

ГЕОЭКОЛОГИЯ

УДК 574:550. 42:662.511:556.3

DOI: [10.46698/VNC.2020.62.81.008](https://doi.org/10.46698/VNC.2020.62.81.008)

Оригинальная статья

Шахтные воды в управлении качеством грунтовых вод в Восточном Донбассе

А. И. Гавришин 

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

Статья поступила: 27.07.2020, доработана: 10.08.2020, одобрена в печать: 11.08.2020

Резюме: Актуальность работы. Ведущими факторами преобразования окружающей среды в регионе являются угледобывающая и углеперерабатывающая промышленности. Под влиянием этих факторов формируется множество негативных последствий и, прежде всего, интенсивное загрязнение грунтовых вод. **Цель исследований** – оценить роль шахтных вод в управлении загрязненностью грунтовых вод в Восточном Донбассе. **Методы исследования.** Для решения поставленной задачи применены стандартные методы математической статистики, цифровая компьютерная классификационная технология АГАТ-2, метод оценки качества вод по суммарному показателю загрязненности. Выполнен детальный анализ закономерностей формирования химического состава и загрязненности шахтных и грунтовых вод в Восточном Донбассе. Шахтные воды содержат очень высокие концентрации многих компонентов, значительно превышающие ПДК. **Результаты работы.** Наибольшие концентрации отмечены по Fe и Mn, для которых превышения ПДК составляют сотни, а в отдельных случаях тысячи раз. Обычно превышение ПДК в десятки раз обнаружено для Al, Li, Be, Ni, Se, Cu и Zn. Из макрокомпонентов значительное загрязнение проявляется по концентрациям SO_4 , Na, Mg и M. В грунтовых водах наибольшую долю в загрязнение вод также вносят Fe и Mn, отмечается превышение ПДК по Al, Zn, Be, Li, Se, Cu, а также по SO_4 , Na, Mg и M. Сравнение списка компонентов загрязненности шахтных и грунтовых вод убедительно свидетельствует, что шахтные воды играют ведущую роль в управлении качеством грунтовых вод. Актуальность исследований заключается в том, что впервые для важного в промышленно-экономическом отношении региона РФ выполнена оценка качества шахтных вод и их влияния на загрязнение грунтовых вод по требованиям к ПДК вод в соответствии с нормативами США, ЕС и РФ. Очень высокий уровень загрязненности шахтных и грунтовых вод свидетельствует о настоятельной необходимости выполнения мониторинговых наблюдений, проведения мер по реабилитации состояния окружающей среды в регионе и совершенствования очистных технологий, в первую очередь, по уменьшению концентраций Fe, Mn и величины минерализации.

Ключевые слова: шахтные, грунтовые воды, химический состав, показатель загрязненности, Восточный Донбасс.

Для цитирования: Гавришин А. И. Шахтные воды в управлении качеством грунтовых вод в Восточном Донбассе. *Геология и геофизика Юга России*. 2020. 10 (3): 127 – 138. DOI: 10.46698/VNC.2020.62.81.008.

GEOECOLOGY

DOI: [10.46698/VNC.2020.62.81.008](https://doi.org/10.46698/VNC.2020.62.81.008)

Original paper

The mine water in the management of groundwater pollution in the Eastern Donbass

A. I. Gavrishin 

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), 132 Prosveshcheniya Str.,
Novocherkassk 346428, Russian Federation, e-mail: agavrishin@rambler.ru

Received: 27.07.2020, revised: 10.08.2020, accepted: 11.08.2020

Abstract: Relevance. Coal mining and coal-processing industries are the leading drivers of environmental transformation in the region. These factors are influenced by many negative effects and, above all, intense groundwater pollution. **Aim** of the research is to assess the role of mine water in the management of groundwater pollution in the Eastern Donbass. **Methods.** To solve the problem, standard methods of mathematical statistics, digital computer classification technology AGTA-2, and method of assessing water quality according to the total pollution indicator are used. A detailed analysis of the patterns of chemical composition and contamination of mine and groundwater in the Eastern Donbass has been carried out. Mine water contains very high concentrations of many components, much higher than MAC. **Results.** The highest concentrations are recorded by Fe and Mn, for which the excesses of MAC are hundreds, and in some cases thousands of times. Typically, the excess of MAC is found tenfold for Al, Li, Be, Ni, Se, Cu and Zn. Of the macro components, significant pollution is manifested by concentrations of SO₄, Na, Mg and M. In groundwater, Fe and Mn also contribute to groundwater pollution, and there is an excess of MAC for Al, Zn, Be, Li, Se, Cu, as well as SO₄, Na, Mg and M. The relevance of the research lies in the fact that for the first time for the industrial and economic region of the Russian Federation, an assessment of the quality of mine waters and their impact on groundwater pollution according to the requirements of the MAC of water in accordance with the regulations of the United States, the EU and the Russian Federation has been carried out. Comparison of the list of mine and groundwater pollution components strongly demonstrates that mine water plays a leading role in the management of groundwater quality. The very high level of mine and groundwater pollution demonstrates the urgent need to carry out monitoring observations, to rehabilitate the environment in the region and to improve treatment technologies, primarily to reduce the concentrations of Fe, Mn and mineralization.

Keywords: mine and groundwater, chemical composition, pollution indicator, Eastern Donbass.

For citation: Gavrishin A. I. The mine water in the management of groundwater pollution in the Eastern Donbass. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2020. 10 (3): 127 – 138. DOI: 10.46698/VNC.2020.62.81.008.

Введение

Добыча полезных ископаемых сопровождается интенсивным изменением естественного энерго- и массопереноса, когда из недр на поверхность земли извлекают огромные массы горных пород, полезного ископаемого, подземных вод и т. д. В Восточном Донбассе угледобывающая и углеперерабатывающая промышленности оказывают существенное влияние на состояние окружающей среды и наносят серьезный экологический ущерб территории региона. Главными факторами негативного воздействия на окружающую среду являются закрытые и брошенные, действующие и недавно ликвидированные угольные шахты, породные отвалы, обогатительные фабрики и другие объекты. Указанные факторы формируют техногенную

трещиноватость горных пород, деформацию зданий и сооружений, заиливание водотоков, засоление почв. Кроме того массовая ликвидация шахт интенсифицировала процессы оседания земной поверхности, подтопления территорий, формирование мощных потоков загрязнения воздушной, водной и геологической сред, выделение «мертвого воздуха» и другие отрицательные явления [Гавришин, 2019; Гавришин и др., 2018; Закруткин и др., 2015; Gavrishin, 2018b, 2020a; Reshetnyak et al., 2014; Zakrutkin, Sklyarenko, 2015]. Аналогичные негативные последствия характерны для многих угольных бассейнов [Грязев и др., 2018; Колесникова, 2017; Appelo, Postma, 2005; Chen, 2014; Gavrishin, 2020a; Giulio, Jackson, 2016; Neidell et al., 2019; Pfunt et al., 2016]. **Главная цель** настоящих исследований – оценить роль шахтных вод в управлении загрязненностью грунтовых вод в Восточном Донбассе.

Методика исследований

Для характеристики химического состава шахтных и грунтовых вод применены стандартные методы математико-статистического анализа данных. В качестве основного способа 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. При этом введены категории степени загрязненности воды и окружающей среды (табл. 1). 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: $2 \cdot 8 = 16$, $16 \cdot 8 = 128$ и т. д. (табл. 1).

Коэффициент концентрации i -го компонента рассчитывается по следующей формуле:

$$K_{iC} = C_i / C_{ПДК},$$

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

Степень загрязненности воды и окружающей среды по n компонентам оценивается по суммарному показателю загрязненности:

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

Категории загрязненности вод и окружающей среды приведены в таблице 1.

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 настоящей работе использованы: ПДК к питьевым водам по нормам «Агентства по охране окружающей среды США (U. S. EPA)»; ПДК по «Директиве Европейского Союза по качеству питьевой воды, предназначенной для потребления человеком»; по нормативу к ПДК питьевых вод РФ [ГН, 2003] и рыбохозяйственных вод [ПДК, 2010].

Для детального анализа качества шахтных вод выполнено выделение однородных типов вод с применением компьютерной технологии AGAT-2, реализующей G-метод классификации многомерных наблюдений (выделение однородных сово-

*Таблица 1. / Table 1.***Категории загрязненности воды и окружающей среды. / Water and environmental pollution categories**

Суммарный показатель. / Total pollution	Категории загрязненности воды и окружающей среды. / Water and environmental pollution categories
<2	Норма (удовлетворительная). / Norm
≥2-16	Риск (напряженная). / Risk
≥16-128	Кризис (чрезвычайная). / Crisis
≥128-1024	Бедствие. / Disaster
≥1024	Катастрофа. / The Great Disaster

купностей), который основан на оригинальном критерии Z^2 – Гавришина [Gavrishin, 2018a; Tossi et al., 2010].

На основе критерия Z-квадрат развита новая цифровая компьютерная технология классификации многомерных наблюдений АГАТ-2. Эта технология позволяет: строить классификацию наблюдений в условиях самоорганизации (задача без учителя); выделять таксоны различных уровней; использовать зависимые признаки; не ограничивать соотношение между числом наблюдений (N) и числом признаков (M); оценивать сходства-различия между однородными таксонами и др. Указанная цифровая технология классификации многомерных наблюдений (G-метод) успешно применена при изучении природных и антропогенных систем на Земле, Луне, Марсе, Юпитере, кометах, астероидах и в дальнем космосе [Gavrishin, 2018a; Tossi et al., 2010].

В название вод ионы включаются при содержании более 25-20%-молей и компоненты располагаются в порядке возрастания содержаний. Название вод приводится по классификации Алекина-Посохова.

Характеристика химического состава шахтных вод

Интенсивная разработка угольных месторождений в Восточном Донбассе ведется более 100 лет. Наряду с периодами относительной стабилизации состава шахтных вод установлены периоды интенсификации процессов окисления, растворения и выщелачивания. После завершения ликвидации угольных шахт вынос сульфат-иона, железа и других растворенных веществ (426 млн. т/год) достигли максимальных значений, т.е. влияние горного фактора привело к существенному ухудшению экологического состояния окружающей среды в регионе. В таблице 2 приведены статистические параметры распределений концентраций, лимитируемых макро- и микрокомпонентов в шахтных водах Восточного Донбасса.

Анализ данных таблицы 2 свидетельствует, что по многим компонентам наблюдаются большие различия между средними арифметическими и медианными значениями, между минимальными и максимальными концентрациями; относительный стандарт превышает 100% и это свидетельствует о несимметричности распределений концентраций компонентов. Далее выполнен анализ качества химического состава шахтных вод путем расчета коэффициента концентрации (K_i) и суммарного показателя загрязненности воды (Z_C) относительно российских и зарубежных нормативов (табл. 3).

Таблица 2. / Table 2.

Содержания макро- и микрокомпонентов в шахтных водах /
Macro and microcomponents in minewaters

Компонент / Component	X	X _{me}	X _{min}	X _{max}	S
pH	7,0	7,0	3,7	9,0	0,95
SO ₄	2837	2058	607	12084	2187
Cl	347	214	10	1897	333
Na	966	518	62	2116	465
Mg	267	216	6	1581	262
M	5301	4516	1624	17496	3171
Al	3,01	0,11	0,02	105	21,7
Be	0,0017	0,0007	0,0000	0,04	0,01
Fe	33,7	6,2	0,06	401	97
Cd	0,0017	0,0001	0,0001	0,04	0,01
K	25,5	13,3	1,5	272	56
Co	0,028	0,001	0,001	0,042	0,1
Li	0,31	0,13	0,01	2,2	0,51
Cu	0,005	0,002	0,001	0,061	0,013
Mn	5,1	2,7	0,001	38,9	9,4
Ni	0,073	0,001	0,001	1,8	0,38
Pb	0,0011	0,0010	0,0010	0,003	0,0004
Se	0,017	0,005	0,005	0,12	0,029
Sr	6,1	5,7	0,15	14,5	3,65
Cr	0,007	0,002	0,001	0,073	0,017
Zn	0,134	0,043	0,005	2,55	0,53

Примечание. Во всех таблицах: X – среднее арифметическое, X_{me} – медиана, X_{min}, X_{max} – минимальная и максимальная концентрации, S – стандартное отклонение. / Note. In all tables: X is the arithmetic mean, X_{me} is the median, X_{min}, X_{max} are the minimum and maximum concentrations, S – Is the standard deviation.

Данные таблицы 3 свидетельствуют, что по категории загрязненности для питьевых вод шахтные воды надежно относятся к категории «бедствие». Наиболее высокими загрязняющими показателями характеризуются Fe и Mn, по которым коэффициент концентрации превышает сотни раз. Кроме того, сильное загрязнение отмечается по Al, Li, Be, Ni, а по макрокомпонентам для SO₄, Na, Mg и M. Относительно требований к рыбохозяйственным водам суммарный показатель равен 1013, что очень близко к категории «катастрофа».

Для более детального анализа особенностей роли шахтных вод в управлении качеством грунтовых вод выполнена классификация состава шахтных вод с выде-

Таблица 3. / Table 3.

Оценка качества шахтных вод (мг/л) /
Assessment of the quality of mine water (mg/l)

Компонент. / Component	X	K _i по ПДК США. / MOC USA	K _i по ПДК ЕС. / MOC EU	K _i по ПДК РФ-п. / MOC RF Drinking	K _i по ПДК РФ-р. / MOC RF fish-and-zids
pH	7,0	0	0	0	0
SO ₄	2837	11,3	11,3	5,7	28,4
Cl	347	1,4	1,4	1,0	1,2
Na	966	H	H	4,8	8,3
Mg	267	H	5,3	5,3	6,7
M	5301	10,6	3,5	5,3	5,3
Al	3,01	15,5	15,5	15,1	75,3
Be	0,0017	0,4	H	8,5	8,5
Fe	33,7	112	168	112	337
Cd	0,0017	0,3	0,3	1,7	0,3
K	25,5	H	2,1	0,9	0,5
Co	0,028	H	H	0,3	2,8
Li	0,31	H	H	10,3	10,3
Cu	0,005	0,004	0,003	0,005	5
Mn	5,1	102	102	51	510
Ni	0,073	H	H	3,7	7,3
Pb	0,0011	0,1	0,1	0,1	0,2
Se	0,017	0,02	1,7	1,7	8,5
Sr	6,1	H	H	0,9	3,1
Cr	0,007	0,1	0,14	0,14	0,14
Zn	0,134	0,03	0,03	0,13	13,3
Z _c		240,8	307,4	209,6	1013

Примечание. ПДК РФ-п – ПДК РФ для питьевых вод; ПДК РФ-р – ПДК РФ – для рыбохозяйственных вод; H – отсутствие нормативного показателя. / Note. MPC RF-p is MPC RF for drinking water; MPC RF-r is MPC RF – for fishery waters; H – no normative indicator.

лением однородных типов, с помощью цифровой компьютерной технологии АГАТ-2 [Gavrishin, 2018a; Tossi et al., 2010]. Выделено четыре основных гидрогеохимических типа шахтных вод [Gavrishin, 2018b]. Первый тип связан с преобразованием исходных слабоминерализованных гидрокарбонатно-сульфатных вод в кислые (pH – до 2) сульфатные воды с высоким содержанием Fe, Mn, Al, Si и других металлов и обусловлен интенсивным развитием процессов окисления серы [Bazhin et al., 2010] и растворения сульфатов.

Второй тип – это хлоридно-сульфатные нейтральные воды, в незначительной степени обогащенные 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.

Третий тип 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 переходят на второе место. После завершения массовой ликвидации угольных шахт третий тип в шахтных водах не образуется.

По четвертому типу образуются оригинальные содовые гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридные и хлоридные натриевые воды. Теперь ведущую роль начинает играть приток содовых подземных вод, который формируется в результате испарительно-конденсационных процессов в водоуглеродной газовой фазе [Gavrishin, 2018b]. В районе угольных шахт, где образуются содовые воды четвертого направления, наиболее высоки перспективы обнаружения нефтегазовых скоплений. В таблице 4 приведен общий химический состав гидрогеохимических типов шахтных вод по результатам опробования после завершения процесса ликвидации угольных шахт.

Теперь по результатам классификации состава шахтных вод (табл. 4) появляется возможность определить роль различных типов шахтных вод в загрязнении грунтовых. Установлено, что к первому типу отнесено 61 % наблюдений, ко второму – 30%, к третьему – 0%, к четвертому – 9%.

Результаты оценки качества химического состава гидрогеохимических типов шахтных вод приведены в таблице 5. Рассчитаны коэффициенты концентрации и суммарный показатель загрязненности отдельно для каждого гидрогеохимического типа в соответствии с ПДК для питьевых и рыбохозяйственных вод.

Таблица 4. / Table 4.

Химический состав гидрогеохимических типов шахтных вод (мг/л и %-моль). / Chemical composition of hydrogeochemical types of minewater (mg/land %-mole)

Тип. / Type	pH	HCO ₃	SO ₄	Cl	Ca	Mg	Na	Fe	M
1	5,73	256	4766	230	359	400	1435	43,8	7480
		4	90	6	16	30	54		
2	6,73	536	4123	660	322	306	1719	3,2	7667
		8	76	17	14	22	64		
3	отсутствует. / missing								
4	7,30	426	1216	211	38	32	806	1,1	2730
		18	66	16	5	7	88		

Таблица 5. / Table 5.

Оценка качества химического состава типов шахтных вод. /
Assessment of the quality of the chemical composition of mine water types

	X-1	1	2	X-2	3	4	X-4	5	6
pH	5,7	1,1	1,1	6,7	0	0	7,3	0	0
SO ₄	4766	9,5	47,7	4123	8,2	41,23	1216	2,43	12,16
Cl	230	0,7	0,8	660	1,9	2,2	211	0,6	0,7
Na	1930	9,6	16,1	1408	7,0	11,7	667	3,3	5,6
Mg	400	8	10	306	6,1	7,6	32	0,6	0,8
M	7480	7,5	7,5	7667	7,7	7,7	2730	2,7	2,73
Al	22	110	550	0,1325	0,6	3,3	1,46	7	36,5
Be	0,009	45	45	0,0006	3	3	0,0004	2	2
Fe	166	553	1660	13,9	46,3	139	8	26,6	80
Cd	0,001	1	0,2	0,0004	0,4	0,08	0,00045	0,45	0,1
K	14	0,5	0,3	63	2,1	1,3	14,1	0,5	0,3
Co	0,14	1,4	14	0,004	0,04	0,4	0,007	0,07	0,7
Li	0,40	13,3	13,3	0,60	20	20	0,41	13,7	13,7
Cu	0,013	0,013	13	0,0033	0,003	3,3	0,006	0,006	6
Mn	14	140	1400	3,28	32,8	328	2,1	21	210
Ni	0,49	24,5	49	0,001	0,05	0,1	0,014	0,7	1,4
Pb	0,001	0,1	0,2	0,001	0,1	0,2	0,001	0,1	0,2
Se	0,011	1,1	5,5	0,030	3	15	0,006	0,6	3
Sr	7,4	1,1	3,7	9,13	1,3	4,5	3,4	0,5	1,7
Cr	0,029	0,6	0,6	0,0023	0,5	0,5	0,001	0,02	0,02
Zn	0,55	0,55	55	0,050	0,05	5	0,035	0,035	3,5
Z _c		909	3873		121	574		63	361

Примечание. X-1, X-2, X-4 – средние концентрации компонентов по первому, второму и четвертому типам шахтных вод в мг/л; 1, 3 и 5 – сравнение с ПДК питьевых вод; 2, 4 и 6 – сравнение с ПДК рыбохозяйственных вод. / Note. X-1, X-2, X-4 are average concentrations of components for the first, second and fourth types of mine water in mg/l; 1, 3 and 5 – comparison with MPC for drinking water; 2, 4 and 6 – comparison with MPC for fishery waters.

Данные таблицы 5 свидетельствуют о том, что максимумом загрязненности характеризуются воды первого гидрогеохимического типа; ситуация соответствует «бедствию» и «катастрофе» (суммарный показатель загрязненности 909 и 3873), и именно этот тип играет ведущую роль в управлении качеством вод в Восточном Донбассе. Наибольшую долю в загрязнение вод вносят Fe и Mn, по которым коэффициент концентрации достигает тысяч раз. Сильное загрязнение отмечается по Al, Li, Be, Ni и Zn, а по макрокомпонентам по SO₄, Na, Mg и M.

Воды второго гидрогеохимического типа характеризуются меньшей, чем первый тип, но значительной степенью загрязненности, которая соответствует «кризису» для питьевых вод и «бедствию» для рыбохозяйственных. Наибольшая доля загрязнения принадлежит Fe и Mn, а также Li, Se, Sr, Be, SO₄, Na, Mg и M. Четвертый гидрогеохимический тип вод наименее загрязнен; ситуация соответствует «кризису» и «бедствию». Наибольшие концентрации отмечены для Fe и Mn, повышенные – для Al, Li, Be, Zn, SO₄, Na, и M.

Таким образом, шахтные воды Восточного Донбасса содержат очень высокие концентрации многих компонентов, значительно превышающие ПДК. Наибольшие

Таблица 6. / Table 6.

Оценка качества грунтовых вод. / Assessment of groundwater quality

Компонент. / Component	X	Ki по ПДК США. / MOC USA	Ki по ПДК ЕС. / MOC EU	Ki по ПДК РФ-п. / MOC RF Drinking	Ki по ПДК РФ- р. / MOC RFfish-and- zids
pH	7,2	0	0	0	0
SO ₄	1566	6,3	6,3	3,15	15,66
Cl	333	1,3	1,3	0,95	1,11
Na	437	H	H	2,185	3,64
Mg	152	H	3,04	3,04	3,8
M	3230	6,46	3,15	3,23	3,23
Al	0,2	1	1	1	5
Be	0,0007	0,2	H	3,5	3,5
Fe	3,13	10,43	15,65	10,43	31,3
Cd	0,001	0,2	0,2	1	0,2
K	14,8	H	1,23	0,5	0,3
Co	0,002	H	H	0,02	0,2
Li	0,06	H	H	2	2
Cu	0,004	0,003	0,002	0,004	4
Mn	0,61	12,2	12,2	6,,1	61
Ni	0,002	H	H	0,1	0,2
Pb	0,001	0,07	0,1	0,1	0,17
Se	0,016	0,32	1,6	1,6	8
Sr	3,1	H	H	0,44	1,55
Cr	0,002	0,02	0,04	0,04	0,04
Zn	0,08	0,02	0,02	0,08	8
Z _c		25,5	31,8	13,4	172,9

концентрации отмечены по Fe и Mn, для которых превышения ПДК составляют сотни, а в отдельных случаях тысячи раз. Обычно превышение ПДК в десятки раз обнаружено для Al, Li, Be, Ni и Zn. Из макрокомпонентов значительное загрязнение проявляется по концентрациям SO_4 , Na, Mg и M.

Характеристика химического состава грунтовых вод

Химический состав грунтовых вод Восточного Донбасса охарактеризован по результатам опробования скважин, вскрывающих воды каменноугольных отложений, преимущественно в районах ликвидированных угольных шахт. Средний состав грунтовых вод по сравнению с шахтными водами характеризуется значительно меньшей минерализацией и концентрациями компонентов.

Результаты оценки степени загрязненности грунтовых вод приведены в таблице 6 относительно требований к питьевым водам по нормативам США, ЕС и РФ (категории «кризис» и «риск») и относительно ПДК к рыбохозяйственным водам по требованиям РФ-р (категория «бедствие»).

В грунтовых водах (табл. 6), как и в шахтных, наибольшую долю в загрязнение вод вносят Fe и Mn, отмечается превышение ПДК по Al, Zn, Be, Li, Se, Cu, а также по SO_4 , Na, Mg и M.

Выводы

Выполнен детальный анализ закономерностей формирования химического состава и загрязненности шахтных и грунтовых вод в Восточном Донбассе. Шахтные воды содержат очень высокие концентрации многих компонентов, значительно превышающие ПДК. Наибольшие концентрации отмечены по Fe и Mn, для которых превышения ПДК составляют сотни, а в отдельных случаях тысячи раз. Обычно превышение ПДК в десятки раз обнаружено для Al, Li, Be, Ni, Se, Cu и Zn. Из макрокомпонентов значительное загрязнение проявляется по концентрациям SO_4 , Na, Mg и M. В грунтовых водах наибольшую долю в загрязнение вод также вносят Fe и Mn, отмечается превышение ПДК по Al, Zn, Be, Li, Se, Cu, а также по SO_4 , Na, Mg и M.

Сравнение списка компонентов загрязненности шахтных и грунтовых вод убедительно свидетельствует, что шахтные воды играют ведущую роль в управлении качеством грунтовых вод. Очень высокий уровень загрязненности шахтных и грунтовых вод свидетельствует о настоятельной необходимости выполнения мониторинговых наблюдений, проведения мер по реабилитации состояния окружающей среды в регионе и совершенствования очистных технологий, в первую очередь, по уменьшению концентраций Fe, Mn и величины минерализации.

Литература

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. Гавришин А.И., Борисова В.Е., Торопова Е.С. Распределение химического состава шахтных вод на территории Восточного Донбасса. // Геология и геофизика Юга России. – 2018. – №2. – С. 5-15.
3. 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.

4. 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.
5. Закруткин В.Е., Складенко Г.Ю., Родина А.О. О загрязнении подземных вод Восточного Донбасса. // Современные тенденции развития науки и технологий. – 2015. – №8-1. – С. 47-50.
6. Колесникова Л.А. Анализ состояния окружающей среды в регионах с угледобывающими предприятиями. // Уголь. – 2017. – №4. – С. 68-69.
7. ПДК водных объектов рыбохозяйственного значения. // Гигиенические нормативы. – М.: Приказ Росрыболовства от 18.01.2010 №20, 5 с.
8. Appelo C.A. J., Postma D. Geochemistry, Groundwater and Pollution. // Taylor and Francis. – 2005. – 683 p.
9. Bazhin V. Yu., Beloglazov I. I., Feshchenko R. Yu. Deep conversion and metal content of Russian coals. // Eurasian Mining. – 2016. – No. 2. – pp. 28-36.
10. Chen H. L. Brief analysis of the technical points about the tailings pond environmental impact assessment. // Advanced Materials Research. – 2014. – Vol. 955-959. pp. 1685-1689.
11. Gavrishin A. I. Multidimensional Classification Method in the Study of Naturel and Anthropogenic Systems. // Journal of Advances in Applied & Computational Mathematics. – 2018a. – No. 5. – pp. 16-21.
12. Gavrishin A. I. Mine Waters of the Eastern Donbass and Their Effect on the Chemistry of Groundwater and Surface Water in the Region. // Water Resources. – 2018b. – Vol. 45. No. 5. – pp. 785-794.
13. Gavrishin A. I. Quality of surface water in Eastern Donbass, Russia. // International Conference “Process Management and Scientific Developments”. Birmingham. United Kingdom. June 9, 2020a. – pp. 111-116. DOI: 10.34660/INF. 2020.34.82.001.
14. Gavrishin A. I. Features of the chemical composition of groundwater in the Eastern Donbass. // International University Science Forum “Science. Education. Practice:” (Canada, Toronto), July 8, 2020b. Part 1. – pp. 162-168. DOI: 10.3660/INF. 2020.48.59.001.
15. 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). – pp. 4524-4536.
16. Neidell M., Gross T., Graff Zivin J., Chang T, Y. The Effect of Pollution on Worker Productivity: Evidence from Call Center Workers in China. // American Economic Journal: Applied Economics. – 2019. – Vol. 11 (1). – pp. 151-172.
17. 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). – pp. 1343-1358.
18. Reshetnyak O. S., Nikanorov A. M., Zakrutkin V. Ye., Gibkov Ye. V. The chemical composition of surface waters of technogenicall affected geo-systems in Eastern Donbas region. // European Researcher. – 2014. – No. 11-1 (86). – pp. 1978-1992
19. Tossi F., et al. Correlations between VIMS and RADAR data over the surfer of Titan: Implications for Titans surface properties. // Icarus. – 2010. – Vol. 208. No. 1. – pp. 366-384.
20. Zakrutkin V. E., Sklyarenko G. Y. The influence of coal mining on groundwater pollution (Eastern Donbass). // International multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 15th. – 2015. – pp. 927-932.

References

1. Gavrishin A. I. Assessment of the quality of the surface water chemical composition in the East Donbass. Geoecology. 2019. No. 4. pp. 61-67. (In Russ.) DOI: 10.31857/S0869-78092019461-67. (In Russ.)

2. Gavrishin A. I., Borisova V. E., Toropova E. S. The distribution of the chemical composition of minewater in the territory of East Donbass. *Geology and geophysics of the South of Russia*. 2018. No. 2. pp. 5-15. (In Russ.)
3. ES 2.1.5.1315-03. Maximum permissible concentration (MPC) of chemicals in the water of water bodies of drinking, cultural and domestic water use. Hygienic standards GN 2.1.5.1315-03. Ministry of Health. RF Fast. No. 78. Moscow. 2003. 152 p. (In Russ.)
4. Gryazev M. V., Kachurin N. M., Stas G. V. Dust and gas emissions from the surface of waste dumps of the liquidated mines of the coal basin. *Sustainable development of mountainous areas*. 2018. Vol. 10. No. 4 (38). pp. 500-509. (In Russ.)
5. Zakrutkin V. E., Sklyarenko G. Yu., Rodina A. O. On the pollution of groundwater in the East Donbass. *Modern trends in the development of science and technology*. 2015. No. 8-1. pp. 47-50. (In Russ.)
6. Kolesnikova L. A. Analysis of the state of the environment in regions with coal mining enterprises. *Ugol'*. 2017. No. 4. pp. 68-69. (In Russ.)
7. MPC of water bodies of fishery significance. Hygienic standards. Moscow. Order of the Federal Agency for Fishery of January 18, 2010 No. 20, 5 p. (In Russ.)
8. Appelo C. A. J., Postma D. *Geochemistry, Groundwater and Pollution*. Taylor and Francis. 2005. 683 p.
9. Bazhin V. Yu., Beloglazov I. I., Feshchenko R. Yu. Deep conversion and metal content of Russian coals. *Eurasian Mining*. 2016. No. 2. pp. 28-36.
10. Chen H. L. Brief analysis of the technical points about the tailings pond environmental impact assessment. *Advanced Materials Research*. 2014. Vol. 955-959. pp. 1685-1689.
11. Gavrishin A. I. Multidimensional Classification Method in the Study of Nature and Anthropogenic Systems. *Journal of Advances in Applied & Computational Mathematics*. 2018a. No. 5. pp. 16-21.
12. Gavrishin A. I. Mine Waters of the Eastern Donbass and Their Effect on the Chemistry of Groundwater and Surface Water in the Region. *Water Resources*. 2018b. Vol. 45. No. 5. pp. 785-794.
13. Gavrishin A. I. Quality of surface water in Eastern Donbass, Russia. International Conference "Process Management and Scientific Developments". Birmingham. United Kingdom. June 9, 2020a. pp. 111-116. DOI: 10.34660/INF. 2020.34.82.001.
14. Gavrishin A. I. Features of the chemical composition of groundwater in the Eastern Donbass. International University Science Forum "Science. Education. Practice." (Canada, Toronto), July 8, 2020b. Part 1. pp. 162-168. DOI: 10.3660/INF. 2020.48.59.001.
15. 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). pp. 4524-4536.
16. Neidell M., Gross T., Graff Z. J., Chang T. Y. The Effect of Pollution on Worker Productivity: Evidence from Call Center Workers in China. *American Economic Journal: Applied Economics*. 2019. Vol. 11 (1). pp. 151-172.
17. 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). pp. 1343-1358.
18. Reshetnyak O. S., Nikanorov A. M., Zakrutkin V. Ye., Gibkov Ye. V. The chemical composition of surface waters of technogenicall affected geo-systems in Eastern Donbas region. *European Researcher*. 2014. No. 11-1 (86). pp. 1978-1992.
19. Tossi F., et al. Correlations between VIMS and RADAR data over the surfer of Titan: Implications for Titans surface properties. *Icarus*. 2010. Vol. 208. No. 1. pp. 366-384.
20. Zakrutkin V. E., Sklyarenko G. Y. The influence of coal mining on groundwater pollution (Eastern Donbass). International multidisciplinary Scientific GeoConferenceSurveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 15th. 2015. pp. 927-932.