
**ЗАГРЯЗНЕНИЕ
ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ**

УДК 574:550.42:662.51

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА
ШАХТНЫХ ВОД И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКУЮ
СИТУАЦИЮ (ш. КОМИССАРОВСКАЯ, ВОСТОЧНЫЙ ДОНБАСС)**

© 2015 г. А. И. Гавришин

*Южно-Российский государственный политехнический университет
им. М.И.Платова ЮРГПУ(НПИ),
ул. Просвещения 132, г. Новочеркасск, 346428 Россия. E-mail: agavrishin@rambler.ru*

Поступила в редакцию 12.01.2015 г.

Выделены и детально описаны четыре главных направления изменения химического состава шахтных вод. Охарактеризована трансформация состава шахтных вод шахты Комиссаровская в период ее функционирования и после ликвидации (1946–2013). Наиболее интенсивные изменения и формирование аномального состава вод отмечены после затопления шахты. При исследовании потоков загрязнения вод рассмотрены процессы окисления, растворения и выщелачивания. Охарактеризовано влияние шахтных вод на геоэкологическую обстановку в регионе.

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

ВВЕДЕНИЕ

Длительное функционирование в Восточном Донбассе угледобывающего и углеперерабатывающего комплексов привело к негативным последствиям в состоянии окружающей среды: интенсивное загрязнение поверхностных вод и атмосферы, изменение режима и баланса подземных вод, трансформация химического состава природных вод с образованием минерализованных шахтных вод.

Реструктуризация угольной промышленности и массовое закрытие шахт не привели к улучшению экологической ситуации во многих угледобывающих регионах. Наряду с такими традиционными отрицательными явлениями, как оседание земной поверхности, деформация горных пород, начали развиваться процессы подтопления территорий и породных отвалов, формирование аномальных по составу вод, выделение “мертвого воздуха” и многие другие. В изменении гидрогеологических условий угледобывающих районов центральное место занимают гидрогеохимические аспекты – интенсивное изменение состава шахтных, подземных и поверхностных вод. Яркий пример указанной ситуации – трансформация состава вод шахты Комиссаровской в процессе ее функционирования и после ликвидации.

При анализе данных использованы названия типов вод по классификации О.А. Алекина. В название вод по химическому составу включаются компоненты с содержанием ≥ 25 %-экв, которые располагаются в порядке возрастания содержаний.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТАВА ШАХТНЫХ ВОД

Влияние горнодобывающей промышленности на формирование химического состава шахтных и подземных вод давно привлекло внимание специалистов. Особенно интенсивные изменения состава были отмечены при разработке рудных и угольных месторождений. По мере развития горных работ, особенно при отработке без закладки вырабатываемого пространства и формировании обширных воронок обрушения, значительно возросла минерализация вод, концентрации сульфат-иона, и снижались величины рН. Постепенно формировались очень агрессивные кислые шахтные воды сульфатного состава, в которых содержание Fe, Cu, Al, Mn и других металлов достигали сотен и даже тысяч мг/л. Основные негативные последствия этих процессов сводятся к тому, что, с одной стороны, агрессивные шахтные воды интенсивно разрушают шахтное оборудование, одежду горняков и создают неблагоприятные

Таблица 1. Средний химический состав шахтных вод по гидрогеохимическим направлениям (мг и %-экв)

Направление	pH	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Ca	Mg	Na	Fe	M
1	6.0	360	2515	266	349	205	730	11.1	4450
		9	80	11	26	26	48		
2	7.6	516	1577	730	290	138	873	3.4	4235
		14	53	33	23	18	59		
3	7.8	487	1489	1396	179	124	1370	1.6	5055
		10	40	50	11	13	76		
4	7.6	1217	1105	885	107	84	1350	1.1	4566
		29	34	37	8	10	82		

условия труда. С другой стороны – шахтные воды при сбросе сильно загрязняют окружающую среду, формируя зоны опустынивания с гибелью растительности, зоо- и фитопланктона [3, 4, 6].

Для определения направлений и особенностей изменения химического состава шахтных вод шахты Комиссаровской необходимо рассмотреть общие закономерности трансформации состава шахтных вод в Восточном Донбассе. Анализ этих закономерностей по результатам обобщения более 1500 анализов вод за столетний период (с 20-х годов прошлого столетия до 2010 г.) показал, что во все обследованные периоды выделяются четыре главных направления изменения химического состава шахтных вод (выделено с помощью G-метода многомерного классификационного моделирования [3]). В табл. 1 приведены результаты выделения направлений по данным опробования шахтных вод в 1994 г. перед периодом массовой ликвидации угольных шахт региона. Ранее было выделено три основных направления трансформации состава шахтных вод [4], но получение новых современных данных, применение метода классификации многомерных наблюдений (G-mode) и детальный компьютерный анализ информации по программе AGAT-2 [1, 5, 8] позволили обнаружить четвертое специфичное направление, по которому образуются содовые воды (первый тип по О.А. Алекину).

По первому гидрогеохимическому направлению формируются кислые сульфатные шахтные воды, значение pH опускается до 2.2, содержание SO_4^{2-} возрастает до 4.0–4.5, а минерализация – до 10–11 г/л; воды существенно обогащены Fe, Mn, Al, Cu и другими металлами. Генезис данного направления связан с интенсивным развитием в горных выработках процессов окисления серы и сульфидов. Типоморфные компоненты этих вод –

SO_4^{2-} (высокое содержание) и HCO_3^- (низкое содержание). Воды шахты Комиссаровской относятся к этому типу и характеризуются аномальным химическим составом.

Второе направление изменения состава шахтных вод приводит к формированию хлоридно-сульфатных шахтных вод, происхождение которых связано, как с процессами окисления серы, так и с притоком хлоридных подземных вод при углублении горных выработок. Типоморфные компоненты направления – SO_4^{2-} и Cl^- (повышенное содержание). По составу воды хлоридно-сульфатные и относятся преимущественно ко второму гидрогеохимическому типу (по О.А. Алекину).

В третьем гидрогеохимическом направлении еще больше усиливается роль хлоридных ионов, воды становятся сульфатно-хлоридными за счет притока хлоридных подземных вод на глубоких горизонтах отработки угольных пластов. По составу воды относятся ко второму и третьему гидрогеохимическим типам. Типоморфный компонент – Cl^- (высокое содержание).

По четвертому направлению формируются оригинальные содовые шахтные воды с повышенным содержанием иона HCO_3^- и очень низкими содержаниями Ca и Mg. По составу воды относятся к первому типу по О.А. Алекину. Происхождение этих оригинальных вод обусловлено притоком в шахты содовых подземных вод, которые связаны с испарительно-конденсационными процессами и возможным наличием в регионе нефтегазовых скоплений [2, 3, 7], например, в структурах Гуково-Зверевского угленосного района.

При ликвидации некоторых угольных шахт в Восточном Донбассе начали формироваться воды аномального состава с очень высокими минерализацией и содержаниями компонентов.

Таблица 2. Химический состав шахтных вод ш. Комиссаровская (мг/л)

Объект	M	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl	Ca	Mg	Na	Fe	pH
Грунтовые воды	1240	486	531	63	151	68	179	0.31	7.3
Водоотлив-1960 г.	1800	350	850	106	124	103	266	0.4	7.8
Водоотлив-1972–1981 г.	2770	26	1770	115	204	190	340	15	5.2
Водоотлив-1988–1993 г.	3300	0	2150	151	250	212	435	21	5.2
Среднее по шахте	3700	200	2242	198	200	211	641	39	5.8
Скв. 8993–2000 г.	15 500	757	9800	107	250	950	2900	170	6.4
Скв. 8994–2000 г.	17 500	252	11 500	118	330	1200	2800	333	6.2
Скв. 9083–2001 г.	11 190	897	6720	161	308	840	1560	212	5.9
Скв. 9083–2002 г.	14 640	674	9260	200	411	1110	2000	317	5.9
Скв. 9083–2003 г.	14 250	521	8880	256	561	1160	1420	405	6.1
Скв. 9083–2004 г.	13 360	228	8554	188	504	717	2125	330	6.3
Скв. 9083–2005 г.	11 190	592	7650	166	420	1088	1120	370	6.2
Скв. 9083–2006 г.	10 340	372	6300	240	561	923	785	320	6.1
Скв. 9083–2007 г.	10 360	378	6400	135	540	954	800	290	6.2
Скв. 9083–2008 г.	10 130	372	6200	201	505	813	1000	330	6.1
Скв. 9083–2009 г.	11 224	370	7024	223	490	835	1130	513	6.1
Скв. 9083–2010 г.	12 010	378	7436	138	430	1095	1498	442	6.2
Скв. 9083–2011 г.	11 422	378	7360	216	690	858	1594	267	6.2
Скв. 9083–2012 г.	11 513	372	7683	187	671	797	1839	665	6.1
Скв. 9083–2013 г.	10 480	370	7138	106	481	972	1382	462	6.1

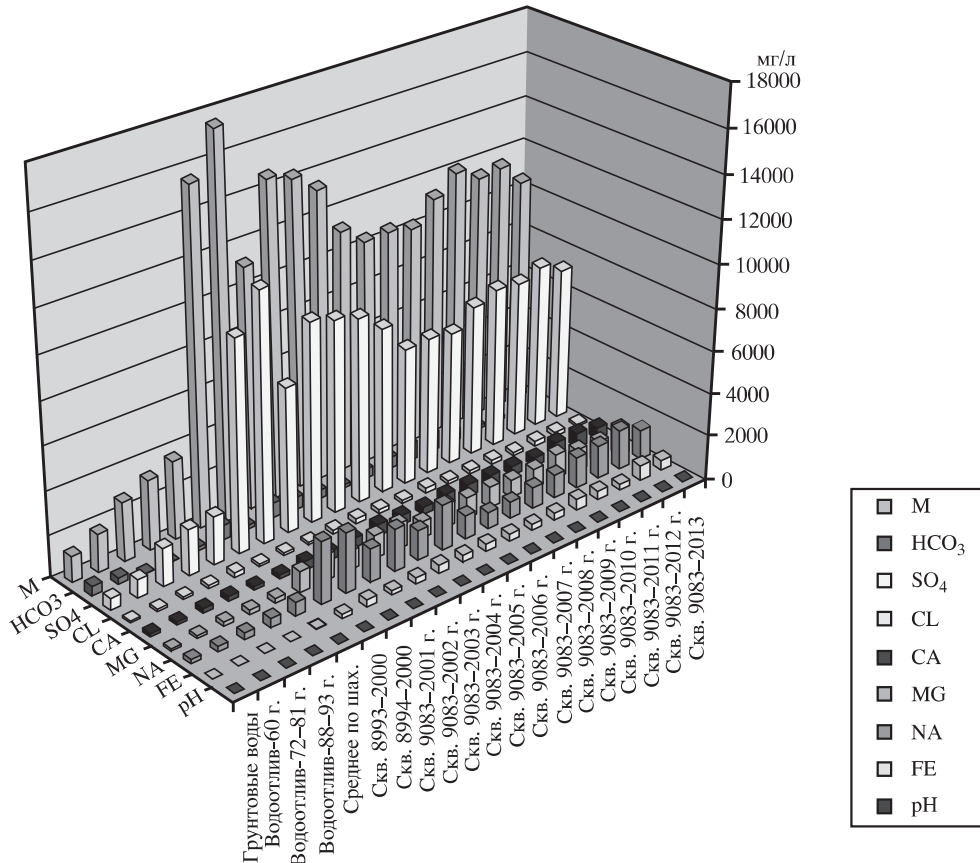
ТРАНСФОРМАЦИЯ ШАХТНЫХ ВОД ШАХТЫ КОМИССАРОВСКАЯ ДО И ПОСЛЕ ЕЕ ЛИКВИДАЦИИ

Шахта Комиссаровская расположена к востоку от г. Гуково, у пос. Лихой, пущена в эксплуатацию в 1946 г. Шахта отрабатывала пласт K_2^H мощностью от 1 до 2 м с породными прослоями. Разработка пласта велась системами с обрушением кровли и оставлением угольных целиков в выработанном пространстве. Глубина отработки составляла от 30 до 470 м. Ликвидация шахты “мокрым” способом, путем затопления выработанного пространства, начата в январе 1996 г. и затоплена практически полностью через 3.5 года. В 2000–2001 гг. затопленные выработки дренировались самоизливающимися скважинами 8993 и 8994, с августа 2001 г. – скв. 9083, а в конце 2009 г. была пробурена скв. 58 в балке Дубовая глубиной 45 м, которая вскрыла на отметке +93 м затопленный горизонт. После сооружения скв. 58 изменился водный баланс затопленного техногенного горизонта шахты: выход шахтных вод на поверхность из скв. 9083 и 3319 и по их затрубному пространству уменьшился более чем в 2 раза и составляет около 35 м³/час, по новой скв. 58 расход составляет до 25 м³/час. Таким образом, общий расход поступающих на поверхность шахтных вод составляет ~ 60 м³/час.

Общая схема преобразования химического состава подземных вод в районе закрытия шахты Комиссаровской выглядит следующим образом. В области питания грунтовые воды (табл. 2) имеют весьма умеренную минерализацию (по величине сухого остатка) 1.2 г/л, содержание сульфатов – 531 мг/л, pH – 7.3, средний состав гидрокарбонатно-сульфатный магниево-кальциево-натриевый.

Общий шахтный слив до 1960-х годов отличался от фоновых вод довольно незначительно, и средняя минерализация составляла 1.8 г/л, содержание сульфатов 850 мг/л, pH – 7.8. Это свидетельствует о незначительном развитии процессов окисления в первые 20 лет отработки месторождения (табл. 2, рисунок). В 1970-е и начале 1980-х годов произошло снижение величины pH в среднем до 5.2, увеличение содержаний SO_4^{2-} до 1770 мг/л и минерализации до 2.8 г/л, что свидетельствует об усилении процессов окисления сульфидов. В дальнейшем влияние окислительных процессов постепенно нарастало, что привело к увеличению минерализации до 3–4 г/л, сульфатов до 2500 мг/л, в воде обнаруживались значительные количества Fe до 27 мг/л и CO_2 до 35 мг/л.

В конце 1980-х и начале 1990-х годов продолжилось повышение минерализации вод (до 3.3 г/л) и содержаний всех компонентов, особенно



Изменение химического состава вод в районе шахты Комиссаровская.

SO_4^{2-} (>2 г/л) и Fe (до 40 мг/л). Средний состав шахтных вод за 46 лет (до ликвидации шахты приведён в табл. 2).

После закрытия (1996 г.) шахты Комиссаровской началось постепенное заполнение природно-техногенного резервуара (выработанного и нарушенного отработкой пространства) подземными водами, которое в основном завершилось в апреле 2000 г., о чем свидетельствует подъем уровня и начало самоизлива из скв. 8993. Бурение скважин 8993 и 8994 и дальнейший самоизлив способствовали усилению водообмена в природно-техногенном резервуаре, обеспечили приток новых порций агрессивных вод из области питания и развитие процессов окисления. Состав воды в скв. 8993 и 8994 существенно отличается от среднешахтного (во время эксплуатации шахты): значительно выше минерализация – до 17 г/л, преимущественно за счет роста содержаний SO_4^{2-} (до 12 г/л), Na (до 3.4 г/л) и Mg (до 1.2 г/л). Увеличилась концентрация Fe (до 500 мг/л); обнаружены высокие содержания Mn (до 70 мг/л), NH_4^+ (30–80 мг/л), NO_3^- (до 6 мг/л). Основной дренаж шахтных вод многие годы осуществлялся скв.

9083, которая расположена на восточной окраине хутора Комиссаровский. Изливающаяся из скважин вода поступает в р. Лихую, загрязняя ее на многие километры. В речных водах обнаружены высокие содержания (мг/л): SO_4^{2-} до 10 000, Fe до 1000, Mn до 75, Sr до 5.2, Al до 1.5, Cr до 0.6, Co до 0.2, Ni до 0.6 и других компонентов.

Таким образом, надежно установлено, что после ликвидации шахты Комиссаровской произошло подтопление территории, выход шахтных вод на поверхность, резкий рост минерализации вод и содержания всех компонентов (см. табл. 2 и рис.).

ОСНОВНЫЕ ПРОЦЕССЫ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТАВА ШАХТНЫХ ВОД

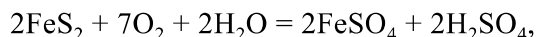
Для шахтных вод Восточного Донбасса характерна высокая неоднородность состава: минерализация и содержание отдельных компонентов изменяются в десятки раз, щелочно-кислотные условия колеблются от щелочных с pH = 8.5 до сильноокислых – 2.25. Главная причина интенсивных изменений состава шахтных и подземных вод после ликвидации угольных шахт, как это имело

место на шахте Комиссаровской, – интенсивное развитие процессов окисления серы и растворения сульфатов, ранее накопившихся в зоне выветривания. Определенную роль сыграли, видимо, процессы жизнедеятельности тионовых бактерий и нейтрализации за счет взаимодействия кислых вод с известняками.

Содержание серы в углях (а часто и во вмещающих породах) составляет в основном 1.5–6%, в Донецких углях в среднем 3.5%. Обнаруживаются три главные формы сернистых соединений: сульфидная сера (преимущественно пирит и марказит), органическая сера и сульфатная сера. В донецких каменных углях больше всего содержится серы в сульфидной форме (пирит) – до 65%, и органической – до 32%. При “мокрой” ликвидации шахты Комиссаровской был обеспечен доступ агрессивных грунтовых, атмосферных и поверхностных вод, обогащенных кислородом, на значительные глубины и к большим объемам измельченных углей и горных пород. В этих условиях при больших площадях соприкосновения в системе вода – порода интенсивно протекают процессы окисления, растворения и выщелачивания.

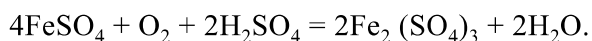
Проникновение кислорода в пиритизированные угли, сланцы и глины приводит к развитию процессов окисления с образованием таких минералов, как мелантерит ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{K}_2\text{O}$), кокимбит ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$), калиевые квасцы ($\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$), ярозит ($\text{KFe}_3(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_2$), ромбоклаз ($\text{FeH}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) и др. Эти минералы затем переходят в подземные воды, обогащая их сульфат-ионом, Fe, K, Al и другими металлами.

1-й этап окисления пирита приводит к образованию серноокислого железа по реакции:

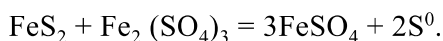


в результате чего величина pH вод снижается и повышается концентрация сульфат-иона. Дальнейшая ситуация может развиваться по двум различным сценариям.

По первому сценарию в условиях наличия свободного кислорода происходит химическое окисление двухвалентного железа до трехвалентного:



Этот процесс имеет максимальную скорость при pH = 5.2 и замедляется при снижении pH, но резко увеличивается при наличии тионовых бактерий. Частично образовавшееся окисное сернокислородное Fe^{3+} вновь реагирует с пиритом, переходя в закисную форму Fe^{2+} :

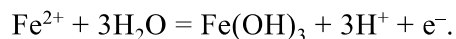


Далее при активном участии тионовых бактерий молекулярная сера окисляется до серной кислоты, и цикл химических и биологических реакций повторяется:

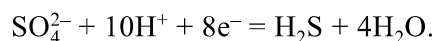


В результате указанных процессов резко снижается кислотность среды (до 2 и ниже), возрастает концентрация SO_4^{2-} , гидрокарбонат-ион переходит в угольную кислоту (H_2CO_3^0). Содержание закисного железа ограничено, и может преобладать окисное.

По второму сценарию, когда основная часть кислорода расходуется на окисление пирита, закисное железо частично переходит в окисное по схеме (и может выпадать из раствора):



Дальнейшее снижение окислительного потенциала и наличие сульфатредуцирующих бактерий могут приводить к появлению сероводорода:



Таким образом, после затопления шахты Комиссаровской в результате указанных процессов начали формироваться высокоминерализованные шахтные воды, которые резко ухудшили геологическую ситуацию в регионе и привели к интенсивному загрязнению, прежде всего, поверхностных и подземных вод.

ВЛИЯНИЕ ШАХТНЫХ ВОД НА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКУЮ ОБСТАНОВКУ В РЕГИОНЕ

Шахтные воды оказывают существенное влияние на формирование негативной ситуации в Восточном Донбассе. Вынос шахтными водами на поверхность растворенных веществ к настоящему времени превысил доликвидационный период, когда он составлял 395 тыс.т/год (1992 г.). В настоящее время вынос растворенных веществ составляет более 450 тыс.т/год, в том числе SO_4^{2-} – 220, Cl^- – 35, Ca – 30, Fe – 3 тыс.т/год.

В табл. 3 приведены данные о выносе растворенных веществ и некоторых компонентов шахтными водами в гидрографическую сеть Восточного Донбасса. Наибольший вынос растворенных веществ, сульфат-иона и железа происходит в реки Грушевка (167, 91 и 2.5 тыс. т/год соответственно), Кундрючья (100, 50, 0.37), Кадамовка (91, 57, 0.76), Лихая (35, 17, 0.48); наиболее загрязнен бассейн р. Тузлов.

Таблица 3. Вынос растворенных веществ и отдельных компонентов шахтными водами Восточного Донбасса в гидрографическую сеть

Бассейн, река	Показатели шахтных вод					
	Расход шахтных вод, млн м ³ /год	Растворенные вещества, тыс. т/год	SO ₄ ²⁺ , тыс. т/год	Fe, тыс. т/год	M, г/л	pH
Б. Каменка	4.0	19.4	8.2	0.013	4.8	7.5
М. Каменка	0.44	2.2	1.3	0.012	5.1	6.5
Калитва	0.4	2.4	1.3	0.002	6.0	6.4
Лихая	7.5	35.0	17	0.48	4.7	7.0
Быстрая	2.5	17.5	7.7	0.3	7.0	6.3
Кундрючья	25	100	50	0.37	4.0	7.5
Всего Северский Донец	40	184	86	1.2	4.5	7.3
Б. Несеветай	1.3	9.8	5.3	0.16	7.5	6.6
Грушевка	22.8	167	91	2.5	7.5	6.6
Кадамовка	7.6	90.7	57	0.76	11.9	6.2
Всего р. Тузлов	31.4	269	155	3.4	8.6	6.6
Итого р. Дон	72.4	453	241	4.6	6.3	7.0

Таблица 4. Изменение состава вод р. Лихая (2002 г., мг/л)

Расположение	pH	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁺	Cl ⁻	Ca	Mg	Na	Fe	M
500 м, выше ш. Комиссаровская скв. 9083	7.8	400	780	93	150	106	228	0.23	1647
120 м, ниже	5.9	674	9260	200	411	1110	2000	317	14 640
500 м, ниже	6.3	300	3264	104	200	364	760	87	5514
1000 м, ниже	7	254	2180	104	252	266	380	40	3470
2200 м, ниже	7.1	220	1690	87	200	209	336	1.5	2818
	7.2	350	1520	100	204	186	364	0.7	2830

Таблица 5. Средний состав грунтовых вод (мг/л и %-экв)

Годы	pH	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁺	Cl ⁻	Ca	Mg	Na	M
1955	7.4	356	517	86	141	53	190	1250
		31	56	13	36	23	41	
1999	7.2	562	672	76	157	91	230	1510
		36	55	9	31	30	39	
2006	7.1	728	1362	108	282	110	461	2690
		28	65	7	33	21	46	
2010	7.2	542	1383	298	280	131	485	3029
		19	63	18	30	24	46	

Шахтные воды шахты Комиссаровской поступают в р. Лихая (табл. 4), загрязняя её на многие километры вниз по течению. Превышение ПДК для вод рыбохозяйственного назначения в шахтных водах составляют по Fe в 3170 раз, по SO₄²⁻ в 92, по Mg в 28, по M в 14.6, по Ca в 2.3 раза. Даже

на расстоянии от шахты более двух километров превышение ПДК в водах реки составляют по Fe в 7, по SO₄ в 15, по Mg в 4.6, по M в 2.8 раза.

Следовательно, большинство рек в Восточном Донбассе под влиянием сброса шахтных вод практически утратили водохозяйственное значение и

Таблица 6. Состав грунтовых вод в хуторе Лихой под влиянием шахтных вод (компоненты в мг/л, жесткость в ммоль/л)

Местоположение	№ пробы	pH	Na	Ca	Mg	Cl ⁻	SO ₄ ²⁺	Fe	M	Жесткость
Скважина частная, ул. Заречная, 5А.	1	7.0	3528	356	241	113	7568	13,6	12 578	37.6
	2	7.0	3383	381	245	106	7389	36	12 569	39.2
	3	7.0	3375	237	323	113	7315	15,2	13 056	38.4
	4	7.1	3560	377	248	113	7661	5.62	12 862	39.2
	5	7.0	3358	369	267	117	7384	5.36	12 356	40.4
	6	6.9	3625	377	277	113	7940	6.37	13 078	41.6
Скважина частная, ул. Заречная, 5Б	1	7.1	20	160	34	49	296	0.76	804	10.8
	2	6.9	898	229	90	71	2143	7	4029	18.8
	3	6.9	5	136	34	43	203	0.14	668	9.6
	4	7.2	2788	457	277	106	6646	0.65	11 556	45.6
	5	7.0	2478	329	228	92	5630	0.57	9770	35.2
	6	7.5	1915	321	194	85	4502	0.38	7805	32
Колодец, ул. Заречная, 11	1	7.0	83	245	46	64	591	0.88	1417	16
	2	7.1	1213	433	185	78	3510	0.14	6097	36.8
	3	7.0	1075	164	66	57	2328	0.08	4003	13.6
	4	7.1	2873	457	209	106	6553	2.16	10754	40
	5	6.6	2178	409	185	96	5077	1.86	8814	35.6
	5	7.3	777	156	70	49	1734	0.36	3261	13.6
Скважина частная, ул. Заречная, 26	1	7.2	15	80	29	28	75	5.27	423	5.6
	2	7.2	23	88	19	21	111	0.88	472	6
	3	7.3	48	80	39	28	111	0.64	512	5.2
	4	7.5	3	96	39	36	148	0.38	565	8
	5	7.0	215	200	112	43	998	0.18	1828	19.2
	6	6.8	393	513	282	92	2492	0.36	4488	48.8
Скв. частная, ул. П.Революции, 1,	1	7.1	145	180	37	50	443	0.05	1330	12
	2	7.6	120	184	63	43	549	0.05	1340	14.4
	3	7.4	20	168	34	35.5	273	0.05	859	11.2
Колодец, ул. П. Революции, 31,	1	7.4	108	88	83	32	421	0.06	1097	11.2
	2	7.2	60	176	53	49	410	0.2	1089	13.2
Колодец, ул. П.Революции, 52	1	7.1	410	481	97	92	1917	0.1	3249	32

рекреационную ценность. Сократились запасы, ухудшилось качество, вырос дефицит питьевых и технических природных вод.

После массовой ликвидации в Восточном Донбассе угольных шахт путём затопления резко изменилось направление потока подземных вод. Раньше подземные воды дренировались действующими шахтами, теперь поток направлен из затопленных шахт во вмещающие горные поро-

ды. Такую ситуацию можно назвать “эффектом айсберга”. Началось интенсивное формирование мощных потоков загрязнения подземных вод. Изменился даже средний состав подземных вод в регионе (табл. 5), в несколько раз возросли минерализация вод и содержания всех компонентов.

Превышение ПДК для питьевых вод составляет для М в 3, для SO₄²⁻ в 2.8 раза. Но наиболее резко загрязнение вод проявляется в населенных

пунктах вблизи затопленных шахт. Данные о таком загрязнении подземных вод в районе шахты Комиссаровской в скважинах и колодцах, воды которых использовались ранее в питьевых целях в хуторе Лихой, приведены в табл. 6.

Теперь превышение ПДК (для питьевых вод) составляет для Fe в 300, для Na в 17, для SO₄ в 15, для минерализации в 13 раз.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ современных данных и применение метода классификации многомерных наблюдений [3, 5, 8] позволили установить и описать четыре основных направления изменения химического состава шахтных вод в Восточном Донбассе:

- формирование преимущественно кислых сульфатных вод, обогащённых Fe, Mn, Al, Cu и другими металлами; яркий пример этого направления – воды шахты Комиссаровской;

- ослабление интенсивности процессов окисления серы и сульфидов за счет притока хлоридных подземных вод; кислые воды практически не формируются, по составу они хлоридно-сульфатные;

- формирование сульфатно-хлоридных шахтных вод (второго и третьего типов по О.А. Алекину) за счет интенсивного притока хлоридных подземных вод в результате углубления шахт;

- образование оригинальных по составу содовых вод (первый гидрогеохимический тип), происхождение которых связано с притоком подземных вод, формирующихся за счет испарительно-конденсационных процессов.

Сделан вывод о возможном наличии в регионе нефтегазовых скоплений [2, 7], особенно в Гуково-Зверевском районе.

При анализе особенностей трансформации состава шахтных вод шахты Комиссаровской во время ее функционирования и после ликвидации (1946–2013 гг.) выявлены следующие главные закономерности. Во время функционирования состав шахтных вод мало отличался от среднего состава вод по первому гидрогеохимическому направлению. Сформировались слабокислые сульфатные воды, обогащённые железом и другими металлами. Но после полного затопления шахты

произошло подтопление территории, и на поверхность стали изливаться воды с аномально высокой минерализацией и содержаниями всех компонентов.

Дренажные скважины (8993, 8994, 9083) способствовали повышению интенсивности водообмена и проникновению на глубину обогащенных кислородом атмосферных и поверхностных вод. Это привело к интенсивному развитию процессов окисления, растворения и выщелачивания в природно-техногенном резервуаре, который сформировался в результате затопления шахты.

Высокоминерализованные шахтные воды шахты Комиссаровской стали источником формирования интенсивных потоков загрязнения окружающей среды региона. Особенно резко снизилось качество поверхностных и подземных вод, которые стали непригодными для рыбохозяйственных и питьевых целей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гавришин А.И. Гидрогеохимические исследования с применением математической статистики и ЭВМ. М.: Недра, 1974. 146 с.
2. Гавришин А.И. О генезисе маломинерализованных содовых вод Донбасса // Докл. РАН. 2005. Т. 404. № 5. С. 668–670.
3. Гавришин А.И. Количественный анализ природных и техногенных гидрогеохимических закономерностей // Изв. вузов. Геология и разведка. 2012. № 2. С. 37–42.
4. Гавришин А.И., Климова Н.А. Закономерности формирования химического состава шахтных вод при отработке месторождений и ликвидации угольных шахт в Восточном Донбассе // Геоэкология. 2003. № 6. С. 526–539.
5. Гавришин А.И., Корadini А. Многомерный классификационный метод и его применение при изучении природных объектов. М.: Недра, 1994. 92 с.
6. Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швец В.М. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. М.: Наука, 2004. 677 с.
7. Маломинерализованные воды глубоких горизонтов нефтегазоносных провинций / Под ред. В.В. Колодия Киев: Наук. думка, 1985. 280 с.
8. Gavrishin A.I., Coradini A., Cerroni O. Multivariate classification method in planetary sciences // Earth, Moon, Planets. 1992. № 59. P. 141–152.

REGULARITIES IN THE FORMATION OF CHEMICAL COMPOSITION OF MINE WATER AND ITS INFLUENCE ON GEOECOLOGICAL SITUATION (KOMISSAROVSKAYA MINE, EASTERN DONBASS)

A. I. Gavrishin

*Platov Southern Russian State Polytechnic University, ul. Prosveshcheniya 132, Novocherkassk, 346428
Russia. E-mail: agavrishin@rambler.ru*

The four main trends in changes of chemical composition of mine water are distinguished and described in detail. Transformation of mine water composition at mine Komissarovskaya is given for the period of its functioning and after its shutdown (1946–2013). The most intense changes and the abnormal water composition are registered after the mine flooding. Oxidation, dissolution and leaching are described for the water pollution flows. The influence of mine water on the geoecological situation in the region is characterized.

Keywords: *mine water, chemical composition, Eastern Donbass.*