

УДК 574:550. 42:662.51

## НЕКОТОРЫЕ ВАЖНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ШАХТНЫХ ВОД В ВОСТОЧНОМ ДОНБАССЕ

**Гавришин А.И.***Южно-Российский государственный политехнический университет  
им. М.И. Платова, Новочеркасск, e-mail: agavrishin@rambler.ru*

Выполнен анализ формирования химического состава шахтных вод в Восточном Донбассе. Использовано более 1500 химических анализов вод для описания пространственных и временных закономерностей, которые выявлены по данным за столетний период. Количественный анализ тренда основан на оригинальном G-method – методе классификации многомерных наблюдений. Четыре главных направления изменения состава шахтных вод выявлены по результатам многомерного моделирования. Изменение состава шахтных вод носит волнообразный характер. Максимальная минерализация вод и содержание всех компонентов выявлены в период восстановления угольных шахт после оккупации территории (40-е и 50-е годы) и после ликвидации угольных шахт путём затопления (1994–2002 гг.). Максимальный вынос растворенных веществ шахтными водами на поверхность отмечен после массовой ликвидации угольных шахт в Восточном Донбассе. Высказана необходимость осуществления мер по реабилитации окружающей среды региона.

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

## SOME IMPORTANT TRENDS OF FORMING OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF MINE WATERS IN THE EASTERN DONETS BASIN

**Gavrishin A.I.***South-Russian State Polytechnic University n.a. M.I. Platov,  
Novocherkassk, e-mail: agavrishin@rambler.ru*

We have done the analysis of forming of the chemical composition of mine waters in the Eastern Donets Basin. More than 1500 chemical analysis of waters used to describe spatial and temporal patterns, which have been identified based on data for the 100-year period. The quantitative trend analysis is based on the original G-mode – the method of classification of multivariate observations. The four main directions of changes in the composition of mine water were outlined in detailed examination of the results of dimensional modeling. Change of mine water is wavy in nature. Maximum total dissolved solids (TDS) and all components identified in the recovery period of coal mines after the occupation of the territory (40-e and 50-e years), and after the mass liquidation of coal mines by flooding (1994–2002). The maximum removal of dissolved substances mine waters to the surface marked after the elimination of coal mines in the Eastern Donets Basin. The need to implement measures for the rehabilitation of the environment in the region expressed.

**Keywords:** mine water, chemical composition, the Eastern Donets Basin

На протяжении многих десятилетий на состояние окружающей среды и условия жизнеобитания Восточного Донбасса наиболее интенсивное влияние оказывают предприятия угледобывающего, углеперерабатывающего, машиностроительного, металлургического, сельскохозяйственного и химического профилей, жилищно-коммунальное хозяйство. Среди основных источников негативного воздействия на окружающую среду необходимо отметить действующие и недавно ликвидированные угольные шахты, давно закрытые и брошенные шахты, породные отвалы шахт, пруды-отстойники. Указанные факторы формируют мощные потоки загрязнения воздушной, водной и геологической сред, техногенную трещиноватость горных пород, оседание земной поверхности, засоление почв, вызывают деформацию зданий, сооружений и коммуникаций, заиливание

водотоков и многие другие негативные последствия [5].

В районах действующих угольных шахт образуются мощные депрессионные воронки под влиянием интенсивной откачки шахтных вод, в формировании которых принимают участие подземные воды, поверхностные водотоки и атмосферные осадки, проникающие через зону техногенной трещиноватости. Каждая депрессионная воронка оказывает существенное негативное влияние на экологическое состояние территории с исчезновением родников и поверхностных водотоков, осушением массивов горных пород, прекращением функционирования водозаборов подземных вод и другими отрицательными последствиями.

Реструктуризация угольной промышленности и массовое закрытие угольных шахт в Восточном Донбассе ещё более интенсифицировали процессы оседания

земной поверхности и деформации горных пород, подтопления территорий и породных отвалов, формирования аномальных по составу вод и интенсивное загрязнение поверхностных, выделение «мертвого воздуха» и многие другие отрицательные явления. Всё это потребовало обобщения геоэкологической ситуации в рассматриваемом регионе, которое частично выполнено в настоящей работе.

Для изучения закономерностей формирования химического состава шахтных вод Восточного Донбасса привлечено более 1500 анализов за период от 1920 до 2010 года. Около 1000 анализов относятся к действовавшим и действующим шахтам и более 500 анализов отобрано во время ликвидации угольных шахт и после ликвидации. По этим данным рассчитан средний состав вод по годам за указанный период и выявлены закономерности его изменения, выполнена оценка выноса растворенных веществ шахтными водами на поверхность и другие вопросы.

Для анализа гидрогеохимических закономерностей использован оригинальный G-метод классификации многомерных наблюдений (выделения однородных совокупностей-таксонов), основанный на критерии Z-квадрат (Гавришина), детальное описание которого можно найти в ряде публикаций автора [1, 3, 4, 7]. Отметим только главные особенности метода и разработанной на его основе компьютерной технологии AGAT-2. Метод позволяет:

- строить классификации наблюдений в условиях отсутствия априорных сведений о таксономической структуре (задача без учителя);
- задавать различные уровни классификации наблюдений и получать различную

детальность таксономических построений (классы, подклассы и т.д.);

- использовать при построении классификации различия между однородными таксонами по средним значениям, изменчивости и по корреляционным связям признаков;
- не вводить ограничения между числом признаков и числом наблюдений;
- использовать зависимые признаки;
- оценивать сходство-различие между однородными таксонами;
- оценивать информативность признаков в полученной таксономической структуре;
- классифицировать новые наблюдения.

При построении классификации многомерных наблюдений задаётся критическое значение радиуса однородного таксона  $G_q$ . Изменяя  $G_q$ , можно получить классификации различного уровня детальности и различной степени однородности таксонов. Чем меньше значение  $G_q$ , тем выше однородность таксонов, больше детальность классификации, но ниже надежность обоснованности различий между таксонами.

#### Основные направления изменения состава шахтных вод

Для характеристики основных направлений изменения химического состава шахтных вод в Восточном Донбассе использованы данные опробования 1992 г. (46 шахт) перед периодом массового закрытия угольных шахт (установленные закономерности аналогичны полученным во все другие периоды опробования). Анализ выполнен с помощью метода многомерного классификационного моделирования на основе G-метода по компьютерной программе AGAT-2. Особенности химического состава вод различных гидрогеохимических направлений отчетливо видны уже по среднему составу (табл. 1).

Таблица 1

Средний химический состав шахтных вод по гидрогеохимическим направлениям (мг и % – моль, М – минерализация вод)

Направление	pH	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	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		

Первое направление связано с преобразованием исходных слабоминерализованных гидрокарбонатно-сульфидных вод в кислые (рН до 2.0) сульфатные воды с высокими содержаниями Fe, Mn, Al, Cu и других металлов и обусловлено интенсивным развитием процессов окисления серы (преимущественно пирита), содержащихся в углях и вмещающих породах (в среднем 3,5%, нередко до 6% и более). Типоморфными компонентами этих вод являются  $SO_4$  (высокое содержание) и  $HCO_3$  (низкое содержание).

Второе гидрогеохимическое направление характеризуется переходом гидрокарбонатно-сульфатных вод в хлоридно-сульфатные нейтральные, которые в незначительной степени обогащены Fe и Mn. Теперь наряду с процессами окисления серы приблизительно равную роль начинают играть процессы увеличения концентраций хлор-иона за счет притока хлоридных подземных вод при углублении угольных шахт. Типоморфными компонентами второго направления являются  $SO_4$  и Cl (повышенной концентрации).

Третье гидрогеохимическое направление изменения состава шахтных вод фиксирует преобразования гидрокарбонатно-сульфатных вод в сульфатно-хлоридные. На первое место выходит процесс роста концентрации Cl за счет притока хлоридных подземных вод при отработке глубоких шахтных горизонтов. Рост концентрации  $SO_4$  и процесс окисления сульфидов переходит на второе место (кислые воды при этом не образуются). Типоморфным компонентом направления является Cl (высокие концентрации).

По четвертому гидрогеохимическому направлению формирования химического состава шахтных вод образуются содовые гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридные и хлоридно-натриевые воды с высокими содержаниями  $HCO_3$  и очень низкими Ca и Mg. Типоморфными компонентами четвертого направления являются содержания  $HCO_3$  и Cl (высокие содержания), а также Ca и Mg (низкие содержания) (табл. 1). Четвертое направление изменения состава шахтных вод относится к уникальным, поскольку формируются оригинальные содовые воды. Их генезис связан с притоком в горные выработки содовых подземных вод, которые, по нашему мнению, образуются в результате процессов конденсации водяных паров из водоуглеродной фазы. Теперь следует признать наличие в пределах Восточного Донбасса нефтегазовых скоплений, особенно в Гуково-Зверевском угленосном районе [2].

Таким образом, выделено и количественно описано четыре главных гидрогео-

химических направления. По первому направлению образуются кислые сульфатные воды с высокими содержаниями Fe, Mn, Al и других металлов. По второму направлению формируются нейтральные хлоридно-сульфатные воды. По третьему направлению происходит трансформация гидрокарбонатно-сульфатных вод в слабощелочные сульфатно-хлоридные. Четвертое направление приводит к появлению гидрокарбонатно-хлоридных содовых вод. Выделенные направления позволяют уверенно прогнозировать изменение состава шахтных вод в процессе отработки месторождений.

#### **Закономерности изменения химического состава шахтных вод**

На протяжении всего изученного столетия в составе шахтных вод происходили следующие изменения. В 20-е годы шахтные воды в среднем имели довольно умеренную минерализацию (2,8 г/л) и хлоридно-сульфатный кальциево-магниевый-натриевый состав (табл. 2). Результаты опробования шахтных вод в 1943–1944 гг. на шахтах треста Несветайантрацит (Новошахтинский участок) выявили новую тенденцию: резко возросла минерализация вод (до 4 г/л) и содержание  $SO_4$ , снизилась величина рН. Такая ситуация сложилась в результате того, что угольные шахты были восстановлены после затопления во время оккупации территории в Великую Отечественную войну. Процесс затопления шахт способствовал вовлечению в сферу активного взаимодействия с водами больших объемов пород и угля в зоне отработки и интенсивной техногенной трещиноватости. Это был аналог ситуации, которая складывается в настоящее время при ликвидации угольных шахт «мокрым способом» и наиболее активно проявилась на ш. Комиссаровская.

В начале 50-х годов гидрогеохимическая ситуация выглядела следующим образом: еще более возросла средняя минерализация шахтных вод (4,9 г/л), увеличились концентрации  $SO_4$ , Cl и Na (табл. 2). Это значит, что со временем не произошло быстрого снижения спровоцированных затоплением интенсивных процессов окисления сульфидов, и эта ситуация сохраняется на многие годы. К середине 60-х годов [6], когда многие старые шахты были закрыты и интенсивно эксплуатировались новые, ситуация стала выравниваться: снизилась концентрация  $SO_4$ , уменьшилась минерализация вод, несколько повысилась величина рН (табл. 2). В дальнейшем до начала 90-х годов шло постепенное закрытие шахт, средний состав вод менялся в сторону роста минерализации (4,4 г/л) за счет увеличения

содержаний Cl, HCO<sub>3</sub> и Na; средние содержания SO<sub>4</sub> оставались приблизительно на постоянном уровне, величина pH в среднем увеличилась (7,5).

Таблица 2

Средний химический состав шахтных вод в различные периоды опробования (мг и % – моль)

Период	pH	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	Ca	Mg	Na	Fe	M
20-е годы	6,9	199	1443	397	233	184	405	(0,1)	2860
		7	68	25	26	35	39		
40-е годы	4,4	25	2590	257	304	219	642	(32)	4040
		1	88	11	25	30	45		
50-е годы	5,2	221	2795	443	330	191	964	(52)	4947
		5	78	17	23	20	57		
60-е годы	6,7	256	1741	448	98	217	710	1,1	3400
		8	68	24	10	35	55		
1992 год	7,5	580	1700	730	205	137	1035	3,6	4390
		15	54	31	15	17	68		
1999 год	7,6	676	1542	378	157	129	800	6,6	3546
		20	60	20	15	20	65		
2002 год	7,1	610	1950	460	223	194	824	47	4270
		16	63	21	17	26	57		
2010 год	7,1	626	2805	443	386	267	912	39	5466
		13	72	15	24	27	49		

Ситуация начала довольно интенсивно изменяться в 90-е годы, когда началась массовая ликвидация угольных шахт в Восточном Донбассе путем затопления, сухой консервации и переборки вод ликвидированных шахт в соседние действующие шахты. Начались преобразования компонентного состава вод: возросли концентрации сульфат-иона, железа, снизилась величина pH и содержания хлор-иона. Это объясняется снижением притока подземных вод, которые дренировались нижними горизонтами отработки и формировали второе, третье и четвертое направления изменения состава шахтных вод. Вместе с тем значительно усилились процессы взаимодействия вод с твердой фазой в затопленных горных выработках и в зоне техногенной трещиноватости, что привело к определенному усилению процессов окисления сульфидов и растворению сульфатов. Указанные интенсивные изменения состава шахтных вод четко фиксируются в результатах опробования шахтных вод в 2010 году (табл. 2): еще более снизился приток подземных вод глубокой циркуляции, усилились процессы в природно-техногенном резервуаре. Значительно возросла минерализация, преимущественно за счет роста содержания сульфатов, кальция и магния. Особенно высоки концентрации железа.

Таким образом, трансформация химического состава шахтных вод в рассма-

триваемом регионе имеет волнообразный характер: резкий рост минерализации вод и содержания всех компонентов происходит после затоплений угольных шахт.

#### Изменение геоэкологической обстановки в Восточном Донбассе

На ухудшение геоэкологической обстановки в Восточном Донбассе существенное влияние оказывает вынос растворенных веществ на поверхность шахтными водами. Результаты анализа этой ситуации за 50 лет приведены в табл. 3.

В 60-е годы объем шахтных вод достигал 75 млн м<sup>3</sup>/год, а вынос с ними на поверхность растворенных веществ составил 270 тыс. т/год; почти половина этого выноса приходилась на сульфат-ион (131 тыс. т/год), вынос железа равнялся 0,1 тыс. т/год, а величина pH стала 6,7 (табл. 3). Все это свидетельствовало об интенсивном развитии процессов окисления серы и сульфидов.

В последующий период до 1992 года происходило в основном расширение шахтных полей и углубление шахт с отработкой более глубоких угольных пластов. Общий объем шахтных вод достигает максимального значения в 90 млн м<sup>3</sup>/год (вырос в 1,63 раза). Вынос растворенных веществ увеличился в 1,5 раза и составил 395 тыс. т/год (табл. 3); но вынос SO<sub>4</sub> увеличился всего в 1,2 раза, а Cl – в 2 раза, выросло количество железа в 3 раза и величина pH до 7,5.

Таблица 3

Объем шахтных вод (млн м<sup>3</sup>/год) и вынос ими на поверхность растворенных веществ в Восточном Донбассе

Дата	Объем	Компоненты шахтных вод (тыс. т/год)						pH
		Растворенные вещества	SO <sub>4</sub>	Cl	Ca	Mg	Fe	
1966	75	270	131	34	7,3	16	0,1	6,7
1992	90	395	155	63	18	13	0,3	7,5
1999	45	160	66	17	7	6	0,3	7,6
2002	72	380	170	32	16	18	3,3	7,1
2006	73	386	204	23	22	19	6,0	6,9
2010	78	426	218	35	30	21	3,0	7,2

После 1992 г. началась ликвидация большинства угольных шахт Восточного Донбасса путем полного затопления выработанного пространства или частичного затопления с перекачкой шахтных вод в соседние шахты. Данные 1999 года относятся к этому периоду, когда поток вод был направлен в затапливаемые шахты и сведения по выносу растворённых веществ на поверхность (составлял минимум) рассчитаны только по 14 функционировавшим в то время шахтам.

После практического завершения ликвидации шахт региона с 2002 года начался рост выноса растворённых веществ на поверхность (табл. 3), увеличился вынос большинства компонентов, особенно железа (в 30–60 раз), SO<sub>4</sub> и снизилась величина pH. В 2006–2010 годах происходит дальнейший рост выноса на поверхность растворенных веществ до 426 тыс. т/год, что больше, чем до ликвидации шахт. Обобщение данных показало, что после завершения ликвидации угольных шахт вынос растворенных веществ, содержащий сульфат-иона и особенно железа достиг максимальных значений, т.е. процесс загрязнения поверхностных и подземных вод получил еще большее развитие в исследуемом регионе.

Большинство рек в Восточном Донбассе под влиянием сброса шахтных вод практически утратили водохозяйственное значение и рекреационную ценность. Сократились запасы, ухудшилось качество, вырос дефицит питьевых и технических природных вод. Наибольший вынос растворенных веществ, сульфат-иона и железа происходит в реку 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 загрязненным является бассейн реки. Тузлов.

После массовой ликвидации угольных шахт началось интенсивное формирование потоков загрязнения подземных вод регио-

на. Значительно изменился средний состав подземных вод, например, с 1950 по 2010 г. минерализация увеличилась с 1,2 до 3 г/л, содержания сульфат-иона с 0,5 до 1,3 г/л. Грунтовые воды по результатам опробования колодцев и скважин в хуторах Лихой, Комиссаровский, Волченский и др. имеют минерализацию до 12–13, содержания SO<sub>4</sub> до 7–8 г/л, Fe до 15 мг/л.

Таким образом, после завершения массовой ликвидации угольных шахт в рассматриваемом регионе произошло резкое ухудшение геоэкологической обстановки и требуется принятие эффективных реабилитационных мер.

### Выводы

Применение математико-статистических методов, оригинального математического моделирования на основе метода классификации многомерных наблюдений (G-method) и использование компьютерной технологии АГАТ-2 позволило надёжно обосновать важные закономерности формирования химического состава шахтных вод в Восточном Донбассе.

Выделено четыре главных направления изменения химического состава вод. Генезис первого направления связан с проявлением интенсивных процессов окисления сульфидов и серы. Второе направление обусловлено ослаблением процессов окисления и началом притока хлоридных подземных вод. По третьему направлению формируются сульфатно-хлоридные воды, и их генезис связан с приносом хлор-иона подземными водами.

Генезис четвёртого направления, когда образуются оригинальные содовые по составу воды, обусловлен притоком в горные выработки содовых подземных вод, которые формируются в результате конденсации водяных паров из водоуглеродной фазы. Делается вывод о возможном наличии в пределах Восточного Донбасса нефтегазовых

скоплений, прежде всего в Гуково-Зверевском угленосном районе [2].

Изменение химического состава шахтных вод во времени за изученный столетний период носит волнообразный характер. Максимальная минерализация и содержание компонентов приходится на время восстановления шахт после затопления (40-е и 50-е годы) и на период после массовой ликвидации угольных шахт региона.

Наиболее значительное ухудшение геоэкологической ситуации в Восточном Донбассе и наибольший вынос растворенных веществ шахтными водами на поверхность зафиксирован после массовой ликвидации угольных шахт. Происходит формирование интенсивных потоков загрязнения поверхностных и подземных вод, которые становятся непригодными для питьевого и рыбохозяйственного использования. Всё это настоятельно требует проведения мер по реабилитации геоэкологической обстановки в регионе.

#### 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 // ДАН. – 2005. – Т. 404, № 5. – С. 668–670.
3. Гавришин А.И. Математическая геология // Международный журнал экспериментального образования. – М.: изд. РАЕ, 2011. – № 6. – С. 16–17.
4. Гавришин А.И., Корadini А. Многомерный классификационный метод и его применение при изучении природных объектов. – М.: Недра, 1994. – 92 с.
5. Гавришин А.И., Корadini А. Происхождение и закономерности формирования химического состава подземных

и шахтных вод в Восточном Донбассе // Водные ресурсы. – 2009. – Т. 36, № 5. – С. 564–574.

6. Назарова Л.Н. Шахтные воды восточной части Донецкого бассейна и некоторые вопросы происхождения их химического состава // Гидрохимические материалы. – 1968. – Т. 47. – С. 99–109.

7. Gavrishin A.I., Coradini A., Cerroni O. Multivariate classification method in planetary sciences // Earth, Moon, Planets. – 1992. – Т. 59. – P. 141–152.

#### References

1. Gavrishin A.I. Gidrohimicheskie issledovaniya s primeneniem matematicheskoi statistiki i EVM. (Hydrogeochemical studies using mathematical statistics and computing). M.: Nedra, 1974. 146 p.
2. Gavrishin A.I. DAN. 2005. T. 404, no. 5. pp. 668–670.
3. Gavrishin A.I. Mezhdunarodny zhurnal eksperimentalnogo obrazovaniya. M.: RAE, 2011. no. 6. pp. 16–17.
4. Gavrishin A.I., Coradini A. Mnogomerniy klassifikatsionny metod i ego primeneniye pri isuchenii prirodnykh obektov. (Multidimensional classification method and its application in the study of natural objects). M.: Nedra, 1994. 92 p.
5. Gavrishin A.I., Coradini A. Vodnye resursy. 2009. T. 36, no. 5. pp. 564–574.
6. Nazarova L.N. Gidrokhimicheskie materialy. 1968. T. 47. pp. 99–109.
7. Gavrishin A.I., Coradini A., Cerroni O. Earth, Moon, Planets. 1992. T. 59. pp. 141–152.

#### Рецензенты:

Щеглов В.И., д.г.-м.н., профессор, заведующий кафедрой прикладной геологии, Южно-Российский государственный политехнический университет (Новочеркасский политехнический институт) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск;

Кондюрина Т.А., д.т.н., профессор кафедры прикладной геологии, Южно-Российский государственный политехнический университет им. М.И. Платова, г. Новочеркасск.

Работа поступила в редакцию 28.11.2014.