

УДК 504.55.054:622 +504.43 (470.61)

ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И СТЕПЕНЬ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД УГЛЕПРОМЫШЛЕННЫХ РАЙОНОВ ВОСТОЧНОГО ДОНБАССА*

© 2014 г. В.Е. Закруткин, Г.Ю. Складенко, Е.В. Гибков

Закруткин Владимир Евгеньевич – доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой геоэкологии и прикладной геохимии, геолого-географический факультет, Южный федеральный университет, ул. Зорге, 40, г. Ростов н/Д, 344090, e-mail: vezak@list.ru.

Zakrutkin Vladimir Yevgenyevich – Doctor of Geological and Mineralogical Science, Professor, Head of Department of Geoecology and Applied Geochemistry, Geology and Geography Faculty, Southern Federal University, Zorge St., 40, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: vezak@list.ru.

Складенко Григорий Юрьевич – кандидат геолого-минералогических наук, доцент, кафедра геоэкологии и прикладной геохимии, геолого-географический факультет, Южный федеральный университет, ул. Зорге, 40, г. Ростов н/Д, 344090, e-mail: geoeco@sfedu.ru.

Sklyarenko Grigory Yurievich – Candidate of Geological and Mineralogical Science, Associate Professor, Department of Geoecology and Applied Geochemistry, Geology and Geography Faculty, Southern Federal University, Zorge St., 40, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: geoeco@sfedu.ru.

Гибков Евгений Викторович – преподаватель, кафедра геоэкологии и прикладной геохимии, геолого-географический факультет, Южный федеральный университет, ул. Зорге, 40, г. Ростов н/Д, 344090, e-mail: irvict@mail.ru.

Gibkov Evgeny Viktorovich – Lecturer, Department of Geoecology and Applied Geochemistry, Geology and Geography Faculty, Southern Federal University, Zorge St., 40, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: irvict@mail.ru.

Интенсивная угледобыча на территории Восточного Донбасса привела к резкому ухудшению экологической обстановки, в частности загрязнению природных вод техногенными шахтными водами. В ходе исследования выявлены особенности химического состава техногенных шахтных вод и закономерности их влияния на природные поверхностные и подземные воды. Произведено районирование территории Восточного Донбасса по степени загрязненности подземных вод. Установлено, что наиболее загрязненными являются подземные воды Шахтинского и Новошахтинского углепромышленных районов, что связано с концентрацией объектов угольной промышленности.

Ключевые слова: *углепромышленные районы, подземные воды, степень загрязненности, районирование территории.*

Intensive coal mining in the Eastern Donbass led to a sharp deterioration of the ecological environment, in particular pollution of natural waters manmade mine waters. The features of the chemical composition and patterns of influence of technogenic mine water on natural groundwater are identified. The zoning of groundwater contamination degree was produced in Eastern Donbass. Found that most are contaminated groundwater located in Shachty and Novoshakhtinsk coal-mining areas, due to the concentration of coal mining industry.

Keywords: *coal-mine areas, underground water, degree of contamination, zoning.*

На протяжении многих лет Восточный Донбасс является одним из наиболее проблемных в экологическом отношении регионов России. Природный комплекс здесь систематически подвергался интенсивному техногенному воздействию. Причем основной вклад в осложнение экологической ситуации вносили предприятия угледобывающей промышленности. Начавшийся в 90-е гг. процесс закрытия нерентабельных шахт заметно усилил негативные явления.

Основные геоэкологические проблемы Восточного Донбасса в настоящее время хорошо известны [1–4]. Это прежде всего:

- подъем уровня подземных вод, подтопление и заболачивание территории;
- ухудшение качества воды поверхностных и подземных водных объектов;
- выделение из выработок токсичных и взрывоопасных газов;

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-17-00376).

– активизация микросейсмических явлений;
– вывод из хозяйственного использования значительных площадей вследствие размещения на них отходов горнорудного производства и их негативное воздействие на окружающую среду.

Необходимо отметить, что среди перечисленных экологических проблем именно ухудшение гидроэкологической обстановки заслуживает особого внимания. Дело в том, что добыча угля, сопровождающаяся извлечением из недр на поверхность земли значительных масс горных пород и откачкой подземных вод, приводит к кардинальным изменениям геологической среды [2]. Изменяются гидрогеологические условия региона: баланс и режим подземных вод, их химический состав; формируются высокоминерализованные кислые шахтные воды, происходит загрязнение ими как поверхностных, так и особенно подземных вод [4] вплоть до уровня, когда они становятся непригодными для хозяйственно-питьевого, а иногда и технического водоснабжения. Особое беспокойство вызывает процесс загрязнения шахтными водами водоносных горизонтов пресных подземных вод, используемых местным населением в хозяйственно-бытовых целях.

Сложившаяся ситуация требует определения качества подземных вод, районирования территории Восточного Донбасса по степени их загрязнения с целью разработки и реализации действенных мер, направленных на улучшение гидроэкологической обстановки.

Целью данного исследования является оценка качества (состояния загрязненности) подземных вод основных углепромышленных районов Восточного Донбасса на территории Ростовской области – Шахтинского, Новошахтинского, Гуковского и Шолоховского. В работе использован массив данных гидрогеохимического опробования, осуществленного в 2007–2011 гг. Центром мониторинга социально-экологических последствий ликвидации шахт Восточного Донбасса (ЦСЭМ ВД, г. Шахты) на 52 наблюдательных скважинах, расположенных согласно геологическим и гидрогеологическим структурам в направлении движения подземного потока к местным дренажным системам (большие и малые реки). Оценка загрязненности речной воды выполнена по наиболее

характерным для данного вида техногенного воздействия показателям загрязнения – макрокомпонентам (SO_4 , HCO_3 , Cl , Ca , Mg , Na+K) и микрокомпонентам (соединения металлов $\text{Fe}_{\text{общ}}$, Al , Sr , Cd , Co , Mn , Cu , Ni , Be , Li , Pb , Zn).

Все анализы выполнены в аттестованной химико-аналитической лаборатории ЦСЭМ ВД. При этом макрокомпонентный состав вод определялся по общепринятым методикам, вошедшим в Федеральный перечень методик измерений, допущенных к применению при выполнении работ в области мониторинга загрязнения окружающей природной среды, а при анализе микрокомпонентов использовался метод атомно-абсорбционной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой.

Подземные воды Восточного Донбасса связаны с коллекторами каменноугольного, мелового, палеогенового, неогенового и четвертичного возраста. Наибольшее значение как с гидрогеологической точки зрения (распространенность, мощность и водообильность), так и хозяйственно-бытового потребления подземных вод имеют каменноугольный и в меньшей степени (в основном на юге региона) четвертичный водоносные горизонты.

Как видно из данных табл. 1, подземные воды Восточного Донбасса характеризуются сложным химическим составом. В его анионной части в большинстве случаев преобладают сульфат-ионы (SO_4^{2-}). Это типично как для региона в целом, так и для отдельных угольных районов. Однако по содержанию сульфат-ионов последние существенно различаются: максимальные их количества (512,6 – 4320,0; в среднем 1581,6 мг/л) установлены в Новошахтинском районе, а минимальные – в Шолоховском (68,6 – 3620,2; в среднем 745,4 мг/л). Второе место по распространенности принадлежит гидрокарбонат-ионам (HCO_3^-), наибольшие содержания которых установлены в Гуковском угольном районе (207,5 – 805,5 мг/л; в среднем 478,1 мг/л), а наименьшие – в Шахтинском (24,4 – 610,2; в среднем 310,7 мг/л). И здесь вторую позицию в списке анионов занимает Cl^- , концентрации которого варьируют от 38,8 до 1679 мг/л, а в среднем составляют 443,4 мг/л.

Таблица 1

Содержание макрокомпонентов в подземных водах Восточного Донбасса по отдельным угольным районам, мг/л

Район	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	М
Новошахтинский	575,29	285,74	170,36	381,69	1581,63	451,51	3471,15
	92,5 – 1432,5	68,1 – 545,1	29,0 – 330,5	41,3 – 1252,5	512,6 – 4320,0	158,7 – 720,0	1496,0 – 7260,0
Шахтинский	445,79	207,25	91,34	443,39	870,16	310,68	2344,25
	30,0 – 1252,5	16,0 – 472,90	2,40 – 291,60	38,8 – 1679,3	117,9 – 2803,7	24,40 – 610,20	558,00 – 5434,0
Гуковский	342,54	276,76	141,99	232,28	1189,42	478,11	2666,76
	5,00 – 1092,5	104,2 – 601,2	48,6 – 529,7	24,0 – 2335,90	227,0 – 2246,4	207,5 – 805,5	924,0 – 7504,0
Шолоховский	299,74	206,60	85,61	278,57	745,43	360,11	1947,77
	15,0 – 1325,0	48,1 – 657,3	9,7 – 354,8	21,3 – 691,9	68,6 – 3620,2	207,5 – 598,0	380,0 – 6620,0

Примечание. Указаны средние значения и пределы колебаний.

Среди катионов повсеместно лидирующие позиции занимают щелочные элементы (главным образом Na^+). Содержания их по районам убывают в ряду: Новошахтинский (92,5 – 1432,5; в среднем 575,3 мг/л) – Шахтинский (30,0 – 1252,5; в среднем 445,8 мг/л) – Гуковский (5,0 – 1092,5; в среднем 342,5 мг/л) – Шолоховский (15,0 – 1325,0; в среднем 299,7 мг/л) районы. Среди катионов щелочно-земельных элементов во всех без исключения точках наблюдений превалирует Ca^{2+} , средние содержания которого превышают соответствующие количества Mg^{2+} в 1,7 – 2,4 раза. Средние по районам содержания кальция изменяются пропорционально содержаниям сульфат- и гидрокарбонат-ионов. Это, скорее всего, говорит о том, что миграция элемента в подземных водах осуществляется не столько в виде ак-

ваионов (Ca^{2+}), сколько в виде его сульфатных (нейтральных и анионных) и гидрокарбонатных комплексов. Воды Новошахтинского, Гуковского и Шолоховского районов относятся к гидрокарбонатно-сульфатному натриевому типу, а Шахтинского – к хлоридно-сульфатному натриевому. При этом в группе анионов наиболее нестабильное распределение свойственно сульфат-иону и хлор-иону, в то время как гидрокарбонат-ионы распространяются в подземных водах по площади районов относительно равномерно.

Микрокомпонентный состав подземных вод (табл. 2) достаточно однообразен, независимо от территориальной принадлежности, о чем свидетельствуют показанные ниже ряды соотношений средних содержаний элементов по угольным районам, построенные в порядке их убывания.

Таблица 2

Содержание микроэлементов в подземных водах Восточного Донбасса по отдельным угольным районам, мг/л

Район	Fe _{общ}	Al	Be	Cd	Co	Li	Mn	Cu	Ni	Pb	Sr	Zn
1	3,94	0,46	0,0003	0,0014	0,0033	0,03	1,77	0,01	0,01	0,01	3,79	0,05
	0,1 – 51,0	0,01 – 6,27	0,0001– 0,001	0,0001– 0,01	0,001– 0,02	0,001– 0,20	0,001– 4,63	0,001– 0,23	0,001– 0,09	0,001– 0,06	0,36 – 10,27	0,01 – 0,94
2	4,72	0,27	0,0003	0,002	0,002	0,02	0,34	0,008	0,01	0,01	2,35	0,16
	0,1 – 41,0	0,001– 3,71	0,0001– 0,002	0,0001– 0,24	0,001– 0,03	0,001– 0,15	0,001– 1,77	0,001– 0,13	0,001– 0,08	0,001– 0,16	0,03– 9,18	0,001– 5,95
3	2,91	0,83	0,0004	0,0016	0,0024	0,01	0,99	0,01	0,01	0,01	3,11	0,11
	0,1 – 16,4	0,01– 11,49	0,0001– 0,002	0,0001– 0,005	0,001 – 0,01	0,001 – 0,08	0,03– 3,47	0,001– 0,11	0,001– 0,04	0,001– 0,07	1,02– 8,28	0,01– 1,22
4	3,02	0,39	0,0003	0,0015	0,0018	0,005	0,25	0,004	0,008	0,004	2,78	0,18
	0,1 – 181,3	0,01 – 5,06	0,0001– 0,001	0,0001 – 0,0086	0,001– 0,016	0,001– 0,027	0,013– 1,60	0,001– 0,041	0,001– 0,09	0,001– 0,02	0,50– 8,4	0,005– 2,4

Примечание. Районы: 1 – Новошахтинский; 2 – Шахтинский; 3 – Гуковский; 4 – Шолоховский. Указаны средние значения и пределы колебаний. Новошахтинский район: Fe-Sr-Mn-Al-Zn-Li-(Ni,Cu,Pb)-Co-Cd-Be; Шахтинский район: Fe-Sr-Mn-Al-Zn-Li-(Ni,Pb)-Cu-(Co,Cd)-Be; Гуковский район: Fe-Sr-Mn-Al-Zn-(Li,Cu,Ni,Pb)-Co-Cd-Be; Шолоховский район: Fe-Sr-Al-Mn-Zn-Ni-Li-(Cu,Pb)-Co-Cd-Be.

Первые пять позиций в районах занимают Fe, Sr, Mn, Al и Zn, а замыкают ряды Co, Cd и Be. Примечательной особенностью территориального распределения микрокомпонентов в подземных водах является обогаченность их железом в Шахтинском и Новошахтинском районах (в среднем соответственно 4,72 и 3,94 мг/л), марганцем – в Новошахтинском районе (1,77), алюминием – в Гуковском районе (0,83), цинком – в Шолоховском и Шахтинском районах (соответственно 0,18 и 0,16 мг/л).

Степень загрязнения подземных вод определялась путем сравнения содержаний ингредиентов с их ПДК, утвержденных для оценки качества воды, используемой в целях хозяйственно-питьевого водо-

снабжения [5]. Величина отношения концентрации ингредиента к его ПДК названа нами коэффициентом загрязнения (Кз).

Основными макрокомпонентами, загрязняющими подземные воды Восточного Донбасса, являются Mg, Na и SO_4^{2-} . Для них характерно, как правило, более чем двукратное превышение ПДК (табл. 3), а в отдельных случаях – в 5–7 раз. Оставшиеся из числа нормируемых макрокомпонентов Ca^{2+} и Cl^- содержатся в подземных водах преимущественно в количествах 1–1,5 ПДК либо ниже предельно допустимой концентрации, что типично, в частности, для хлора в подземных водах Гуковского и Шолоховского районов.

Таблица 3

**Превышение ПДК по макро- и микрокомпонентам в подземных водах
в отдельных угольных районах Восточного Донбасса (Кз)**

Район	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	M	Fe общ.	Al	Be	Cd	Mn	Cu	Pb	Zn	Zc
1	2,27	1,59	3,16	1,53	2,48	3,43	12,26	2,18	1,46	1,28	5,26	5,95	0,53	0,5	37,54
	0,88– 6,11	0,75– 2,79	1,97– 6,12	0,44– 2,86	1,55– 7,59	2,09– 6,60	0,35 – 57,05	0,11– 9,15	0,9– 2,20	0,72– 1,93	0,04– 31,93	1,0– 12,0	0,1– 1,14	0,06– 3,08	3,65– 87,41
2	2,25	1,13	1,77	1,29	1,70	2,32	13,8	1,09	1,44	2,08	3,07	5,27	0,48	1,59	22,42
	0,59– 5,8	0,27– 2,09	0,49– 3,95	0,16– 2,21	0,43– 4,62	0,8– 4,84	0,28– 58,08	0,05– 7,01	0,50– 3,88	0,1– 5,24	0,07– 9,44	1,0– 29,0	0,1– 3,28	0,05– 20,45	6,61– 73,64
3	1,64	1,54	2,97	0,63	2,32	2,66	7,10	1,86	1,39	1,31	6,18	7,38	0,54	1,60	22,10
	0,39– 2,99	0,85– 2,39	1,21– 5,78	0,21– 2,9	0,62– 4,21	0,96– 4,02	0,35– 23,68	0,05– 16,68	0,5– 3,0	0,34 – 2,65	0,03– 25,02	1,0– 33,75	0,1– 1,82	0,05– 23,06	4,34 – 65,38
4	1,52	1,19	1,75	0,83	1,47	1,99	16,1	1,71	1,31	1,55	2,78	5,62	0,42	1,8	26,28
	0,25– 5,77	0,36– 2,52	0,46– 4,95	0,09– 1,69	0,19– 5,91	0,52– 5,69	0,4– 85,77	0,05 – 6,22	0,5– 2,33	0,26– 5,73	0,14– 8,25	1,0– 63,2	0,1– 1,05	0,05– 13,94	8,78 – 140,38

Примечание. Указаны средние значения и пределы колебаний. Углепромышленные районы: 1 – Новошахтинский; 2 – Шахтинский; 3 – Гуковский; 4 – Шолоховский.

Противоположными тенденциями характеризуется загрязненность подземных вод микрокомпонентами (табл. 3). Прежде всего обращает на себя внимание большой разброс значений Кз, свойственный большинству из них, но в первую очередь – Fe, Mn, Al, Cu, Zn, Be. Так, к примеру, у железа превышение максимальной величины Кз над минимальной в подземных водах Новошахтинского района составляет 163 раза, марганца – 798, алюминия – в Гуковском районе достигает 333 раз, меди – в Шолоховском – 63, цинка – в Шахтинском – 409 раз.

По степени загрязнения подземных вод Восточного Донбасса микрокомпоненты независимо от территориальной принадлежности образуют схожие ряды. Приоритетными загрязнителями являются Fe, Cu, Mn, содержания которых, как правило, превышают ПДК в 5 – 20 раз. Количества же Al, Cd и Be, обычно замыкающих ряды, находятся на уровне 1–2 ПДК, редко выше или ниже этих пределов. Остальные микрокомпоненты содержатся в подземных водах, как правило, в допустимых количествах.

Интегральная оценка качества подземных вод осуществлялась в соответствии с методикой, предложенной А.П. Белоусовой [1] путем расчета суммарного коэффициента загрязнения (СКЗ): $СКЗ = \sum C_i/ПДК_i$. На основании значений СКЗ приняты следующие категории загрязненности воды: 1) СКЗ < 1 – условно чистая; 2) СКЗ 1–5 – слабозагрязненная; 3) СКЗ 5–10 – весьма загрязненная; 4) СКЗ 10–20 – очень загрязненная; 5) СКЗ 20–50 – грязная и очень грязная; 6) СКЗ > 50 – чрезвычайно грязная вода. Как видно на рисунке, подземные воды каменноугольного горизонта, повсеместно распространенные в регионе, относятся в основном к 5-й категории, т.е. грязные и очень грязные.

Вместе с тем в Шахтинском и Новошахтинском углепромышленных районах, где объекты угледобычи (действующие и ликвидированные «мокрым спосо-

бом» шахты, породные отвалы и др.) имеют наибольшее распространение, на значительных площадях присутствуют чрезвычайно грязные подземные воды.

Следует отметить, что основной причиной загрязнения подземных вод Восточного Донбасса является поступление в водоносные горизонты техногенных шахтных вод из ликвидированных шахт. Эти воды отличаются очень высокой минерализацией (до 25 г/л), большим содержанием железа и ряда микрокомпонентов (Mn, Sr, Al и др.).

Как показали наши исследования, подземные воды Шахтинского района, подверженные непосредственному влиянию шахтных вод ликвидированных шахт, обогащаются по сравнению с их фоновыми гомологами Fe в 53 раза, Al, Mn, Cl, Li – в 5–7 раз и в 2–3 раза – Cd, Pb, Cu, Zn. При этом общая их загрязненность (по суммарному показателю) увеличивается в 31 раз. В Гуковском районе наибольший вклад в изменение состава подземных вод вносит Fe (примерно в 50 раз), значительно меньший (в 3–6 раз) – Cu, Mn, Pb, Al, Li, Cl и минимальный – Cd, Na, Ni, Be, Co, Zn. По степени загрязнения измененные и фоновые подземные воды разнятся между собой в 17 раз. В Новошахтинском районе подземные воды радикально изменяются под влиянием шахтных вод, что выражается в резком повышении концентраций Fe и Al, но особенно Mn (загрязненные подземные воды обогащены им по сравнению с фоновыми аналогами более чем в 100 раз). Из остальных элементов заслуживают внимание Li, Cl, Co, Zn, количества которых выше фона в 3–6 раз. Общая загрязненность подземных вод увеличивается в 30 раз. Наконец, в Шолоховском районе шахтные воды загрязняют контактирующие с ними подземные преимущественно Fe, Mn и Zn (более чем в 20 раз выше фона), в меньшей степени Al (8 раз выше фона), Ni, Cl и Cd (2–4 раза выше фона). При этом по суммарному показателю загрязнения они превосходят фоновые примерно в 14 раз.

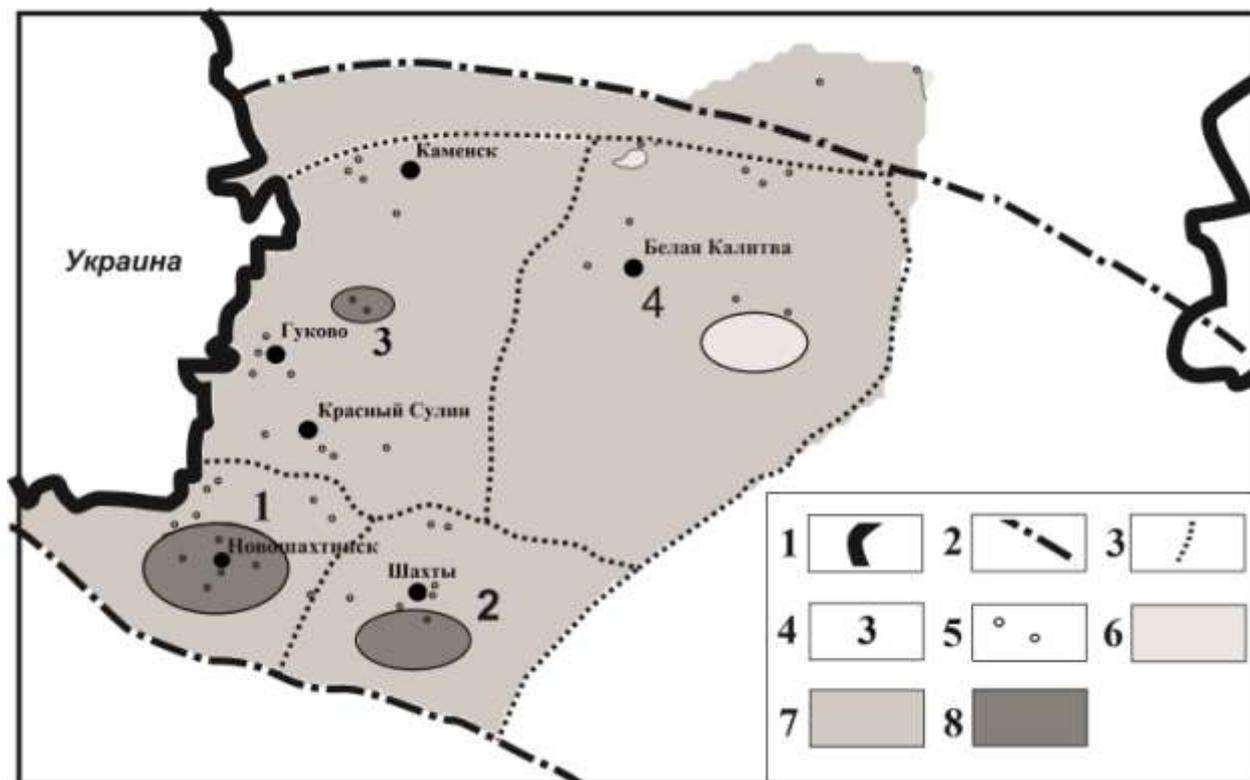


Схема загрязненности подземных вод в Восточном Донбассе: 1 – границы Ростовской области; 2 – условные геологические границы Восточного Донбасса; 3 – условные границы углепромышленных районов; 4 – углепромышленные районы (1 – Новошахтинский; 2 – Шахтинский; 3 – Гуковский; 4 – Шолоховский); 5 – ликвидированные угольные шахты; 6–8-й уровень суммарного загрязнения подземных вод – К: 6 – К = 10–20; 7 – К = 20–50; 8 – К ≥ 50

Таким образом, подземные воды Восточного Донбасса, испытывающие воздействие техногенных шахтных вод, отличаются высоким уровнем загрязненности, что делает их непригодными для хозяйственно-питьевого водоснабжения местного населения. Важно отметить, что не только подземные, но и поверхностные воды углепромышленных районов отличаются крайне низким качеством [3, 6, 7]. Данное обстоятельство диктует необходимость принятия незамедлительных мер, направленных на снижение техногенной нагрузки на подземную и поверхностную гидросферу в этом регионе.

Литература

1. Белоусова А.П., Гавич И.К., Лисенков А.Б., Попов Е.В. Экологическая гидрогеология. М., 2006. 397 с.
2. Гавришин А.И., Корadini А., Мохов А.В., Бондарева Л.И. Формирование химического состава шахтных вод в Восточном Донбассе. Новочеркасск, 2000. 188 с.

3. Закруткин В.Е., Иваник В.М., Гибков Е.В. Эколого-географический анализ рисков реструктуризации угольной промышленности в Восточном Донбассе // Изв. РАН. Сер. географическая. 2010. № 5. С. 112 – 120.

4. Мохов А.В. Состояние и проблемы геоэкологии и геореабилитации горнодобывающих регионов // Проблемы геологии и освоения недр юга России : материалы междунар. конф. Ростов н/Д., 2006. С. 374 – 376.

5. Питьевая вода: гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Санитарные правила и нормы (СанПиН 2.1.4.559-02). М., 2002. 111 с.

6. Закруткин В.Е., Складенко Г.Ю., Гибков Е.В. Особенности химического состава шахтных вод ликвидированных шахт Восточного Донбасса // Синтез знаний в естественных науках. Рудник будущего: проекты, технологии, оборудование : материалы междунар. конф. Пермь, 2011. С. 124 – 127.

7. Закруткин В.Е., Архипова О.Е., Гибков Е.В., Складенко Г.Ю. Использование ГИС-технологий при анализе гидроэкологической ситуации в угледобывающих регионах (на примере Восточного Донбасса) // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки. 2014. № 2. С. 85 – 89.