

УДК 504.55.054:622 +504.43 (470.61)

DOI 10.18522/0321-3005-2016-2-91-99

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД ВОСТОЧНОГО ДОНБАССА ПО ГИДРОХИМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ*

© 2016 г. В.Е. Закруткин, Е.В. Гибков, Г.Ю. Склярченко, О.С. Решетняк

Закруткин Владимир Евгеньевич – доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой геоэкологии и прикладной геохимии, Институт наук о Земле Южного федерального университета, ул. Зорге, 40, г. Ростов н/Д, 344090, e-mail: vezak@list.ru

Zakrutkin Vladimir Evgen'yevich – Doctor of Geologic and Mineralogical Science, Professor, Head of Department of Geocology and Applied Geochemistry, Institute of Earth Sciences of the Southern Federal University, Zorge St., 40, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: vezak@list.ru

Гибков Евгений Викторович – старший преподаватель, кафедра геоэкологии и прикладной геохимии, геолого-географический факультет, Институт наук о Земле Южного федерального университета, ул. Зорге, 40, г. Ростов н/Д, 344090, e-mail: irvict@mail.ru

Gibkov Evgenii Viktorovich – Senior Lecturer, Department of Geocology and Applied Geochemistry, Institute of Earth Sciences of the Southern Federal University, Zorge St., 40, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: irvict@mail.ru

Склярченко Григорий Юрьевич – кандидат геолого-минералогических наук, доцент, кафедра геоэкологии и прикладной геохимии, геолого-географический факультет, Институт наук о Земле Южного федерального университета, ул. Зорге, 40, г. Ростов н/Д, 344090, e-mail: geoeco@sfedu.ru

Sklyarenko Grigoriï Yurievich – Candidate of Geologic and Mineralogical Science, Associate Professor, Department of Geocology and Applied Geochemistry, Institute of Earth Sciences of the Southern Federal University, Zorge St., 40, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: geoeco@sfedu.ru

Решетняк Ольга Сергеевна – кандидат географических наук, доцент, кафедра геоэкологии и прикладной геохимии, Институт наук о Земле Южного федерального университета, ул. Зорге, 40, г. Ростов н/Д, 344090, e-mail: olgare1@rambler.ru

Reshetnyak Olga Sergeevna – Candidate of Geologic and Mineralogical Science, Associate Professor, Department of Geocology and Applied Geochemistry, Institute of Earth Sciences of the Southern Federal University, Zorge St., 40, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: olgare1@rambler.ru

Представлены результаты сравнительной оценки химического состава и качества (уровня загрязнения) поверхностных и подземных вод Восточного Донбасса по гидрохимическим показателям. В химическом составе воды выявлен одинаковый набор типоморфных компонентов-загрязнителей (Na+K, Ca, Mg, SO₄, Fe, Al, Be, Li, Mn, Cu). Исследуемые речные и подземные воды имеют практически уровень загрязненности по суммарному коэффициенту загрязнения. Установлены тесная взаимосвязь поверхностной и подземной гидросферы в пределах Восточного Донбасса и существенная роль техногенных шахтных вод в формировании их качества.

Ключевые слова: *поверхностные воды, подземные воды, Восточный Донбасс, химический состав воды, уровень загрязнения, техногенные шахтные воды.*

The results of comparative evaluation of chemical composition and surface and groundwater quality (pollution level) of the Eastern Donbas by hydrochemical parameters are presents in the article. The same set of typomorphic polluting components (Na+K, Ca, Mg, SO₄, Fe, Al, Be, Li, Mn, Cu) was identified. The investigated surface and groundwater have the same level of contamination by total factor of pollution. The close relationship between the surface and ground hydrosphere within the Eastern Donbas and the essential role of technogenic mine water in the formation of their quality was shown.

Keywords: *surface water, groundwater, Eastern Donbas, chemical composition of water, pollution level, technogenic mine water.*

Природные воды, являясь носителями вещества и энергии, выступают в качестве наиболее динамичного агента, связывающего в единое целое природные объекты основных географических оболочек Земли – атмосферы, литосферы, биосферы. При этом поверхность суши представляет собой зону с максимальными концентрациями вещества и солнечной энергии, наибольшей интенсивностью биогенных процессов, сферой активной хозяйственной деятельности человека. Все

это порождает огромное разнообразие условий, факторов, процессов, формирующих химический состав и тип природных вод, как поверхностных, так и подземных [1, 2].

В.И. Вернадский в 1933 г. высказал идею единства природных вод: «Все природные воды, где бы они ни находились, всегда связаны между собой и представляют единое целое. Всё, что происходит с любой водой в одном каком-нибудь месте, отражается в действительности на всей её земной массе» [1].

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

Роль природных вод в геологической истории велика и неоспорима. Состав природной воды определяет предшествующая ему история, т.е. путь, совершенный водой в процессе своего круговорота. Количество и состав растворенных минеральных и органических веществ в природной воде зависит от состава тех пород и почв, с которыми она соприкасалась, и от условий, в которых происходили эти взаимодействия. Просачиваясь через растительность и почву, вода обогащается солями и органическими веществами, меняет свой газовый состав, далее, фильтруясь через подстилающие почвы и горные породы, продолжает трансформировать свой химический состав.

Особенно заметно трансформация химического состава и качества поверхностных и подземных вод происходит в пределах природных геохимических аномальных зон, к которым, в частности, относятся угольные месторождения, в том числе Восточный Донбасс.

На протяжении многих лет Восточный Донбасс является одним из наиболее проблемных в экологическом отношении регионов Российской Федерации. Природный комплекс здесь подвергается интенсивному техногенному воздействию. Основной вклад в осложнение экологической ситуации вносят предприятия угольной промышленности. Начавшаяся в 90-е гг. реструктуризация угледобывающей отрасли, основу которой составляет ликвидация нерентабельных шахт, заметно усилила негативные явления. Длительная разработка угольных месторождений и последующая массовая ликвидация угольных шахт привели к значительной трансформации геохимических процессов в Восточном Донбассе Ростовской области [3, 4].

При этом особенно высокую техногенную нагрузку испытывают поверхностные и подземные воды региона. Наиболее уязвимыми оказались малые реки (Большой и Малый Несветай, Аюта, Грушевка, Кадамовка, Кундрючья, Лихая и др.). Многие из них утратили свои естественные природные функции, произошла массовая гибель фито- и зоопланктона, стало невозможным использование поверхностных вод не только для питьевых нужд населения, но и для хозяйственных целей. Аналогичная ситуация характерна и для подземной гидросферы.

Всё это требует выявления основных источников загрязнения поверхностных и подземных вод, проведения комплексной оценки их состояния, разработки и реализации действенных мер, направленных на предотвращение (или минимизацию) негативного антропогенного воздействия на поверхностную и подземную гидросферы данного региона, оздоровление здесь в целом экологической обстановки.

Целью данного исследования является сравнительная оценка качества (уровня загрязнения) поверхностных и подземных вод Восточного Донбасса по гидрохимическим показателям.

Изучение взаимосвязи химического состава и степени загрязненности поверхностных и подземных вод проведено в рамках исследований, выполненных в 2014–2015 гг. по гранту РФ «Интегральная оценка и прогноз состояния водных ресурсов и их качества в пределах техногенно нарушенных геосистем углепромышленных территорий на основе комплексных геохимических, геофизических и экотоксикологических исследований». Эта проблема особенно актуальна для данного региона в связи с реструктуризацией угольной промышленности, активно происходящей в последние двадцать лет и приведшей к обострению экологической ситуации.

Объектами исследования являлись подземные и поверхностные воды, в частности реки бассейна Северского Донца (Большая Каменка, Большая Гнилуша, Быстрая, Калитва, Кундрючья, Лихая, Малая Каменка и Северский Донец) и Тузлова (Большой и Малый Несветай, Грушевка, Кадамовка, Аюта, Атюхта и Тузлов). Пробы речной воды отбирались равномерно по длине водотоков, охватывая верховья рек, средние их участки и устья (всего 38 створов).

Подземные воды изучались в пределах основных углепромышленных районов Восточного Донбасса, территориально совпадающих с упомянутыми выше речными бассейнами. Так, в частности, Шахтинский и Новошахтинский углепромышленные районы соответствуют бассейну реки Тузлов, а Гуковский и Шолоховский – реки Северский Донец. Всего исследовано 39 гидрогеологических скважин, вскрывших подземные воды каменноугольного горизонта, имеющего повсеместную распространенность.

Сравнительная оценка химического состава поверхностных и подземных вод проводилась по следующим гидрохимическим показателям: pH, концентрация растворенного в воде кислорода, минерализация, содержание главных ионов – хлориды (Cl^-), сульфаты (SO_4^{2-}), гидрокарбонаты (HCO_3^-), кальций (Ca^{2+}), магний (Mg^{2+}), натрий и калий ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$), а также микроэлементов – Fe, Al, Be, Li, Ni, Co, Mn, Cu, Sr, Zn.

Оценка уровня загрязненности поверхностных и подземных вод также проведена по единой методике. При этом за основу взята система интегральной оценки качества подземных вод, предложенная А.П. Белоусовой [5], которая предусматривает расчет суммарного коэффициента загрязнения (СКЗ) по формуле $\text{СКЗ} = \sum C_i/\text{ПДК}_i$, где C_i – концентра-

ция i -го компонента; ПДК _{i} – предельно допустимая концентрация i -го компонента, утвержденная для оценки качества воды, используемой для питьевого водоснабжения [6].

На основании значений СКЗ приняты следующие категории загрязненности поверхностных и подземных вод: 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.

В основу расчетов положены данные о химическом составе поверхностных и подземных вод, полученные в ходе экспедиционных исследований 2014–2015 гг.

В табл. 1 приведены содержания макрокомпо-

нентов в реках Восточного Донбасса. Как видно из табличных данных, минерализация речных вод варьирует в широких пределах – от 876 до 6094 мг/дм³, достигая наибольших значений в реках Атюхта (в среднем 6649 мг/дм³), Аюта (4387 мг/дм³), Малый Несветай (4184 мг/дм³), Большая Гнилуша (3101 мг/дм³), Кундрючья (2867 мг/дм³). В анионном составе вод доминируют сульфат-ионы, в катионном – натрий и калий. Важно отметить, что речные воды бассейна Тузлова заметно (в 1,4–2,0 раза) превосходят водотоки бассейна Северского Донца по содержанию практически всех макрокомпонентов. Это может свидетельствовать о неодинаковой техногенной нагрузке, которую испытывают речные экосистемы двух бассейнов.

Таблица 1

Характеристика поверхностных вод Восточного Донбасса по содержанию макрокомпонентов

Река	Na ⁺ +K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	M*
Бассейн Тузлова						
Аюта	$\frac{620}{283-1223}$ (3,1)**	$\frac{334}{258-430}$ (1,9)	$\frac{148}{70-192}$ (2,9)	$\frac{238}{132-333}$ (0,7)	$\frac{2371}{1190-3323}$ (4,7)	$\frac{4387}{2282-6094}$ (4,3)
Большой Несветай	$\frac{517}{190-1037}$ (2,6)	$\frac{256}{146-355}$ (1,4)	$\frac{106}{60-159}$ (2,1)	$\frac{220}{25-404}$ (0,6)	$\frac{1778}{691-3139}$ (3,5)	$\frac{3306}{1480-5708}$ (3,3)
Грушевка	$\frac{397}{197-582}$ (1,98)	$\frac{233}{190-293}$ (1,3)	$\frac{88}{46-121}$ (1,4)	$\frac{228}{133-277}$ (0,6)	$\frac{1382}{705-2072}$ (2,7)	$\frac{2807}{1458-3992}$ (2,8)
Кадамовка	$\frac{459}{120-918}$ (2,3)	$\frac{282}{222-342}$ (1,6)	$\frac{116}{31-169}$ (2,3)	$\frac{281}{152-478}$ (0,8)	$\frac{1696}{353-2527}$ (3,4)	$\frac{3309}{876-5004}$ (3,3)
Малый Несветай	$\frac{592}{382-789}$ (2,9)	$\frac{195}{176-218}$ (1,1)	$\frac{140}{105-231}$ (2,8)	$\frac{240}{132-346}$ (0,7)	$\frac{2314}{1651-3071}$ (4,6)	$\frac{4184}{3220-5036}$ (4,2)
Атюхта	$\frac{1159}{1030-1258}$ (5,8)	$\frac{373}{366-380}$ (2,1)	$\frac{159}{144-171}$ (3,1)	$\frac{596}{586-603}$ (1,7)	$\frac{3347}{3193-3488}$ (6,6)	$\frac{6649}{6380-6800}$ (6,6)
Среднее по бассейну	624 (3,1)	276 (1,5)	126 (2,5)	341 (0,9)	2148 (4,3)	4110 (4,11)
Бассейн Северского Донца						
Большая Каменка	$\frac{316}{276-343}$ (2,6)	$\frac{151}{145-158}$ (0,8)	$\frac{47}{43-49}$ (0,95)	$\frac{220}{169-257}$ (0,6)	$\frac{641}{573-755}$ (1,2)	$\frac{1687}{1476-1856}$ (1,7)
Большая Гнилуша	$\frac{556}{498-627}$ (2,8)	$\frac{206}{198-216}$ (1,2)	$\frac{87}{74-97}$ (1,8)	$\frac{204}{194-214}$ (0,6)	$\frac{1568}{1421-1694}$ (3,1)	$\frac{3101}{2982-3228}$ (3,1)
Быстрая	$\frac{194}{109-353}$ (0,95)	$\frac{199}{135-263}$ (1,1)	$\frac{43}{28-65}$ (0,9)	$\frac{293}{185-449}$ (0,83)	$\frac{514}{303-786}$ (1,1)	$\frac{1525}{926-2218}$ (1,5)
Калитва	$\frac{124}{91-170}$ (0,6)	$\frac{163}{147-187}$ (0,9)	$\frac{31}{25-34}$ (0,6)	$\frac{267}{185-502}$ (0,7)	$\frac{422}{336-455}$ (0,8)	$\frac{1189}{896-1434}$ (1,2)
Кундрючья	$\frac{490}{397-631}$ (2,5)	$\frac{169}{163-174}$ (0,9)	$\frac{80}{74-88}$ (1,6)	$\frac{210}{181-256}$ (0,4)	$\frac{1429}{1146-1662}$ (2,9)	$\frac{2867}{2536-3160}$ (2,9)
Лихая	$\frac{263}{142-412}$ (1,3)	$\frac{167}{109-226}$ (0,9)	$\frac{88}{52-113}$ (1,8)	$\frac{224}{66-466}$ (0,6)	$\frac{1114}{710-466}$ (2,2)	$\frac{2400}{1680-3212}$ (2,4)
Малая Каменка	$\frac{238}{168-313}$ (1,2)	$\frac{125}{107-144}$ (0,6)	$\frac{55}{32-72}$ (1,1)	$\frac{320}{242-391}$ (0,9)	$\frac{624}{250-856}$ (1,2)	$\frac{1753}{1174-2096}$ (1,7)
Среднее по бассейну	293 (1,5)	144 (0,8)	59 (1,2)	243 (0,7)	851 (1,7)	2060 (2,06)

* – M – минерализация воды, мг/дм³; ** – в числителе приведены средние значения концентраций, мг/дм³, в знаменателе – пределы изменения концентрации, мг/дм³, в скобках – кратность превышения ПДК.

В микроэлементном составе речных вод (табл. 2) явно доминируют Sr, Fe, Al, Mn, в меньшей степени Li. При этом максимальные содержания Sr составляют 8,33 мг/дм³ (р. Аюта), а обычные лежат в

пределах 2–4 мг/дм³. Концентрации Fe, Al, Mn и Li заметно ниже (по средним значениям для рек соответственно 0,09–1,49; 0,10–0,71; 0,11–1,01; 0,02–0,31 мг/дм³), а остальных элементов (Zn, Cu,

Ве) – минимальны (соответственно сотые, тысячные и десятитысячные доли мг/дм³). Как и следовало ожидать, реки бассейна Тузлова опережают реки

бассейна Северского Донца по содержанию большинства микроэлементов. Причем наиболее существенно они различаются по количеству Sr и Mn.

Таблица 2

Характеристика поверхностных вод Восточного Донбасса по содержанию микрокомпонентов

Река	Fe	Al	Be	Li	Mn	Cu	Sr	Zn
Бассейн Тузлова								
Аюта	$\frac{0,91}{0,06-3,34}$ (3,1)*	$\frac{0,65}{0,01-3,32}$ (3,2)	$\frac{0,0007}{0,0002-0,0013}$ (3,5)	$\frac{0,24}{0,04-0,74}$ (8,0)	$\frac{0,34}{0,03-0,93}$ (3,4)	$\frac{0,003}{0,001-0,008}$ (3,0)	$\frac{5,88}{3,25-8,33}$ (0,8)	$\frac{0,011}{0,005-0,02}$ (0,01)
Большой Несветай	$\frac{0,30}{0,09-0,52}$ (1,0)	$\frac{0,18}{0,03-0,49}$ (0,9)	$\frac{0,0006}{0,0002-0,0015}$ (2,0)	$\frac{0,09}{0,02-0,17}$ (3,0)	$\frac{0,19}{0,014-0,54}$ (1,9)	$\frac{0,003}{0,001-0,005}$ (3,0)	$\frac{3,85}{2,14-5,90}$ (0,6)	$\frac{0,051}{0,005-0,141}$ (0,05)
Грушевка	$\frac{0,88}{0,14-4,12}$ (2,9)	$\frac{0,52}{0,12-1,22}$ (2,6)	$\frac{0,0005}{0,0001-0,0009}$ (2,5)	$\frac{0,09}{0,04-0,16}$ (3,0)	$\frac{0,24}{0,1-0,49}$ (2,4)	$\frac{0,005}{0,001-0,024}$ (5,0)	$\frac{3,46}{1,82-4,37}$ (0,5)	$\frac{0,01}{0,01-0,03}$ (0,01)
Кадамовка	$\frac{0,67}{0,09-1,67}$ (2,2)	$\frac{0,62}{0,03-1,82}$ (3,1)	$\frac{0,0005}{0,0001-0,0012}$ (2,5)	$\frac{0,10}{0,01-0,32}$ (3,3)	$\frac{0,68}{0,05-3,67}$ (6,8)	$\frac{0,004}{0,002-0,008}$ (4,0)	$\frac{3,10}{0,89-5,22}$ (0,5)	$\frac{0,02}{0,01-0,05}$ (0,02)
Малый Несветай	$\frac{0,27}{0,11-0,64}$ (0,9)	$\frac{0,23}{0,04-0,67}$ (1,1)	$\frac{0,0005}{0,0002-0,0007}$ (2,5)	$\frac{0,22}{0,07-0,35}$ (7,6)	$\frac{0,43}{0,01-1,28}$ (4,3)	$\frac{0,005}{0,001-0,019}$ (5,0)	$\frac{4,74}{3,57-5,38}$ (0,7)	$\frac{0,05}{0,01-0,22}$ (0,05)
Атюхта	$\frac{0,09}{0,07-0,11}$ (0,3)	$\frac{0,15}{0,03-0,37}$ (0,8)	$\frac{0,0006}{0,0004-0,0007}$ (3,0)	$\frac{0,31}{0,29-0,32}$ (10,3)	$\frac{0,23}{0,08-0,43}$ (2,3)	$\frac{0,004}{0,003-0,005}$ (4,0)	$\frac{7,27}{7,16-7,45}$ (1,1)	$\frac{0,007}{0,006-0,008}$ (0,01)
Среднее по бассейну	0,51 (1,7)	0,49 (2,5)	0,0006 (3,0)	0,17 (5,8)	0,35 (3,5)	0,004 (4,0)	4,64 (0,7)	0,05 (0,05)
Бассейн Северского Донца								
Большая Каменка	$\frac{0,43}{0,16-0,81}$ (1,5)	$\frac{0,26}{0,17-0,34}$ (1,3)	$\frac{0,0004}{0,0002-0,0006}$ (2,0)	$\frac{0,18}{0,15-0,23}$ (6,0)	$\frac{0,12}{0,1-0,18}$ (1,2)	$\frac{0,004}{0,002-0,005}$ (4,0)	$\frac{1,55}{1,41-1,63}$ (0,2)	$\frac{0,016}{0,012-0,02}$ (0,016)
Большая Гнилуша	$\frac{0,73}{0,12-2,69}$ (2,4)	$\frac{0,71}{0,13-2,29}$ (3,5)	$\frac{0,0006}{0,0001-0,0009}$ (2,0)	$\frac{0,27}{0,15-0,39}$ (9,0)	$\frac{0,20}{0,10-0,35}$ (2,0)	$\frac{0,004}{0,001-0,006}$ (4,0)	$\frac{4,47}{3,91-5,18}$ (0,6)	$\frac{0,02}{0,01-0,04}$ (0,02)
Быстрая	$\frac{0,30}{0,10-0,57}$ (1,0)	$\frac{0,14}{0,03-0,33}$ (0,7)	$\frac{0,0010}{0,0008-0,0012}$ (0,5)	$\frac{0,02}{0,01-0,04}$ (0,7)	$\frac{0,14}{0,04-0,39}$ (1,4)	$\frac{0,002}{0,002-0,003}$ (2,0)	$\frac{1,72}{1,11-2,57}$ (0,2)	$\frac{0,01}{0,007-0,011}$ (0,01)
Калитва	$\frac{0,22}{0,09-0,47}$ (0,8)	$\frac{0,10}{0,02-0,30}$ (0,5)	$\frac{0,0003}{0,0001-0,0006}$ (1,5)	$\frac{0,02}{0,01-0,03}$ (0,7)	$\frac{0,11}{0,01-0,27}$ (1,1)	$\frac{0,004}{0,001-0,006}$ (4,0)	$\frac{1,52}{1,26-1,64}$ (0,2)	$\frac{0,02}{0,01-0,06}$ (0,02)
Кундрючья	$\frac{1,49}{0,57-4,04}$ (4,9)	$\frac{1,15}{0,19-2,42}$ (5,6)	$\frac{0,0005}{0,0002-0,0007}$ (2,5)	$\frac{0,21}{0,12-0,29}$ (7,0)	$\frac{0,23}{0,05-0,47}$ (2,3)	$\frac{0,005}{0,002-0,008}$ (5,0)	$\frac{3,37}{2,99-3,91}$ (0,4)	$\frac{0,02}{0,01-0,03}$ (0,02)
Лихая	$\frac{0,44}{0,10-0,98}$ (1,5)	$\frac{0,31}{0,09-0,83}$ (1,5)	$\frac{0,0007}{0,0001-0,0011}$ (3,5)	$\frac{0,04}{0,02-0,05}$ (1,3)	$\frac{0,22}{0,03-0,53}$ (2,2)	$\frac{0,003}{0,002-0,005}$ (3,0)	$\frac{2,67}{1,80-3,45}$ (0,3)	$\frac{0,012}{0,01-0,016}$ (0,01)
Среднее по бассейну	0,54 (1,8)	0,38 (1,9)	0,0006 (3,0)	0,10 (3,5)	0,23 (2,3)	0,004 (4,0)	2,87 (0,4)	0,04 (0,04)

* – в числителе – средние значения, мг/дм³, в скобках – кратность превышения ПДК [6], в знаменателе – пределы изменения концентрации, мг/дм³.

Об уровне загрязненности поверхностных вод можно судить по данным табл. 3 и 4, где приведены значения интегрального показателя – СКЗ. Как видно, его величина варьирует в широких пределах – от 4,6 до 45,6, что соответствует категориям «слабозагрязненная» – «грязная и очень грязная». По степени уменьшения значений СКЗ реки бассейна Северского Донца располагаются в такой последовательности: Малая Каменка – Большая Гнилуша – Кундрючья – Лихая – Большая Каменка – Быстрая – Калитва. В бассейне Тузлова этот ряд выглядит следующим образом: Малый Несветай – Атюхта – Аюта – Кадамовка – Грушевка – Большой Несветай. При сопоставлении качества речной воды двух изучаемых бассейнов выясняется, что в большинстве рек бассейна Тузлова вода отвечает категории «грязная и очень грязная» (средняя величина СКЗ 29,4), в то время как в бассейне Северского Донца (СКЗ 19,3) она в ряде случаев (реки Калитва, Быст-

рая) заметно чище. Данное обстоятельство объясняется разным уровнем антропогенной нагрузки, которую испытывают поверхностные воды двух бассейнов. Как показали наши исследования [7], в речную сеть бассейна Тузлова только с техногенными шахтными водами поступает 363 375 т/год загрязняющих веществ, в то время как для бассейна Северского Донца это количество составляет всего лишь 42 128 т/год.

Следует еще раз подчеркнуть, что наиболее уязвимыми к антропогенному воздействию, как правило, оказываются малые реки, составляющие верхние звенья речной сети. Поэтому уровень их загрязненности всегда существенно выше, чем в средних и тем более крупных реках. Это, например, видно при сравнении величин СКЗ в воде реки Тузлов (14,7) и её притоков первого и второго порядков – Большого Несветая (15,9), Малого Несветая (45,6), а в соседнем бассейне – в речных

водах Северского Донца (8,2), Кундрючьей (27,7), Большой Гнилуши (31,2). Важно также отметить, что с увеличением значений СКЗ расширяется и набор компонентов – загрязнителей речных вод

(табл. 3 и 4). Его основу в большинстве рек формируют сульфат-ион (SO_4^{2-}), щелочные (Na+K) и щелочно-земельные металлы (Ca и Mg), а из микроэлементов – Cu, Li, Be, Mn, Al, Fe.

Таблица 3

Характеристика загрязненности речных вод в бассейне Северского Донца по СКЗ

Река	СКЗ	Ассоциация компонентов-загрязнителей	Категория загрязненности
Калитва	4,6	Be, Mn, Cu	Слабозагрязненная
Быстрая	7,8	Ca, SO_4 , Fe, Mn, Be, Cu	Весьма загрязненная
Большая Каменка	12,4	Na+K, SO_4 , Fe, Al, Be, Li, Mn, Cu	Очень загрязненная
Лихая	12,3	Na+K, Mg, SO_4 , Fe, Al, Be, Li, Mn, Cu	Очень загрязненная
Кундрючья	27,7	Na+K, Mg, SO_4 , Fe, Al, Be, Li, Mn, Cu	Грязная и очень грязная
Большая Гнилуша	31,2	Na+K, Ca, SO_4 , Fe, Al, Be, Li, Mn, Cu	Грязная и очень грязная
Малая Каменка	39,3	Na+K, Mg, SO_4 , Fe, Al, Be, Mn, Cu	Грязная и очень грязная
Среднее для бассейна	17,9	Na+K, Mg, SO_4 , Fe, Al, Be, Li, Mn, Cu	Очень загрязненная

Таблица 4

Характеристика загрязненности речных вод бассейна Тузлов по СКЗ

Река	СКЗ	Ассоциация компонентов-загрязнителей	Категория загрязненности
Большой Несветай	15,9	Na+K, Ca, Mg, SO_4 , Fe, Be, Li, Mn, Cu	Очень загрязненная
Грушевка	18,6	Na+K, Ca, Mg, SO_4 , Fe, Al, Be, Li, Mn, Cu	Очень загрязненная
Кадамовка	28,5	Na+K, Ca, Mg, SO_4 , Fe, Al, Be, Li, Mn, Cu	Грязная и очень грязная
Аюта	31,3	Na+K, Ca, Mg, SO_4 , Fe, Al, Be, Li, Mn, Cu	Грязная и очень грязная
Атюхта	36,5	Na+K, Ca, Mg, Cl, SO_4 , Al, Be, Li, Mn, Cu, Sr	Грязная и очень грязная
Малый Несветай	45,6	Na+K, Ca, Mg, SO_4 , Al, Be, Li, Mn, Cu	Грязная и очень грязная
Среднее для бассейна	27,3	Na+K, Ca, Mg, SO_4 , Fe, Al, Be, Li, Mn, Cu	Грязная и очень грязная

Подземные воды Восточного Донбасса также характеризуются сложным химическим составом. В его анионной части (табл. 5) 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 этого компонента угольные районы существенно различаются: максимальные их количества (77,0 – 4128,0; в среднем 1670,0 мг/дм³) установлены в Новошахтинском районе, а минимальные – в Шахтинском (288,0 – 1056,0; в среднем 685,0 мг/дм³).

Среди катионов повсеместно лидирующие позиции занимают Na и K, содержание которых по районам убывает в ряду Новошахтинский (225,0 – 1306,0; в среднем 612,0 мг/дм³) – Шахтинский (165,0 – 1100,0; в среднем 529,0 мг/дм³) – Шолоховский (35,0 – 541,0; в среднем 305,0 мг/дм³) – Гуковский (65,0 – 330,0; в среднем 225,0 мг/дм³)

район. Среди катионов щелочно-земельных элементов во всех наблюдательных скважинах преобладает 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.

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 хлорид-иону, в то время как гидрокарбонат-ионы распространяются в подземных водах по площади районов относительно равномерно [8].

Таблица 5

Содержание макрокомпонентов в подземных (в том числе шахтных) водах, мг/дм³

Район	Na ⁺ +K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	M
Новошахтинский	$\frac{612}{295-1305}$ (3,1)	$\frac{269}{32-457}$ (1,5)	$\frac{184}{78-331}$ (3,7)	$\frac{384}{150-712}$ (1,1)	$\frac{1670}{77-4128}$ (3,4)	$\frac{3619}{1468-7184}$ (3,6)
Шахтинский	$\frac{529}{165-1100}$ (2,6)	$\frac{166}{24-337}$ (0,9)	$\frac{97}{39-195}$ (2,0)	$\frac{639}{121-1815}$ (1,8)	$\frac{685}{288-1056}$ (1,3)	$\frac{2430}{1348-4948}$ (2,4)
Гуковский	$\frac{225}{65-330}$ (1,1)	$\frac{230}{136-361}$ (1,3)	$\frac{118}{54-219}$ (2,4)	$\frac{172}{78-338}$ (0,5)	$\frac{877}{227,0-2246,4}$ (1,8)	$\frac{1951}{924,0-7504}$ (1,9)
Шолоховский	$\frac{305}{35-541}$ (1,5)	$\frac{192}{64-453}$ (1,1)	$\frac{110}{39-243}$ (2,2)	$\frac{283}{35,6-605,1}$ (0,8)	$\frac{808}{192,0-1824,0}$ (1,6)	$\frac{2031}{712,0-3832}$ (2,0)
Шахтные воды	$\frac{988}{727-1581}$	$\frac{394}{285-497}$	$\frac{326}{194-958}$	$\frac{374}{171-806}$	$\frac{3258}{1632-6912}$	$\frac{6028}{4226-11728}$

Примечание. См. табл. 1.

Микрокомпонентный состав подземных вод (табл. 6) достаточно однообразен. Вместе с тем примечательной особенностью территориального распределения микрокомпонентов в этих водах

является обогащенность их железом в Шахтинском и Шолоховском районах (в среднем соответственно 3,06 и 2,26 мг/дм³), марганцем – в Гуковском и Новошахтинском (1,61 и 1,47 мг/дм³).

Таблица 6

Содержание микроэлементов в подземных (в том числе шахтных) водах Восточного Донбасса, мг/дм³

Район	Fe	Al	Be	Li	Mn	Sr	Zn
Новошахтинский	$\frac{0,88}{0,07-4,93}$ (2,91)*	$\frac{0,07}{0,02-0,15}$ (0,35)	$\frac{0,0009}{0,0002-0,0019}$ (4,5)	$\frac{0,05}{0,01-0,12}$ (1,67)	$\frac{1,47}{0,12-3,14}$ (14,7)	$\frac{3,55}{0,34-7,35}$ (0,48)	$\frac{0,05}{0,01-0,09}$ (0,05)
Шахтинский	$\frac{3,06}{0,2-12,8}$ (10,2)	$\frac{0,13}{0,02-0,67}$ (0,65)	$\frac{0,0004}{0,0002-0,0006}$ (2,0)	$\frac{0,04}{0,01-0,11}$ (1,3)	$\frac{0,26}{0,03-0,75}$ (2,6)	$\frac{2,32}{0,05-7,61}$ (0,33)	$\frac{0,05}{0,02-0,35}$ (0,05)
Гуковский	$\frac{0,76}{0,3-1,14}$ (2,53)	$\frac{0,06}{0,02-0,13}$ (0,3)	$\frac{0,0006}{0,00050,0007}$ (3,0)	$\frac{0,04}{0,01-0,09}$ (1,3)	$\frac{1,61}{0,3-3,34}$ (16,1)	$\frac{3,25}{1,47-6,25}$ (0,47)	$\frac{0,09}{0,04-0,18}$ (0,09)
Шолоховский	$\frac{2,26}{0,36-8,27}$ (7,53)	$\frac{0,10}{0,02-0,51}$ (0,5)	$\frac{0,0006}{0,0003-0,0009}$ (3,0)	$\frac{0,02}{0,01-0,04}$ (0,67)	$\frac{0,28}{0,01-1,57}$ (2,8)	$\frac{3,12}{0,69-7,01}$ (0,45)	$\frac{0,31}{0,06-1,0}$ (0,31)
Шахтные воды	$\frac{86,98}{18,1-692,4}$	$\frac{0,44}{0,02-0,74}$	$\frac{0,0008}{0,0002-0,0013}$	$\frac{0,16}{0,03-0,27}$	$\frac{7,31}{1,66-28,19}$	$\frac{6,24}{2,24-9,25}$	$\frac{0,10}{0,006-0,89}$ (0,1)

* – в числителе приведены средние значения концентраций, мг/дм³, в скобках – кратность превышения ПДК [6], в знаменателе – пределы изменения концентрации, мг/дм³.

Интегральная оценка качества по суммарному коэффициенту загрязнения показала, что изучаемые подземные воды каменноугольного горизонта, повсеместно распространенные в пределах Восточного Донбасса, относятся к 5-й категории, т.е. «грязные и очень грязные», в пределах Новошахтинского и Шахтинского угольных районов и 4-й, т.е. «очень загрязненные» – в пределах Гуковского и Шолоховского (табл. 7). Вместе с тем в Шахтинском и Новошахтинском углепромышленных районах, где объекты угледобычи (действующие и ликвидированные мокрым способом шахты, породные отвалы и др.) имеют наибольшее распространение, на отдельных площадях присутствуют чрезвычайно грязные подземные воды.

Если сравнить химический состав поверхност-

ных и подземных вод, то окажется, что и те и другие характеризуются одинаковым набором типоморфных компонентов-загрязнителей. В их числе Na+K, Ca, Mg, SO₄, Fe, Al, Be, Li, Mn, Cu. Особенно впечатляет практически полное совпадение уровня загрязненности вод в пределах отдельных бассейнов по величине суммарного показателя (СКЗ). Данные обстоятельства свидетельствуют, с одной стороны, о том, что поверхностные и подземные воды Восточного Донбасса, тесно взаимодействуя друг с другом, находятся в состоянии динамического равновесия, а с другой – что в формировании их химического состава участвует единый (но, естественно, не единственный) мощный источник загрязнения. Таковыми являются техногенные шахтные воды.

Таблица 7

Характеристика загрязненности подземных (в том числе шахтных) вод Восточного Донбасса по СКЗ

Район	СКЗ	Ассоциация элементов	Категория загрязненности
Новошахтинский	33,62	Na+K, Ca, Mg, Cl, SO ₄ , Fe _{общ} , Be, Li, Mn,	Грязная и очень грязная
Шахтинский	24,11	Na+K, Mg, Cl, SO ₄ , Fe _{общ} , Be, Li, Mn	Грязная и очень грязная
Среднее для районов (бассейн Тузлова)	27,44	Na+K, Mg, Cl, SO ₄ , Fe, Al, Be, Li, Mn	Грязная и очень грязная
Гуковский	19,08	Na+K, Ca, Mg, SO ₄ , Fe, Be, Li, Mn	Очень загрязненная
Шолоховский	15,83	Na+K, Ca, Mg, SO ₄ , Fe, Be, Mn	Очень загрязненная
Среднее для районов (бассейн Северского Донца)	17,62	Na+K, Ca, Mg, SO ₄ , Fe, Be, Mn	Очень загрязненная
Шахтные воды	396,7	Na+K, Ca, Mg, SO ₄ , Fe, Al, Be, Li, Mn, Cu	Чрезвычайно грязная

Как известно, шахтные воды угольных бассейнов формируются за счет подземных вод, дренирующих горные выработки. Дополнительным источником может служить инфильтрация в горные выработки атмосферных осадков и поверхностных вод из прилегающих водных объектов, что особенно характерно для Восточного Донбасса, где трещиноватые горные породы пользуются широким распространением.

По своему составу шахтные воды сильно отличаются от исходных подземных вод по общей минерализации и содержанию большинства макро- и микрокомпонентов. В частности, в углепромышленных районах Восточного Донбасса их минерализация изменяется в пределах 1,3 – 4,5 г/л, а в отдельных случаях достигает 10 – 12 г/л. По химическому составу это преимущественно воды сульфатного класса натриевой группы.

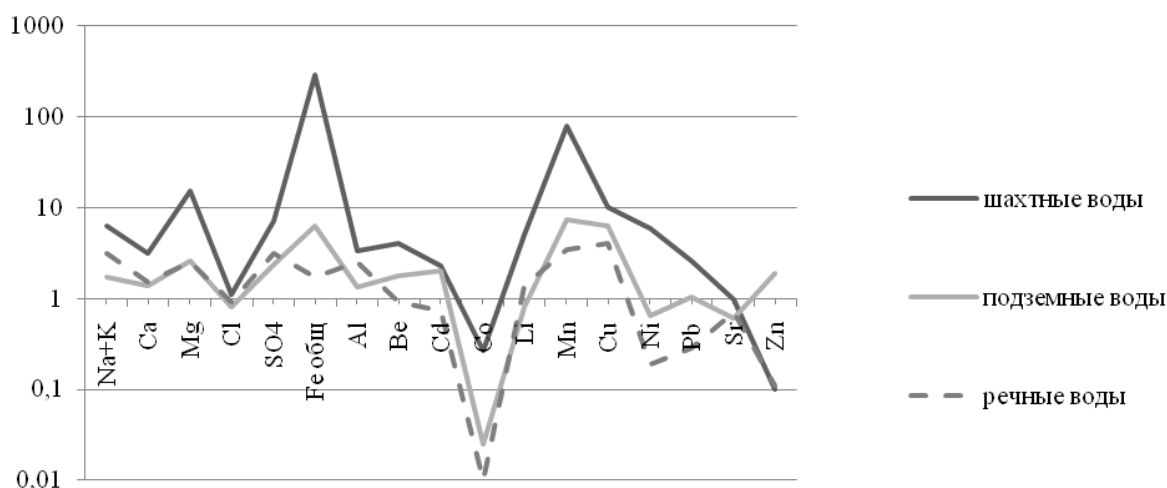
Химический состав шахтных вод непостоянен и заметно изменяется со временем. Так, по некоторым данным [9], за 5 лет эксплуатации угольных месторождений минерализация вод в отдельных шахтах Восточного Донбасса увеличилась на 9–13 %. При этом класс воды сменился с гидрокарбонатного на сульфатный, а местами – на хлоридный. В катионном составе отмечен рост содержания натрия.

Наиболее существенные изменения в химическом составе шахтных вод произошли в последние 20–25 лет в связи с реструктуризацией угольной промышленности, предусматривающей ликвидацию нерентабельных шахт путем их затопления. Как показали наши расчеты, минерализация шахтных вод за этот период возросла в среднем на 55 %, а количество отдельных макрокомпонентов (сульфатов, Mg и Ca) увеличилось на 100 – 150 %. Аналогичные изменения произошли и в микрокомпонентном составе шахтных вод. В частности, содержания железа и марганца в водах ликвидированных шахт оказались в десятки раз выше, чем в водах

периода их эксплуатации. Вместе с тем, как видно из данных табл. 5–7, состав компонентов – загрязнителей техногенных шахтных вод в значительной степени соответствует набору типоморфных элементов в подземных и речных водах данного региона. Это свидетельствует о существенной роли техногенных шахтных вод в формировании качества поверхностной и подземной гидросферы. Дополнительным аргументом в пользу такого вывода служат геохимические спектры подземных, речных и шахтных вод, приведенные на рисунке. Как видно, эти спектры в значительной степени симбатны, т.е. повторяют друг друга (имеют схожий ход изменения).

Затопление нерентабельных шахт способствовало поступлению техногенных шахтных вод в водонесные горизонты и формированию ореолов распространения сильнозагрязненных подземных вод, непригодных для хозяйственно-питьевого водоснабжения местного населения. Такая обстановка сложилась в ряде населенных пунктов Октябрьского и Красносулинского районов Ростовской области.

Ликвидация объектов добычи угля оказала резко негативное влияние и на качество поверхностных вод за счет сброса на рельеф и поступления в речную сеть сильнозагрязненных шахтных вод. Объектами такого влияния оказались, в частности, реки Кадамовка, Малый и Большой Несветай, Аюта, Кундрючья, Гнилуша, Лихая, Бургуста, Малая Каменка. В них, по некоторым оценкам [10], поступает от 150 до 2500 м³/ч таких вод. Следует также учитывать высокую вероятность загрязнения речных вод не только сверху, но и снизу в связи с подъемом уровня подземных вод и выходом их на поверхность по тектонически нарушенным зонам как естественного, так и техногенного происхождения. Увеличение питания рек и водоемов подземными водами в результате ликвидации шахт Восточного Донбасса отмечалось рядом исследователей [10, 11].



Геохимические спектры шахтных, подземных и речных вод Восточного Донбасса

Таким образом, приведенные выше материалы гидрохимических исследований свидетельствуют о том, что поверхностные и подземные воды Восточного Донбасса находятся в состоянии двусторонней гидравлической связи. Она выражается в том, что подземные воды в течение всего года питают поверхностные водотоки, а последние, в свою очередь, – водоносные горизонты подрусловых грунтовых вод и грунтовых вод прибрежной полосы. Не исключено, что подобный водообмен существовал и до начала освоения Восточного Донбасса. Но тогда он, скорее всего, имел локальный характер. В процессе эксплуатации угольных месторождений, особенно в результате массовой ликвидации нерентабельных шахт, ареалы активного водообмена между поверхностными и подземными водами значительно расширились. Этому способствовало развитие техногенных пликтивных и особенно дизъюнктивных нарушений в горно-породном массиве, обеспечивающих высокую вертикальную проницаемость зоны аэрации.

Как известно, в соответствии с существующей в настоящее время природоохранной и водохозяйственной политикой оценка поверхностных и подземных ресурсов осуществляется изолированно: по водохозяйственным балансам для поверхностного стока, по эксплуатационным запасам – для подземного. Результаты проведенных исследований убеждают в том, что эффективное решение гидроэкологических проблем в данном регионе возможно только на основе совместного использования, управления и оценки речных и подземных водных ресурсов. При этом необходимо учитывать, что основной вклад в ухудшение их качества в данном регионе принадлежит техногенным шахтным водам, минимизация воздействия которых на поверх-

ностную и подземную гидросферы должна стать приоритетной задачей природоохранных органов.

Литература

1. Вернадский В.И. История природных вод. М., 2003. 751 с.
2. Никаноров А.М. Гидрохимия : учебник. Ростов н/Д., 2008. 461 с.
3. Закруткин В.Е., Иваник В.М., Гибков Е.В., Скляр В.В. Оценка влияния ликвидируемых шахт Восточного Донбасса на гидрохимический состав малых рек бассейна Северского Донца // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки. 2010. № 3. С. 84 – 87.
4. Закруткин В.Е., Иваник В.М., Гибков Е.В. Состояние загрязненности воды рек Ростовской области в районах техногенного влияния ликвидируемых шахт Восточного Донбасса (реки бассейна Тузлова) // Современные фундаментальные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод России : материалы науч.-практ. конф. с междунар. участием. Ч. 1. Ростов н/Д., 2009. С. 88 – 91.
5. Белоусова А.П., Гавич И.К., Лисенков А.Б., Попов Е.В. Экологическая гидрогеология. М., 2006. 397 с.
6. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. М., 2002. 62 с.
7. 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. 94 – 102.
8. Закруткин В.Е., Скляр Г.Ю., Гибков Е.В. Особенности химического состава и степень загрязненности подземных вод углепромышленных районов Восточного Донбасса // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки. 2014. № 4. С. 73 – 77.

9. Никаноров А.М., Страдомская А.Г., Иваник В.М. Локальный мониторинг загрязнения водных объектов в районах высоких техногенных воздействий топливно-энергетического комплекса. СПб., 2002. 156 с.

10. Мохов А.В., Журбицкий Б.И., Карасев Г.К., Дымна А.И. Влияние угольного комплекса на геоэкологическую ситуацию // Проблемы и перспективы комплексного освоения минеральных ресурсов Восточного Донбасса. Ростов н/Д., 2005. С. 129 – 138.

11. Экологический мониторинг ликвидации неперспективных шахт Восточного Донбасса / под ред. В.М. Еремеева. Шахты, 2001. 182 с.

References

1. Vernadskii V.I. *Istoriya prirodnikh vod* [History of natural waters]. Moscow, 2003, 751 p.

2. Nikanorov A.M. *Gidrokimiya* [Hydrochemistry]. Textbook. Rostov-on-Don, 2008, 461 p.

3. Zakrutkin V.E., Ivanik V.M., Gibkov E.V., Sklyarov V.V. Otsenka vliyaniya likvidiruemykh shakht Vostochnogo Donbassa na gidrokhimicheskii sostav mal'nykh rek basseina Severskogo Donetsa [Assessing the impact of liquidating the Eastern Donbass mines on the hydrochemical composition of the low river basin of the Seversky Donets]. *Izv. vuzov. Sev.-Kavk. region. Estestv. nauki*, 2010, no 3, pp. 84-87.

4. Zakrutkin V.E., Ivanik V.M., Gibkov E.V. [State water pollution of the rivers of the Rostov region in the areas of technogenic influence of liquidated mines of East Donbass (Tuzlov basin)]. *Sovremennye fundamental'nye problemy gidrokhimii i monitoringa kachestva poverkhnostnykh vod Rossii* [Modern fundamental problems of hydrochemistry and monitoring the quality of surface waters of Russia]. Materials of scient.-pract. conf. with int. participation. Ch. 1. Rostov-on-Don, 2009, pp. 88-91.

5. Belousova A.P., Gavich I.K., Lisenkov A.B., Popov E.V. *Ekologicheskaya gidrogeologiya* [Environmental hydrogeology]. Moscow, 2006, 397 p.

6. *Pit'evaya voda. Gigienicheskie trebovaniya k kachestvu vody tsentralizovannykh sistem pit'evogo vodosnabzheniya. Kontrol' kachestva* [Drinking water. Hygienic requirements for water quality of centralized drinking water supply systems. Quality control]. SanPiN 2.1.4.1074-01. Moscow, 2002, 62 p.

7. Zakrutkin V. E., Ivanik V.M., Gibkov E.V. *Ekologo-geograficheskii analiz riskov restrukturizatsii ugol'noi promyshlennosti v Vostochnom Donbasse* [Ecological and geographical analysis of the risk of restructuring the coal industry in the Eastern Donbass]. *Izv. RAN. Ser. geograficheskaya*, 2010, no 5, pp. 94-102.

8. Zakrutkin V.E., Sklyarenko G.Yu., Gibkov E.V. Osobennosti khimicheskogo sostava i stepen' zagryaznenosti podzemnykh vod uglepromyshlennykh raionov Vostochnogo Donbassa [Features of the chemical composition and the degree of contamination of groundwater coal-mining areas of the Eastern Donbass]. *Izv. vuzov. Sev.-Kavk. region. Estestv. nauki*, 2014, no 4, pp. 73-77.

9. Nikanorov A.M., Stradomskaia A.G., Ivanik V.M. *Lokal'nyi monitoring zagryazneniya vodnykh ob"ektov v raionakh vysokikh tekhnogennykh vozdeistvii toplivno-energeticheskogo kompleksa* [Local monitoring water pollution in areas of high technological impacts of fuel and energy complex]. Saint Petersburg, 2002, 156 p.

10. Mokhov A.V., Zhurbitskii B.I., Karasev G.K., Dymna A.I. [Influence of coal complex on geoecological situation]. *Problemy i perspektivy kompleksnogo osvoeniya mineral'nykh resursov Vostochnogo Donbassa* [Problems and prospects of integrated development of mineral resources of the Eastern Donbass]. Rostov-on-Don, 2005, pp. 129-138.

11. *Ekologicheskii monitoring likvidatsii neperspektivnykh shakht Vostochnogo Donbassa* [Environmental monitoring liquidation of unpromising mines of East Donbass]. Ed. V.M. Eremeev. Shakhty, 2001, 182 p.