

УДК 662.51: 556.3: 550.42

**О ФОРМИРОВАНИИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД  
В ШАХТИНСКОМ УГЛЕНОСНОМ РАЙОНЕ ВОСТОЧНОГО ДОНБАССА****Гавришин А.И., Борисова В.Е., Торопова Е.С.***Южно-Российский государственный политехнический университет имени М.И. Платова,  
Новочеркасск, e-mail: agavrishin@rambler.ru*

Длительное функционирование в Восточном Донбассе угледобывающего и углеперерабатывающего комплексов привело к многочисленным негативным последствиям в состоянии гидрогеологической среды региона. При закрытии шахт возникли проблемы охраны водных объектов от загрязнения и другие, связанные с негативным влиянием на природные водные ресурсы техногенного воздействия. Процесс загрязнения подземных вод значительно усилился в связи с формированием высокоминерализованных шахтных вод после ликвидации угольных шахт. Сравнение результатов анализов подземных вод в Шахтинском районе Восточного Донбасса за 50–60-е годы 20-го столетия и в 2007–2009 гг. показало увеличение минерализации и концентрации всех компонентов, что привело к изменению химического состава подземных вод и повышению процента загрязнения с 55 до 90%.

**Ключевые слова:** Восточный Донбасс, химический состав, грунтовые воды, загрязнение**THE FORMATION OF GROUNDWATER CHEMICAL COMPOSITION  
IN SHAKHTY COAL – BEARING AREA OF THE EASTERN DONBASS****Gavrishin A.I., Borisova V.E., Toropova E.S.***Platov South-Russian State Polytechnical University, Novocherkassk, e-mail: agavrishin@rambler.ru*

Prolonged operation in East Donbas coal-mining and coal processing facilities led to numerous negative consequences in a state of hydrogeological environment of the region. At the closure of the mines having problems of water protection against pollution and other adverse effects on the natural water resources of technogenic influence. The process of groundwater pollution has been significantly increased in connection with the formation of the highly mineralized mine waters after the elimination of coal mines. Comparison of the results of analyzes of groundwater in the area of the Eastern Donbass Shakhtinsky 50–60s of the 20th century and in 2007–2009. It showed an increase in salinity and the concentrations of all the components, resulting in a change in chemical composition of groundwater pollution and increases the percentage from 55 to 90%.

**Keywords:** Eastern Donbass, chemical composition, groundwater, pollution

В последнее столетие окружающая среда Восточного Донбасса подвергалась интенсивному антропогенному влиянию, которое существенно нарушает природный энерго-массоперенос, что связано преимущественно с деятельностью угледобывающего и углеперерабатывающего комплексов. Интенсивные потоки загрязнения формируются в природных водах, например в 60-е годы из угольных шахт региона откачивалось 75 млн м<sup>3</sup> /год вод, с которыми на поверхность поступало 270 тыс. т растворенных веществ (в том числе сульфат-иона 131 и железа 0,1 тыс. т). В 2010 г. объем шахтных вод, несмотря на закрытие большинства шахт, составил 78 млн м<sup>3</sup> /год и вынос растворенных веществ составил 411 тыс. т (SO<sub>4</sub> – 211 и Fe – 6,5).

Предыдущими исследованиями [4–6] установлены четыре главных направления в формировании химического состава шахтных вод. Первое направление связано с образованием кислых сульфатных вод (рН до 3.0) с высокими содержаниями Fe, Mn, Al, Cu и других металлов и обусловлено интенсив-

ным развитием процессов окисления серы, содержащейся в углях и вмещающих породах.

Второе геохимическое направление характеризуется формированием хлоридно-сульфатных нейтральных вод, в незначительной степени обогащенных Fe и Mn. Теперь, наряду с процессами окисления серы, приблизительно равную роль начинают играть процессы увеличения концентраций хлорид-иона при углублении угольных шахт.

Третье геохимическое направление изменения состава шахтных вод фиксирует преобразование гидрокарбонатно-сульфатных вод в сульфатно-хлоридные, так как на первое место выходит процесс роста концентрации Cl<sup>-</sup> за счет притока хлоридных подземных вод. По четвертому геохимическому направлению формирования химического состава шахтных вод образуются оригинальные содовые гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридные и хлоридные натриевые воды. Типоморфными компонентами четвертого направления являются содержания HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> и Cl<sup>-</sup> (высокие содержания), а также Ca<sup>2+</sup> и Mg<sup>2+</sup> (низкие содержания).

В настоящей работе изучены основные закономерности и факторы формирования химического состава и загрязнения подземных вод каменноугольных отложений в Шахтинском (южном) угленосном районе Восточного Донбасса по результатам опробования источников и колодцев за 60-летний период. Оценка выполнена по результатам опробования в 50–60-е годы 20-го столетия, когда угледобывающая промышленность интенсивно развивалась (количество действующих шахт в отдельные годы доходило до 100) и по результатам анализов вод, выполненных в 2007–2009 гг., когда большинство угольных шахт было ликвидировано.

Анализ и количественное описание гидрогеохимических закономерностей выполнено с применением классических методов математической статистики и компьютерной технологии AGAT-2, реализующей G-метод многомерного классификационного моделирования (выделение однородных совокупностей), который основан на оригинальном критерии  $Z^2$  – Гавришина [1–3].

G-метод широко использован для построения классификаций и описания пространственно-временных закономерностей формирования объектов и систем на Земле, Луне, Марсе, Сатурне, астероидах и в дальнем космосе [2, 3]. G-метод характеризуется следующими важными свойствами: построение классификации многомерных наблюдений при отсутствии априорных сведений о таксономической структуре наблюдений (задача без учителя); использование зависимых признаков; выделение таксонов различного уровня детальности; оценка сходства

различия между однородными таксонами; определение информативности признаков.

В название вод ионы включаются при содержании более 25 % молей и компоненты располагаются в порядке возрастания содержаний. Типы вод приведены по классификации природных вод О.А. Алекина.

#### **Изменение химического состава подземных вод каменноугольных отложений в Шахтинском районе**

Шахтинский район является наиболее старой угледобывающей частью Восточного Донбасса, в которой в период опробования находилось значительное количество заброшенных шахт и отработанных угольных горизонтов. Большинство шахт района имеет незначительную глубину (до 400–500 м), и только отдельные шахты вели отработку глубоких угольных горизонтов на глубине более 600 м (например, шахты Глубокая, Артема, Степановская и др.). В геологическом отношении район приурочен к Несветаевской синклинали структуре.

Параметры распределения содержания компонентов химического состава подземных вод каменноугольных отложений Шахтинского района в рассматриваемые периоды приведены в табл. 1 и 2. В 50–60 гг. обобщение выполнено по результатам анализов вод 180 источников и колодцев и в 2007–2009 гг. по результатам 233 анализов вод. Изменения наглядно видны при сравнении средних значений: минерализация (М) увеличилась в 1,5 раза за счет роста содержаний большинства компонентов, что свидетельствует о существенном развитии процессов загрязнения грунтовых вод в Шахтинском угленосном районе.

**Таблица 1**  
Химический состав подземных вод Шахтинского района (50–60-е годы)

Компонент	$X_{cp}$	Me	$X_{min}$	$X_{max}$	S
pH	7,2	7,0	5,0	8,2	0,45
HCO <sub>3</sub>	374	366	134	744	110
SO <sub>4</sub>	679	593	53	4200	501
Cl	118	61	18	1400	166
Ca	166	148	30	525	83
Mg	65	59	12	231	37
Na	231	203	2	1360	187
M	1566	1400	356	6520	935

Примечания:  $X_{cp}$  – среднее значение; Me – медиана;  $X_{min}$  – минимальное значение;  $X_{max}$  – максимальное значение; S – стандартное отклонение.

**Таблица 2**

Химический состав подземных вод Шахтинского района (2007–2009 гг.)

Компонент	$X_{cp}$	Me	$X_{min}$	$X_{max}$	S
pH	7,2	7,2	6,2	9,8	0,6
HCO <sub>3</sub>	345,1	337	61,0	943,0	111,7
SO <sub>4</sub>	868,6	703	118,0	2804,0	538,2
Cl	435,4	379	39,0	1679,0	327,9
Ca	209	220	16,0	473,0	103,3
Mg	87	73	10,0	292,0	53,8
Na	443,6	448	30,0	1253,0	246,2
M	2315,1	2016	558,0	5434,0	991,1

Но наиболее детальные и интересные результаты получены после выделения и анализа однородных гидрогеохимических видов с помощью многомерного классификационного G-метода по компьютерной программе AGAT-2 [2, 3] (табл. 3, 4).

Расположение однородных гидрогеохимических видов по мере возрастания

минерализации и анализ графиков в координатах: «минерализация – содержание компонентов» позволили выделить три основных варианта закономерных изменений содержаний ионов, которые довольно существенно отличаются по своим параметрам и происхождению (к четвертому варианту отнесена одна проба А.4 содового состава).

**Таблица 3**

Состав однородных гидрогеохимических видов подземных вод каменноугольных отложений Шахтинского района (50–60-е годы)

Вариант	Вид	pH	Компонент (мг/л и % – моль)						
			HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	Ca	Mg	Na	M
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1.12	7,2	242 59	86 27	33 14	75 55	18 21	39 24	398
	1.14	7,6	219 29	349 59	51 12	72 32	47 35	91 33	776
	1.10	7,0	232 41	217 48	37 11	83 42	24 20	89 38	613
	1.02	7,1	335 42	298 48	45 10	103 39	37 23	121 38	829
	1.04	7,5	359 45	270 43	54 12	150 55	51 32	42 13	865
	1.05	8,0	337 32	504 61	42 7	145 40	46 22	164 38	1080
	1.03	7,0	323 29	483 55	103 16	135 37	47 21	188 42	1180
	1.08	7,1	439 40	456 52	53 8	87 24	52 23	233 53	1210
	1.17	7,3	393 30	580 57	94 12	216 50	61 24	134 26	1390
	1.01	7,3	368 27	700 66	47 6	141 32	63 23	238 45	1470
	1.11	7,0	541 36	613 52	107 12	125 24	58 19	349 57	1550
2	1.13	7,3	236 17	819 74	78 9	283 56	76 25	116 19	1710
	1.16	6,1	370 23	820 65	107 12	160 30	70 21	317 49	1810
	1.06	7,2	378 20	1050 71	92 8	177 28	86 23	362 49	2070

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	3.01	7,0	404 16	1460 74	140 10	303 37	115 23	391 40	2810
	A.3	6,0	134 2	4200 95	70 2	445 25	122 11	1370 64	6520
3	1.15	7,1	392 47	187 28	123 25	100 35	26 25	169 50	855
	1.07	7,0	350 32	348 40	177 28	158 43	58 26	140 31	1100
	1.09	7,1	365 24	678 56	174 20	207 40	73 24	226 36	1720
	2.01	7,1	583 24	989 52	343 24	203 25	87 18	556 57	2590
	A.1	7,2	457 16	1230 56	460 28	295 32	125 22	506 46	3082
	A.2	7,0	744 16	1390 37	1300 47	206 13	231 25	1156 62	5588
4	A.4	6,8	733 77	144 19	21 4	160 51	29 15	120 34	870

По первому гидрогеохимическому варианту под влиянием природных факторов наиболее существенный вклад в минерализацию вод вносят сульфат-ион, натрий и магний. На фоне общих природных закономерностей формирования среднеминерализованных вод в зоне аридного климата за счет нарастания содержания  $SO_4$  незначительную роль в составе подземных вод начинают играть сульфатные шахтные воды. Во второй гидрогеохимический вариант вошли виды 1.13, 1.16, 1.06, 3.01 и A.3 (табл. 3), которые представляют собой по составу шахтные воды с пониженным значением pH (у вида A.3 – слабокислая среда) и очень высокими концентрациями  $SO_4$  (до 4,2 г/л).

В третьем гидрогеохимическом варианте отмечается влияние не только сульфатных шахтных вод, но также и хлоридных; содержания Cl достигают нескольких сотен миллиграмм на литр. Гидрогеохимические виды 1.09, 2.01, A.1, A.2 по составу приближаются к шахтным водам второго и третьего направлений изменения состава шахтных вод (подробное описание направлений во введении). Среди грунтовых вод района обнаружена только одна проба содового состава, которая классифицирована как аномальное наблюдение A.4 (табл. 3) и выделена в четвертый вариант.

Для Шахтинского угленосного района четко фиксируется роль сульфатных и ча-

стично хлоридных шахтных вод в формировании химического состава подземных вод каменноугольных отложений и распространении потоков загрязнения на обширные территории. К потокам загрязнения подземных вод шахтными водами в Шахтинском районе в 50–60 гг. отнесено 55 % проб из источников и колодцев.

Анализ данных опробования 2007–2009 гг. (табл. 4) показал, что по первому гидрогеохимическому варианту наиболее существенный вклад в минерализацию вносят сульфат-ион, гидрокарбонат-ион и натрий. Следовательно, гидрогеохимические виды 1.04, A1, 3.01 соответствуют общей природной закономерности формирования среднеминерализованных вод в зоне аридного климата. Во втором гидрогеохимическом варианте существенную роль начинает играть хлор-ион, за счет притока в шахты со значительных глубин подземных вод хлоридного состава. Эти шахтные воды в свою очередь оказывают влияние на состав подземных вод и повышают содержание Cl до 1,6 г/л.

В третьем варианте существенную роль в составе подземных вод играют сульфатные шахтные воды. Теперь по составу это практически шахтные воды с очень высокими концентрациями  $SO_4$ , которые сформировались после массовой ликвидации угольных шахт (табл. 4). Анализ данных убедительно свидетельствует, что образуются интенсивные потоки загрязнения, к которым отнесено 90 % наблюдений.

Таблица 4

Состав однородных гидрогеохимических видов подземных вод  
каменноугольных отложений Шахтинского района (2007–2009 гг.)

Вариант	Вид	pH	Компонент (мг/л и % – моль)						
			HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	Ca	Mg	Na	M
1	1.04	7,5	348 52	162 31	66 21	69 32	37 29	69 39	632
	A.1	7,8	306 42	207 37	88 21	144 62	29 21	45 17	742
	3.01	7,1	422 31	483 45	188 24	180 42	44 17	197 40	1380
2	1.05	8,6	136 9	524 43	445 49	63 12	22 7	496 81	1560
	5.01	9,0	206 12	419 31	564 57	38 7	32 9	561 84	1680
	1.07	8,1	291 16	473 33	551 51	62 10	34 9	578 81	1880
	1.06	6,9	357 22	609 47	306 32	260 48	67 21	195 31	1710
	A.2	6,9	406 15	948 43	675 42	305 33	102 18	518 49	1848
	1.01	7,1	346 18	701 46	397 36	196 30	74 19	377 51	2030
	4.01	7,4	238 5	1360 37	1600 58	323 20	173 18	1150 62	4730
3	1.03	7,1	276 9	1880 79	205 12	382 38	142 23	449 39	3360
	1.08	7,2	415 12	1590 59	565 29	221 19	188 27	709 54	3670
	1.02	7,4	449 14	1940 74	239 12	367 33	142 21	590 46	3720
	2.01	7,2	473 12	2270 76	251 11	395 31	170 22	679 47	4130
	6.01	7,2	496 13	1990 64	496 23	307 24	179 24	745 52	4170

### Заключение

Анализ формирования химического состава подземных вод каменноугольных отложений в Шахтинском районе Восточного Донбасса с помощью G-метода классификационного моделирования позволил выявить важные пространственно-временные закономерности. В связи с ликвидацией шахт процесс загрязнения подземных водоносных горизонтов значительно усилился. За период с 1950 по 2009 год минерализация вод в среднем увеличилась с 1,6 до 2,3 г/л, прежде всего за счет роста содержаний SO<sub>4</sub> (до 2,8), Cl (до 1,7) и Na (до 1,3 г/л).

Массовая ликвидация угольных шахт привела в 2007–2009 гг. к тому, что доля вод, отнесенных к потокам загрязнения, повысилась с 55 до 90%. Стала очевидной неотложность решения проблем охраны водных объектов от загрязнения, необходимость проведения широких реабилитационных

мероприятий и строительства очистных сооружений в регионе [5, 6].

### 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 РФ. – 2005. – Т. 404, № 5. – С. 668–670.
3. Гавришин А.И., Корadini А. Многомерный классификационный метод и его применение при изучении природных объектов. – М.: Недра, 1994. – 92 с.
4. 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.
5. Гавришин А.И., Корadini А. Закономерности формирования химического состава подземных вод в каменноугольных отложениях Донбасса // Проблемы современной гидрогеохимии. – Новочеркасск: ЮРГПУ(НПИ), 2003. – С. 13–31.
6. Гавришин А.И., Климова Н.А. Закономерности формирования химического состава шахтных вод при отработке месторождений и ликвидация угольных шахт в Восточном Донбассе // Геоэкология. – 2003. – № 6. – С. 526–539.