Polytechnic University named Platov, Novocherkassk, e-mail: agavrishin@rambler.ru*

It is the analysis of the main directions of changes in the chemical composition of mine waters in the Eastern Donbass region during the period from 1967 until the year 2015. General analysis showed that, over time, increasing the processes of oxidation and mineralization increase mine water due to sulfates. A detailed study of the process of transformation of mine water composition performed using original technology classification of multivariate observations AGATE-2. Found the four main directions of changes in the composition of the waters. For the first direction formed acidic sulphate water by processes of intensive oxidation of sulfides and sulfur, prisoners in coals and rocks. Second track formed chloride-sulfate water and oxidation processes are moving to the sidelines. The third track found sulphate-chloride water, formed due to the inflow of the mines (especially deep) saline groundwater chloride. The fourth direction formed the original soda water, which may indicate the presence of oil and gas deposits in the region. During and after the Elimination of coalmines (to 2015) dramatically increased oxidation processes and formation of sulphate waters first destinations, decreased water education second, no third track, water weakened the fourth direction. These changes relate to the fact that the direction of movement of water has changed dramatically, now the flow of mine water from the mines to the environment Wednesday, resulting in the formation of a powerful «icebergs» of pollution and the need for rehabilitation of environment in the Eastern Donbass.

Keywords: Eastern Donbas, mine water, chemical composition, transformation

Восточный Донбасс является высокоиндустриальным регионом, в котором промышленные предприятия оказывают существенное влияние на состояние окружающей среды. Прежде всего это предприятия угледобывающего и углеперерабатывающего комплексов. При разработке угольных месторождений возникают такие отрицательные явления, как формирование техногенной трещиноватости горных пород, осушение массивов, появление высокоминерализованных шахтных вод, оседание земной поверхности, образование породных отвалов (тер-

риконов). Массовая ликвидация угольных шахт в регионе способствовала усилению многих указанных явлений: началось подтопление территорий, деформация горных пород, загрязнение природных вод, выделение «мертвого воздуха» и многие другие [1–3]. Это потребовало выполнить детальный анализ основных направлений трансформации химического состава шахтных вод при эксплуатации и после закрытия угольных шахт. Для этого выбраны два периода: 1967 г. – период расцвета угольной промышленности Восточного Донбасса и, практически через

пол века – 2015 г., когда процесс ликвидации угольных шахт региона был завершён.

Материалы и методы исследования

Накопление больших объемов количественной гидрогеохимической информации особенно остро поставило вопрос о развитии и применении методов классификационного моделирования многомерных наблюдений для эффективного анализа пространственно-временных закономерностей. Использование математики в геологии и гидрогеохимии, по мнению большинства исследователей, следует рассматривать преимущественно как применение метода математического моделирования.

Под математическим моделированием в геологии понимается такой способ познания свойств, строения и состава литосферы, когда по определенным правилам создается математическое описание некоторых геологических свойств объекта или процесса. Далее:

1) на основе изучения этого описания совершенствуются и расширяются (часто прогнозируются) геологические знания о том же объекте или процессе;

2) на базе установления подобия нового объекта известному объекту по математическому описанию части геологических свойств производится прогнозирование других свойств нового объекта.

Задачу многомерного классификационного моделирования можно сформулировать следующим образом. Множество наблюдений N , каждое из которых охарактеризовано M признаками, необходимо разделить на систему однородных подмножеств (таксонов). В каждом из однородных подмножеств наблюдения должны быть наиболее близки друг другу по всем признакам, а подмножества должны максимально различаться между собой.

Для анализа первичной гидрогеохимической информации в данной работе широко использованы обычные математико-статистические методы (оценка параметров, корреляционный и регрессионный анализы и т.п.) и G-метод классификации многомерных наблюдений, основанный на критерии Z-квадрат [1, 4]. G-метод реализован в виде инновационной компьютерной технологии АГАТ-2 и дает возможность выделять однородные таксоны наблюдений при отсутствии априорных сведений (задача без учителя), использовать зависимые признаки, оценивать сходство между таксонами, определять информативность признаков [1].

Классификационные методы играют ведущую роль в процессе познания человека

и окружающего мира. Общеизвестно значение таких гениальных классификаций в науке и повседневной жизни, как, например, периодическая система химических элементов, стратиграфическая шкала, классификации биологических видов, горных пород, природных вод по химическому составу и многих других. Каждый исследователь, получая новую информацию о природно-антропогенных системах, обязательно сталкивается с проблемой их классификации.

Анализ закономерностей формирования направлений изменения химического состава шахтных вод выполнен путем общего сопоставления параметров распределений макрокомпонентов и сравнения однородных таксонов наблюдений, выделенных автоматически по компьютерной технологии АГАТ-2. При этом в название вод включаются компоненты в основном с содержаниями более 20–25 %-молей и располагаются в порядке возрастания содержаний.

Результаты исследования и их обсуждение

Для оценки состояния окружающей среды Восточного Донбасса важное значение имеют изменения химического состава шахтных вод, которые многие годы оказывают негативное влияние на состав питьевых вод, на интенсивное загрязнение поверхностных и подземных вод, на общее состояние окружающей среды региона. В районах угольных шахт формируются мощные потоки загрязнения. По этой причине выполнен анализ главных направлений изменения состава шахтных вод в период максимального развития угольной промышленности в 1960-е гг. и после завершения массовой ликвидации шахт (2015 г.).

Таблица 1
Химический состав шахтных вод в 1967 г.

Компоненты	X_{cp}	Me	S	X_{max}
pH	6,7	7,3	1,8	8,6
HCO ₃	272	285	211	991
SO ₄	1765	1558	952	4327
Cl	500	329	507	2798
Ca	100	72	80	363
Mg	217	220	105	510
Na	757	689	476	3558
M	3600	3200	1900	11600

Примечания: X_{cp} – среднее значение; Me – медиана; S – стандартное отклонение; X_{max} – максимальное значение; M – минерализация.

Таблица 2
Химический состав шахтных вод в 2015 г.

Компоненты	X _{сп}	Me	S	X _{min}
pH	6,9	7,1	0,86	3,7
HCO ₃	521	506	261	6
SO ₄	2527	1968	1617	606
Cl	354	221	329	63
Ca	284	281	127	10
Mg	228	210	156	6
Na	589	479	466	62
M	4508	4025	2193	1380

Самые общие различия в составе шахтных вод видны уже при сравнении статистических параметров распределений макрокомпонентов (табл. 1 и 2). Минерализация увеличилась в основном за счет роста содержания сульфат-иона (в 1,43 раза), что

свидетельствует об интенсификации процессов окисления серы и сульфидов, заключенных в углях и горных породах [5–7].

Более детальный анализ главных направлений трансформации химического состава шахтных вод выполнен при классификации гидрогеохимической информации по компьютерной технологии АГАТ-2 [1, 4] с выделением однородных видов наблюдений (табл. 3), которые систематизированы по главным направлениям. По данным 1967 г. выделено 13 однородных видов, которые объединены в четыре главных направления изменения состава (обнаружены воды всех четырех направлений). По данным 2015 г. было выделено 9 однородных видов, но они объединены в три главных направления (табл. 4). Третье направление, когда образуются сульфатно-хлоридные воды, отсутствует.

Таблица 3
Главные направления изменения химического состава шахтных вод в 1967 г.
(мг/л и %-моль)

Направление	Вид	Компоненты						
		HCO ₃	SO ₄	Cl	Ca	Mg	Na	M
1	1.1	279	1130	260	89	191	363	2400
		14	65	21	12	44	44	
	2.3	151	2470	247	232	287	575	4000
		4	84	12	19	40	41	
	2.1	1	2350	152	81	260	621	3500
		0	92	8	8	41	51	
	2.2	0	3660	129	167	327	1030	5500
		0	95	5	10	34	56	
2.4	0	3660	334	87	311	1270	5600	
	0	89	11	5	30	65		
2	1.3	364	1700	423	65	186	809	3600
		12	66	22	6	29	65	
	A.1	336	2380	433	104	218	1030	4500
		8	74	18	8	27	65	
	A.2	308	2880	735	37	295	1360	5700
		6	70	24	2	29	69	
3	4.1	114	1660	1400	117	371	883	4400
		2	46	52	8	41	51	
	A.3	540	2200	2400	140	240	2250	8100
		7	38	55	6	16	78	
4	1.4	431	763	576	44	177	522	2600
		18	41	41	6	37	57	
	1.2	417	1070	486	36	54	855	2600
		16	52	32	4	10	86	
	3.1	827	666	863	38	30	1110	3600
		26	27	47	4	5	91	

Далее рассмотрено, как у шахтных вод формируются изменения химического состава (табл. 5). В 1967 г. кислые сульфатные шахтные воды формируются по первому гидрогеохимическому направлению. Их происхождение связано с развитием в горных выработках интенсивных процессов окисления серы и сульфидов. Эти воды вносят наибольший вклад в загрязнение окружающей среды региона. Формирование хлоридно-сульфатных шахтных вод по второму направлению связано с процессами окисления серы и с притоком хлоридных подземных вод при углублении горных выработок. В третьем направлении воды становятся сульфатно-хлоридными за счет притока хлоридных подземных вод на глубоких горизонтах отработки угольных пластов, процессы окисления серы значительно ослабевают.

По четвертому направлению формируются оригинальные содовые (первый тип по О.А. Алекину) шахтные воды с повышенным содержанием иона HCO_3 и очень низкими – Ca и Mg. Происхождение этих

вод связано с притоком в горные выработки подземных вод содового типа. Для Донецкого бассейна установлено два главных вида вертикальной гидрогеохимической зональности:

1) прямая гидрогеохимическая зональность характеризуется увеличением минерализации подземных вод с глубиной до 70–90 г/л и формированием хлоридных натриевых вод, которые сказываются на изменении состава шахтных вод по второму и третьему гидрогеохимическим направлениям;

2) по обратной вертикальной гидрогеохимической зональности происходит образование на значительных глубинах маломинерализованных подземных вод содового состава, происхождение которых авторы связывают с протеканием испарительно-конденсационных процессов и наличием нефтегазовых скоплений в Восточном Донбассе [1, 8]. Эти содовые подземные воды, поступая в горные выработки, формируют четвертое гидрогеохимическое направление изменения состава шахтных вод.

Таблица 4

Главные направления изменения среднего химического состава шахтных вод в 1967 г. (мг/л и %-моль)

Направления	HCO_3	SO_4	Cl	Ca	Mg	Na	M
1	65	2900	195	149	286	830	4425
	2	90	8	11	35	54	
2	353	1893	483	76	212	876	3893
	10	67	23	6	30	64	
3	299	1700	1543	125	284	1246	5197
	6	42	52	8	28	64	
4	545	856	626	39	84	832	2982
	20	39	41	4	15	81	

Таблица 5

Главные направления изменения среднего химического состава шахтных вод в 2015 г. (мг/л и %-моль)

Направления	HCO_3	SO_4	Cl	Ca	Mg	Na	M
1	292	4010	270	366	400	1402	6740
	7	85	8	19	32	49	
2	535	4056	359	322	306	1719	7297
	9	76	16	14	23	63	
3	–	–	–	–	–	–	–
	–	–	–	–	–	–	
4	425	1149	211	40	32	809	2666
	18	67	15	7	9	84	

После ликвидации угольных шахт к 2015 г. произошло коренное изменение направлений трансформации состава шахтных вод (табл. 5). Существенно усилились процессы окисления серы по первому направлению, что привело к увеличению содержаний SO_4 с 2,9 до 4,0, а минерализации вод с 4,4 до 6,7 г/л. Во втором направлении так же происходит резкий рост содержаний SO_4 с 1,8 до 4,1, минерализации с 4,4 до 7,3 г/л; снижается содержание Cl. Третье направление изменения состава вод, когда формировались сульфатно-хлоридные воды, отсутствует. Это свидетельствует о том, что резко снизился приток подземных хлоридных вод, формирующихся по прямой вертикальной геохимической зональности. Четвертое направление образования содовых вод претерпело некоторые изменения: уменьшились содержания HCO_3 и Cl; воды стали сульфатными.

Эти преобразования связаны с изменением направлений движения вод, теперь поток направлен через водовмещающее пространство шахт в окружающую среду, что приводит к формированию обширных потоков загрязнения природных вод [1, 4, 9].

Заключение

Приведён анализ направлений изменения химического состава шахтных вод на территории Восточного Донбасса в период с 1967 по 2015 г. Детальное изучение процесса трансформации состава шахтных вод выполнено с помощью оригинальной технологии классифицирования многомерных наблюдений АГАТ-2. Обнаружено четыре направления изменения состава вод. По первому направлению формируются кислые сульфатные воды в результате процессов интенсивного окисления сульфидов и серы, заключенных в углях и горных породах. Хлоридно-сульфатные воды образуются по второму направлению и процессы окисления переходят на второй план. По третьему направлению обнаружены сульфатно-хлоридные воды, образованные за счет притока в шахты (особенно глубокие) минерализованных хлоридных по составу подземных вод. По четвертому направлению формируются оригинальные содовые воды, которые могут свидетельствовать о наличии в регионе нефтегазовых месторождений. Во время и после завершения ликвидации угольных шахт к 2015 г. резко усилились процессы окисления и образования

сульфатных вод первого направления, снизилось образование вод второго направления, полностью отсутствуют воды третьего направления, слабо выражено четвертое направление. Эти преобразования связаны с тем, что кардинально изменилось направление движения вод, теперь поток вод направлен через выработанное пространство шахт в окружающую среду, что приводит к формированию мощных «айсбергов» загрязнения и необходимости мероприятий по реабилитации окружающей среды в Восточном Донбассе.

Список литературы

1. Гавришин А.И. Анализ информации о природных и антропогенных объектах, явлениях и процессах: учебное пособие / А.И. Гавришин. – Новочеркасск: Изд. ЮРГПУ (НПИ), 2016. – 139 с.
2. Крайнов С.Р. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты / С.Р. Крайнов, Б.Н. Рыженко, В.М. Швец. – 2-е изд., доп. – М.: ЦентрЛитНефтеГаз, 2012. – 672 с.
3. Mokhov A.V. The Hydrogeochemical Structure of Water Bodies in Flooded Openings of Coal Mines. *Doklady Earth Sciences*. 2012. Vol. 445, Part 1, pp. 903–905.
4. Гавришин А.И. Состояние окружающей среды в районе угольных шахт Восточного Донбасса / А.И. Гавришин // Горный журнал. – 2018. – № 1. – С. 92–96. DOI: 10.17580/gzh.2018.01.17.
5. Borisova V.E., Serbinovskaya A.M. Alternative methods of mine waters purification in Eastern Donbass // III Международная научная конференция преподавателей, молодых ученых и студентов. – Новочеркасск: Изд. ЮРГПУ (НПИ), 2016. – С. 153–156.
6. Помеляйко И.С., Помеляйко В.И. Диагностика экологического состояния ряда промышленных и курортных городов РФ // Нарзан-2015: материалы 3-го Национального научного форума. – Пятигорск: Изд. Рекламно-информационное агентство на КМВ, 2015. – С. 197–221.
7. 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, SGEM 15th. 2015. P. 927–932.
8. Бобух В.А. Региональное надвигообразование северных окраин Восточного Донбасса в связи с формированиями залежей УВ / В.А. Бобух, А.А. Чихирин, В.Н. Тюльдин // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2004. – № 7. – С. 22–28.
9. Редина М.М., Хаустов А.П. Нормирование качества геологической среды: анализ зарубежного опыта, проблемы и тенденции // Нарзан-2015: материалы Национального научного форума. – Пятигорск: Изд. Рекламно-информационное агентство на КМВ, 2015. – С. 247–269.

References

1. Gavrishin A.I. Analiz informacii o prirodny'x i antropogenny'x ob'ektax, yavleniyax i processax: uchebnoe posobie / A.I. Gavrishin. – Novochoerkassk: Izd. YuRGPU(NPI), 2016. – 139 p.
2. Krajnov S.R. Geoximiya podzemny'x vod. Teoreticheskie, prikladny'e i e'kologicheskie aspekty' / S.R. Krajnov, B.N. Ry'zhenko, V.M. Shvecz. – 2-e izd., dop. – M.: CentrLitNefteGaz, 2012. – 672 p.
3. Mokhov A.V. The Hydrogeochemical Structure of Water Bodies in Flooded Openings of Coal Mines. *Doklady Earth Sciences*. 2012. Vol. 445, Part 1, pp. 903–905.

4. Gavrishin A.I. Sostoyanie okruzhayushhej sredy` v rajone ugol'ny`x shaxt Vostochnogo Donbassa / A.I. Gavrishin // Gornyj zhurnal. – 2018. – № 1. – P. 92–96. DOI: 10.17580/gzh.2018.01.17.
5. Borisova V.E., Serbinovskaya A.M. Alternative methods of mine waters purification in Eastern Donbass // III Mezhdunarodnaya nauchnaya konferenciya преподаvatelej, molody`x ucheny`x i studentov. – Novocherkassk: Izd. YuRGPU(NPI), 2016. – P. 153–156.
6. Pomelyajko I.S., Pomelyajko V.I. Diagnostika e`kologicheskogo sostoyaniya ryada promy`shlenny`x i kurortny`x gorodov RF // Narzan-2015: materialy 3-go Nacional'nogo nauchnogo foruma. – Pyatigorsk: Izd. Reklamno-informacionnoe agentstvo na KMV, 2015. – P. 197–221.
7. 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, SGEM 15th. 2015. P. 927–932.
8. Bobux V.A. Regional'noe nadvigoobrazovanie severny`x okrain Vostochnogo Donbassa v svyazi s formirovaniyami zalezhej UV / V.A. Bobux, A.A. Chixirin, V.N. Tyul'din // Geologiya, geofizika i razrabotka neftny`x i gazovy`x mestorozhdenij. – 2004. – № 7. – P. 22–28.
9. Redina M.M., Xaustov A.P. Normirovanie kachestva geologicheskoy sredy`: analiz zarubezhnogo opy`ta, problemy` i tendencii // Narzan-2015: materialy 3-go Nacional'nogo nauchnogo foruma. – Pyatigorsk: Izd. Reklamno-informacionnoe agentstvo na KMV, 2015. – P. 247–269.