

УДК 550.4:556.3:574

## ЗАГРЯЗНЕНИЕ ШАХТНЫХ И ГРУНТОВЫХ ВОД В ШОЛОХОВСКОМ УГЛЕНОСНОМ РАЙОНЕ ВОСТОЧНОГО ДОНБАССА

Гавришин А.И.

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

Цель настоящих исследований – оценить роль угольной промышленности в формировании загрязнения шахтных и грунтовых вод в наиболее молодом Шолоховском угленосном районе Восточного Донбасса. Для характеристики шахтных и грунтовых вод применены стандартные методы математико-статистического анализа данных и способ оценки загрязненности вод, широко применяемый геохимии и геоэкологии, по степени загрязнения вод, почв, грунтов, донных осадков и т.п. по коэффициенту концентрации и суммарному показателю загрязненности. Выполнена оценка качества вод по нормативам РФ, США, ЕС и ВОЗ для питьевых и рыбоводческих вод. При угледобыче и при ликвидации угольных шахт интенсивно развиваются процессы выщелачивания, окисления и растворения горных пород и сульфидов, содержание которых в углях и породах достигает 4–5%, что вызывает формирование высокоминерализованных шахтных вод, в которых отмечены наиболее высокие коэффициенты концентрации для Fe и Mn. Именно эти компоненты выводят качество шахтных вод по суммарному показателю в разряд «бедствия». Далее следует отметить высокие превышения ПДК для концентраций  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Cl}^{-1}$ ,  $\text{Na}^{+1}$  и M. Наиболее интенсивными загрязнениями грунтовых вод в районе являются Fe и Mn; превышают ПДК концентрации  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^{+1}$  и величина M. Аналогия основных компонентов загрязнения шахтных и грунтовых вод убедительно свидетельствует, что именно шахтные воды являются главным источником загрязнения грунтовых. Высокий уровень загрязненности шахтных и грунтовых вод Шолоховского угленосного района свидетельствует о необходимости выполнения мониторинговых наблюдений, принятия мер по реабилитации состояний окружающей среды и совершенствования очистных технологий. При разработке очистных технологий для шахтных вод необходимо, прежде всего, добиваться снижения концентраций Fe и Mn, а также  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Cl}^{-1}$ ,  $\text{Na}^{+1}$  и величины минерализации (M).

**Ключевые слова:** шахтные и грунтовые воды, загрязнение, химический состав, Шолоховский район, Восточный Донбасс

## POLLUTION OF MINE AND GROUNDWATER IN THE SHOLOKHOV REGION OF EASTERN DONBASS

Gavriшин А.И.

South Russian State Polytechnic University named M.I. Platov, Novocherkassk,  
e-mail: agavrishin@rambler.ru

The purpose of this research is to assess the role of the coal industry in the formation of pollution of mine and groundwater in the youngest Sholokhov coal region of eastern Donbass. Standard methods of mathematical and statistical analysis of data and a method of assessing water pollution, widely used in geochemistry and geology, on the degree of contamination of water, soils, soils, bottom sediments, etc. on concentration and total pollution factor are used to characterize mine and groundwater. The water quality assessment has been carried out according to the Russian regulations, United States, EU and WHO for drinking and fisheries. In the case of coal mining and the elimination of coal mines, the processes of leaching, oxidation and dissolution of rocks and sulphides, the content of which in coals and rocks reaches 4–5%, which causes the formation of highly mineralized mine waters, which have the highest concentration rates for Fe and Mn. These components bring the quality of mine waters to the «disaster» category. Further, it should be noted that the highest excesses of MAC for  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Cl}^{-1}$ ,  $\text{Na}^{+1}$  and M concentrations are the most intense groundwater pollutants in the area are Fe and Mn; larger  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^{+1}$  and M. The analogy of the main components of pollution of mine and groundwater strongly demonstrates that mine water is the main source of groundwater pollution. The high level of pollution of mine and groundwater in the Sholokhov coalmine region indicates the need to carry out monitoring observations, take measures to rehabilitate the environment and improve treatment technologies. In the development of treatment technologies for mine water, it is necessary, first of all, to reduce the concentrations of Fe and Mn, as well as  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Cl}^{-1}$ ,  $\text{Na}^{+1}$  and mineralization (M).

**Keywords:** mine and groundwater, pollution, chemical composition, Sholokhov district, Eastern Donbass

Шолоховский угленосный район является наиболее молодой частью Восточного Донбасса, но и для него характерно проявление большинства негативных явлений, связанных с угольной промышленностью. Формируются такие отрицательные последствия, как техногенная трещиноватость пород, осушение массивов пород, проседание земной поверхности и т.п. А после лик-

видации угольных шахт (преимущественно путем затопления) добавились новые негативные явления [1, 2]: образование мощных потоков загрязнения воздушной, водной и геологической сред, выделение «мертвого воздуха», подтопление территорий, деформация зданий и сооружений [3, 4]. Аналогичные негативные последствия характерны для всего Восточного Донбасса [5] и мно-

гих угольных бассейнов мира [6–8]. В данной работе выполнена оценка реального качества шахтных и грунтовых вод Шолоховского угленосного района относительно требований к ПДК по нормативам США, ЕС, ВОЗ и РФ [9, 10], которые приведены в табл. 1.

Цель исследования: оценить роль угольной промышленности в формировании загрязнения шахтных и грунтовых вод относительно российских и зарубежных нормативов в Шолоховском, наиболее молодом угленосном районе Восточного Донбасса. Предыдущие исследования показали, что воды всего Восточного Донбасса и особенно в наиболее старой части бассейна (Шахтинский угленосный район) характеризуются очень высокой степенью загрязнения [1, 3, 4].

#### Материалы и методы исследования

Для характеристики химического состава шахтных и грунтовых вод применены методы математико-статистического анализа данных (оценка среднего арифметического, медианы, минимального и максимального значений, среднеквадратического случайно-

го отклонения). В качестве основного метода оценки загрязненности воды использована широко применяемая в геохимии и геоэкологии оценка степени загрязнения вод, почв, грунтов, донных осадков и т.п. по коэффициенту концентрации и суммарному показателю загрязненности (СПЗ) [1, 3]. Выделены категории степени загрязненности воды и окружающей среды (табл. 2). Так как шахтные воды оказались очень мощным загрязнителем, то помимо обычных категорий загрязненности (норма, риск, кризис и бедствие) дополнительно введена категория «катастрофа». Для категории «норма», когда концентрации загрязняющих компонентов ниже ПДК, значение суммарного показателя должно быть меньше 2; далее границы категорий установлены с кратностью 8:  $2 \times 8 = 16$ ,  $16 \times 8 = 128$  и т.д. (табл. 2).

Коэффициент концентрации  $i$ -го компонента рассчитывается по следующей формуле:

$$K_{ic} = C_i / C_{\text{ПДК}}$$

где  $C_i$  – концентрация компонента,  $C_{\text{ПДК}}$  – предельно допустимая или фоновая концентрация компонента.

Таблица 1  
Требования к ПДК

Компонент	ПДК США питьевые	ПДК ЕС питьевые	ПДК ВОЗ питьевые	ПДК РФ питьевые	ПДК РФ рыбхоз.
pH	6,5–8,5	6,5–8,5	–	6–9	6–8,5
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	250	250	250	500	100
Cl <sup>-1</sup>	250	250	250	350	300
Na <sup>+1</sup>	–	–	200	200	120
Mg <sup>+2</sup>	–	50	–	50	40
M	500	1500	1000	1000	1000
Al	0,2	0,2	0,2	0,2	0,04
Be	0,004	–	–	0,0002	0,0002
Fe	0,3	0,2	0,3	0,3	0,1
Cd	0,005	0,005	0,003	0,001	0,005
K	–	12	–	30	50
Co	–	–	–	0,1	0,01
Li	–	–	–	0,03	0,03
Cu	1,3	2,0	1,0	1,0	0,001
Mn	0,05	0,05	0,5	0,1	0,01
Ni	–	–	0,02	0,02	0,01
Pb	0,015	0,01	0,01	0,01	0,006
Se	0,05	0,01	0,01	0,01	0,002
Sr	–	–	3	7	2
Cr	0,1	0,05	0,05	0,05	0,05
Zn	5	5	3	1	0,01

П р и м е ч а н и е . Знак «–» обозначает отсутствие норматива по ПДК; М – минерализация вод.

Степень загрязненности воды и окружающей среды по  $n$  компонентам оценивается по суммарному показателю загрязненности (СПЗ):

$$Z_C = \sum_i K_{iC} - (n - 1).$$

Категории загрязненности воды и окружающей среды приведены в табл. 2.

Суммарный показатель загрязненности дает возможность оценивать качество химического состава любых типов вод (атмосферные, поверхностные, подземные, техногенные) относительно любых нормативных показателей (питьевые, рыбохозяйственные, требования СанПиН, СНиП, ВОЗ, США, ЕС и др.), по набору любых компонентов. В табл. 2 приведены значения предельно допустимых концентраций (ПДК) по различным нормативам, которые использованы в настоящей работе: ПДК к питьевым водам по нормам Агентства по охране окружающей среды США (U.S.EPA); ПДК по Директиве Европейского Союза (ЕС) по качеству питьевой воды, предназначеннной для потребления человеком; по ПДК Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), по нормативу к ПДК питьевых вод РФ [9] и рыбохозяйственных [10].

#### Качество шахтных вод

В Шолоховском, наиболее молодом угленосном районе Восточного Донбасса, находятся десятки работающих и ликвидированных угольных шахт, обогатительных предприятий, терриконов, прудов-отстойников и очистных сооружений, которые оказывают довольно существенное негативное влияние на состояние окружающей среды, особенно на загрязнение вод. Шахтные воды района в среднем по составу сульфатные магниево-натриевые (табл. 3), с мине-

рализацией 5 г/л и концентрацией сульфат-иона 2,2 г/л.

Оценка качества шахтных вод по величине суммарного показателя загрязненности (СПЗ) приведена в табл. 4. Наиболее высокое загрязнение отмечено для концентраций Fe и Mn, а также для  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{M}$ ,  $\text{Na}^{+1}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  и  $\text{Cl}^{-1}$ . Следовательно, при разработке очистных технологий необходимо добиться прежде всего снижения концентраций указанных компонентов.

Относительно требований к водам питьевого назначения по нормативам США, ВОЗ и РФ шахтные воды района относятся к категории «кризис», а по нормативам ЕС к категории «бедствие». Относительно требований к водам рыбохозяйственного водопользования качество шахтных вод принадлежит к категории «бедствие».

Необходимо отметить, что шахтные воды Шолоховского угленосного района характеризуются относительно невысоким уровнем загрязнения по сравнению с другими районами Восточного Донбасса, например в Шахтинском угленосном районе величина СПЗ соответствует категории «катастрофа».

#### Качество грунтовых вод

При завершении процесса массовой ликвидации угольных шахт в Восточном Донбассе началось формирование потока вод из горных выработок во вмещающие породы и образование мощных ореолов загрязнения грунтовых вод. В табл. 5 приведены параметры распределения концентраций макрокомпонентов грунтовых вод Шолоховского района. В среднем по составу это сульфатные магниево-натриево-кальциевые воды (табл. 3), минерализация которых может достигать 4,6, а концентрация сульфат-иона – 2,4 г/л.

Таблица 2

Категории загрязненности воды и окружающей среды

Суммарный показатель	Категории загрязненности воды и окружающей среды
$< 2$	Норма (удовлетворительная)
$\geq 2 - 16$	Риск (напряженная)
$\geq 16 - 128$	Кризис (чрезвычайная)
$\geq 128 - 1024$	Бедствие
$\geq 1024$	Катастрофа

Таблица 3

Средний состав шахтных и грунтовых вод (%-моль)

Тип вод	$\text{HCO}_3^{-1}$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Cl}^{-1}$	$\text{Ca}^{+2}$	$\text{Mg}^{+2}$	$\text{Na}^{+1}$
Шахтные	16	60	24	18	25	57
Грунтовые	20	57	23	39	24	37

**Таблица 4**  
Оценка качества шахтных вод Шолоховского угленосного района

Компонент	X	K <sub>i</sub> по ПДК США	K <sub>i</sub> по ПДК ЕС	K <sub>i</sub> по ПДК ВОЗ	K <sub>i</sub> по ПДК РФ <sub>п</sub>	K <sub>i</sub> по ПДК РФ <sub>п</sub>
pH	7,0	0	0	0	0	0
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	2208	8,8	8,8	8,8	4,4	22,1
Cl <sup>-1</sup>	649	2,6	2,6	2,6	1,85	2,2
Na <sup>+1</sup>	933	н	н	4,7	4,7	7,8
Mg <sup>+2</sup>	211	н	4,2	н	4,2	5,3
M	4992	9,98	3,3	5,0	5,0	5,0
Al	0,05	0,25	0,25	0,25	0,25	1,5
Be	0,0005	0,13	н	н	2,5	2,5
Fe	21	70	105	70	70	210
Cd	0,0001	0,02	0,02	0,03	0,1	0,02
K	60	н	5	н	2	1,2
Co	0,001	н	н	н	0,01	0,1
Li	0,1	н	н	н	13	13
Cu	0,003	0,02	0,002	0,003	0,003	3
Mn	1,6	32	32	3,2	16	160
Ni	0,001	н	н	0,05	0,05	0,1
Pb	0,001	0,07	0,1	0,1	0,1	0,2
Se	0,01	0,2	1	1	1	5
Sr	5,0	н	н	1,7	0,7	2,5
Cr	0,004	0,04	0,08	0,08	0,08	0,08
Zn	0,01	0,002	0,002	0,003	0,01	1
Z <sub>c</sub>		111	149	82	107	423

П р и м е ч а н и е . X – значение компонента в шахтных водах в мг/л; ПДК РФ<sub>п</sub> и РФ<sub>п</sub> – значения ПДК по нормативам РФ для питьевых и рыбохозяйственных вод.

**Таблица 5**  
Химический состав грунтовых вод (макрокомпоненты, мг/л)

Элементы	X	Ме	Max	Min	S
pH	7,4	7,4	8,7	6,7	0,4
HCO <sub>3</sub> <sup>-1</sup>	332	306	640	67	124
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	753	436	2367	65	666
Cl <sup>-1</sup>	220	194	686	17	162
Ca <sup>+2</sup>	210	155	571	14	154
Mg <sup>+2</sup>	78	147	255	23	57
Na <sup>+1</sup>	240	141	688	15	164
M	1767	1199	4616	271	1214

П р и м е ч а н и е . X – среднее арифметическое, Ме – медиана, Max и Min – максимальное и минимальное значения, S – стандартное отклонение.

Оценка степени загрязненности грунтовых вод Шолоховского угленосного района приведена в табл. 6. По требованиям к питьевым водам грунтовые воды отнесены к категории «риска» по нормативам США, ВОЗ и РФ, а по требованиям ЕС –

к категории «кризис». Относительно рыбохозяйственных вод грунтовые воды принадлежат к категории «кризис».

Наиболее интенсивное загрязнение грунтовых вод установлено для Fe и Mn, а также для SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, Na<sup>+1</sup>, Mg<sup>+2</sup> и M.

Таблица 6  
Оценка качества грунтовых вод Шолоховского угленосного района

Компонент	X	K <sub>i</sub> по ПДК США	K <sub>i</sub> по ПДК ЕС	K <sub>i</sub> по ПДК ВОЗ	K <sub>i</sub> по ПДК РФ <sub>п</sub>	K <sub>i</sub> по ПДК РФ <sub>п</sub>
pH	7,4	0	0	0	0	0
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	753	3,0	3,0	3,0	1,5	7,53
Cl <sup>-1</sup>	220	0,9	0,9	0,9	0,63	0,73
Na <sup>+1</sup>	240	н	н	1,2	1,2	2,0
Mg <sup>+2</sup>	78	н	1,56	н	1,56	1,95
M	1767	3,53	1,2	1,8	1,8	1,8
Al	0,17	0,85	0,85	0,85	0,85	4,25
Be	0,001	0,25	н	н	5,0	5,0
Fe	3,1	10,3	15,5	10,3	10,3	31
Cd	0,001	0,2	0,2	0,33	1,0	0,2
K	9,2	н	0,77	н	0,31	0,18
Co	0,01	н	н	н	0,1	1,0
Li	0,026	н	н	н	0,9	0,9
Cu	0,0043	0,0033	0,0022	0,0043	0,0043	4,3
Mn	0,26	5,2	5,2	0,52	2,6	26
Ni	0,001	н	н	0,05	0,05	0,1
Pb	0,001	0,07	0,1	0,1	0,1	0,17
Se	0,0134	0,27	1,3	1,3	1,3	6,7
Sr	3,0	н	н	1,0	0,43	1,5
Cr	0,0024	0,024	0,05	0,05	0,05	0,05
Zn	0,1	0,02	0,02	0,033	0,1	10
Z <sub>c</sub>		11,6	17,7	7,4	10,8	86,4

Все эти компоненты отмечены в повышенных концентрациях в шахтных водах, и это свидетельствует о том, что шахтные воды являются главным загрязнителем грунтовых.

### Заключение

Выполнен анализ степени загрязненности шахтных и грунтовых вод в наиболее молодом Шолоховском угленосном районе Восточного Донбасса. При функционировании и ликвидации угольных шахт интенсивно развиваются процессы выщелачивания, окисления и растворения горных пород и особенно серы и сульфидов, содержание которых в углях и породах достигает 4–5 % [2]. В этих условиях начинается формирование высокоминерализованных шахтных вод, в которых отмечены наиболее высокие коэффициенты концентрации для Fe и Mn, для ПДК питьевых вод они составляют десятки раз. Именно эти компоненты выводят качество шахтных вод по суммарному показателю в разряд «бедствие». Далее следует отметить высокие превышения ПДК для концентраций SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, Na<sup>+1</sup>, Cl<sup>-1</sup> и величины минерализации.

Наиболее интенсивными загрязнителями грунтовых вод в районе являются Fe и Mn, по которым коэффициенты концентрирования достигают десятков раз (табл. 6); превышают ПДК концентрации SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, Cl<sup>-1</sup>, Mg<sup>+2</sup>, Na<sup>+1</sup> и величина M. В изученном Шолоховском угленосном районе началось формирование потоков загрязнения грунтовых вод, среди которых встречаются воды с минерализацией до 4,6 и концентрацией сульфат-иона 2,4 г/л (табл. 5). Аналогия основных компонентов загрязнения шахтных и грунтовых вод убедительно свидетельствует, что именно шахтные воды являются главным источником загрязнения грунтовых. Уровень загрязненности шахтных и грунтовых вод Шолоховского угленосного района свидетельствует о необходимости выполнения мониторинговых наблюдений, принятия мер по реабилитации состояний окружающей среды и совершенствования очистных технологий. При разработке очистных технологий для шахтных вод необходимо, прежде всего, добиваться снижения концентраций Fe и Mn, а также SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, Na<sup>+1</sup> и величины минерализации (M).

**Список литературы / References**

1. Гавришин А.И. Оценка качества химического состава поверхностных вод в Восточном Донбассе // Геоэкология. 2019. № 4. С. 61–67. DOI: 10.31857/S0869-78092019461-67.
2. Gavrilishin A.I. Evaluation of chemical composition quality of surface water in the Eastern Donbass / Geoecology. 2019. № 4. P. 61–67 (in Russian).
3. Bazhin V.Yu., Beloglazov I.I., Feschenko R.Yu. Deep conversion and metal content of Russian coals. Eurasian Mining. 2016. № 2. P. 28–36. DOI: 10.17580/em.2016.02.07.
4. Gavrilishin A.I. Mine Waters of the Eastern Donbass and Their Effect on the Chemistry of Groundwater and Surface Water in the Region. Water Resources. 2018. Vol. 45. № 5. P. 785–794. DOI: 10.1134/S0097807818050081.
5. Грязев М.В., Качурин Н.М., Стась Г.В. Пылегазовые выбросы с поверхности породных отвалов ликвидированных шахт угольного бассейна // Устойчивое развитие горных территорий. 2018. Т. 10. № 4 (38). С. 500–509. DOI: 10.21177/1998-4502-2018-10-4-500-508.
6. Gryazev M.V., Kachurin N.M., Stas G.V. Dust and Gas Emissions from the Dumps Surfaces of the Liquidated Mines of the Moscow Coal Basin // Ustoychivoye razvitiye gornykh territoriy. 2018. V. 10. № 4 (38). P. 500–509 (in Russian).
7. Giulio D.C., Jackson R.B. Impact to Underground Sources of Drinking Water and Domestic Wells from Production Well Stimulation and Completion Practices in the Pavilion, Wyoming, Field. Environmental Science and Technology. 2016. Vol. 50 (8). P. 4524–4536. DOI: 10.1021/acs.est.5b04970.
8. Neidell Matthew, Gross Tal, Graff Zivin, Joshua, Chang Tom Y. The Effect of Pollution on Worker Productivity: Evidence from Call Center Workers in China. American Economic Journal: Applied Economics. 2019. Vol. 11 (1). P. 151–172. DOI: 10.1257/app.20160436.
9. Pfunt H., Houben G., Himmelsbach, T. Numerical modeling of fracking fluid migration through fault zones and fractures in the North German Basin. Hydrogeology Journal. 2016. Vol. 24 (60). P. 1343–1358. DOI: 10.1007/s10040-016-1418-7.
10. ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Гигиенические нормативы. Минздрав. РФ. Пост. № 78. М., 2003. 152 с.
11. ПДК водных объектов рыбохозяйственного значения. Гигиенические нормативы. Приказ Росрыболовства от 18.01.2010 № 20. М., 2010. 5 с.