

УДК 504.433:622(470.61)

DOI 10.23683/0321-3005-2017-3-1-100-107

ВЛИЯНИЕ УГЛЕДОБЫЧИ В ДОНБАССЕ НА ПОДЗЕМНЫЕ И ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОДЫ

© 2017 г. Г.Ю. Склярченко¹, В.Е. Закруткин¹, А.Р. Zubov², Л.Г. Zubova², О.С. Решетняк¹

¹Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия,

²Луганский национальный университет им. В. Даля, Луганск, Украина

INFLUENCE OF THE COAL MINING IN THE DONBASS ON UNDERGROUND AND SURFACE WATER

G.Yu. Sklyarenko¹, V.E. Zakrutkin¹, A.R. Zubov², L.G. Zubova², O.S. Reshetnyak¹

¹Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia,

²Dahl Luhansk National University, Luhansk, Ukraine

Склярченко Григорий Юрьевич – кандидат геолого-минералогических наук, доцент, кафедра геоэкологии и прикладной геохимии, Институт наук о Земле, Южный федеральный университет, ул. Зорге, 40, г. Ростов-на-Дону, 344090, Россия, e-mail: gysklyarenko@srfedu.ru

Grigory Yu. Sklyarenko - Candidate of Geology and Mineralogy, Associate Professor, Department of Geoecology and Applied Geochemistry, Institute of Earth Sciences, Southern Federal University, Zorge St., 40, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: gysklyarenko@srfedu.ru

Закруткин Владимир Евгеньевич – доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой геоэкологии и прикладной геохимии, Институт наук о Земле, Южный федеральный университет, ул. Зорге, 40, г. Ростов-на-Дону, 344090, Россия, e-mail: vezak@list.ru

Vladimir E. Zakrutkin - Doctor of Geology and Mineralogy, Professor, Head of the Department of Geoecology and Applied Geochemistry, Institute of Earth Sciences, Southern Federal University, Zorge St., 40, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: vezak@list.ru

Zubov Алексей Рэмович – доктор сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой гидrometeorологии, Луганский национальный университет им. В. Даля, ул. Ватутина, 1а, г. Луганск, 91034, Украина, e-mail: zubov-home@mail.ru

Alexey R. Zubov - Doctor of Agricultural Sciences, Head of the Department of Hydrometeorology, Dahl Luhansk National University, Vatutina St., 1a, Luhansk, 91034, Ukraine, e-mail: zubov-home@mail.ru

Zubova Лилия Григорьевна – доктор технических наук, профессор, кафедра гидrometeorологии, Луганский национальный университет им. В. Даля, ул. Ватутина, 1а, г. Луганск, 91034, Украина, e-mail: kaf_gidrometeor@mail.ru

Lilia G. Zubova - Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Hydrometeorology, Dahl Luhansk National University, Vatutina St., 1a, Luhansk, 91034, Ukraine, e-mail: kaf_gidrometeor@mail.ru

Решетняк Ольга Сергеевна – кандидат географических наук, доцент, кафедра геоэкологии и прикладной геохимии, Институт наук о Земле, Южный федеральный университет, ул. Зорге, 40, г. Ростов-на-Дону, 344090, Россия, e-mail: olgare1@rambler.ru

Olga S. Reshetnyak - Candidate of Geography, Associate Professor, Department of Geoecology and Applied Geochemistry, Institute of Earth Sciences, Southern Federal University, Zorge St., 40, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: olgare1@rambler.ru

Донецкий бассейн – одна из старейших углепромышленных территорий, разрабатываемая на протяжении более двухсот лет. Длительная угледобыча привела к серьезным нарушениям природной среды этого региона. Особенно сильно негативные последствия сказались на состоянии природных вод. В настоящей статье показано, что главными источниками загрязнения подземной и поверхностной гидросферы Донбасса являются сильноминерализованные техногенные шахтные воды, гидравлически и химически связанные с природными водами, и стоки с породных отвалов – террикоников. Произведено изучение пространственного распределения террикоников в пределах бассейнов рек Донбасса. На основе химического анализа состава отвальной породы и поверхностных стоков с них, а также параметров этого стока рассчитаны объемы загрязняющих веществ, поступающих в бассейны рек. Установлены основные поллютанты, главным образом тяжелые металлы, и рассчитаны показатели качества природных вод. Масштабы воздействия шахтных вод и поверхностных стоков на них чрезвычайно высоки: подземные и речные воды региона характеризуются очень плохим качеством. Оно колеблется от категории «очень загрязненная» до «грязная и очень грязная». Всё это требует разработки действенных мер улучшения экологической ситуации.

Ключевые слова: Донбасс, угледобыча, терриконики, поверхностный сток, поллютанты, речные бассейны, шахтные воды, загрязнение воды.

Donbass is one of the oldest coal mining areas, developed over more than two hundred years. Long-term coal mining has led to serious disruptions of the natural environment of this region. Especially severely negative consequences have affected the state of natural waters. It is shown that the main pollutants of the Donbass underground and surface hydrosphere are highly mineralized technogenic mine waters hydraulically and chemically related to natural waters, and effluents from waste heaps - terricones. A study was made of the spatial distribution of terricones within the basins of the Donbass river. Based on the chemical analysis of the composition of the waste rock and surface runoff from them, as well as the parameters of this runoff, the volumes of pollutants entering the river basins were calculated. The main pollutants, mainly heavy metals, have been established, and indicators of the quality of natural waters have been calculated. The scale of the impact of mine waters and surface runoff on them is extremely high: the underground and river waters of the region are characterized by very poor quality. It ranges from "very polluted" to "dirty and very dirty". All this requires the development of effective measures to improve the environmental situation.

Keywords: Donbass, coal mining, terricones, surface runoff, pollutants, river basins, mine waters, water pollution.

Подземная добыча угля на территории Донбасса производится уже более 200 лет. Шахтные комплексы изменяют до неузнаваемости естественные ландшафты [1]. На месте естественных, пусть и не очень богатых растительностью, степных ландшафтов образуются техногенные, избилующие прудами-отстойниками, производственными зданиями, террикониками. Исторически сложилось так, что объекты угольной промышленности в Донецком бассейне являются градообразующими, а практически весь регион превратился в перенасыщенную антропогенную зону. Любое проявление природной или техногенной опасности может стать катастрофическим [2]. Именно поэтому защита и восстановление окружающей среды в регионе, обеспечение экологической безопасности являются чрезвычайно актуальными.

Особое внимание как с экологической, так и с социальной и экономической точек зрения привлекает состояние поверхностных и подземных вод на углепромышленных территориях. Природные воды подвержены существенному влиянию угледобычи:

– при шахтной добыче из-за откачки подземных вод из шахт существенно меняются режим и баланс подземных вод;

– в горных выработках формируются техногенные высокоминерализованные шахтные воды;

– откачанные шахтные воды после недостаточной очистки попадают в поверхностные водотоки, неся большое количество растворенных веществ, главным образом тяжелых металлов;

– на земной поверхности после обогащения угля формируются отвалы пустой породы, которая легко окисляется при взаимодействии с атмосферным воздухом и выпадающими осадками. А высокотоксичные продукты окисления смываются в реки, попадают в почвы, просачиваются в грунтовые воды.

В условиях засушливого климата региона население испытывает дефицит чистой питьевой воды, поэтому вышеперечисленные проблемы требуют глубокого изучения и решения.

Природные подземные воды Донбасса характеризуются следующими особенностями химического

состава: в зоне свободного водообмена (до глубины 200–700 м) преобладают гидрокарбонатные маломинерализованные воды, в зоне затрудненного водообмена (до глубины 1500–2000 м) – гидрокарбонатно-сульфатные и сульфатные, в зоне застойных вод (до глубины более 2000–2500 м) – хлоридно-сульфатные и хлоридные высокоминерализованные воды и рассолы. По катионному составу самыми распространенными являются воды натриево-кальциево-магниевые и натриево-кальциевые, в меньшей степени – кальциево-магниевые, натриевые, кальциевые, натриево-магниевые, и чрезвычайно редко встречаются воды чисто магниевые типа [3].

При взаимодействии с рудничной атмосферой, горными породами, угольным шламом и пылью подземные воды сильно обогащаются взвешенными частицами, из слабощелочных становятся кислыми (рН достигает 2–3 на 15 % шахт), из пресных и солоноватых с минерализацией от 0,2 до 3 г/л превращаются в соленые с минерализацией 5–30 г/л и очень жесткие. Шахтные воды неглубоких шахт почти все без исключения агрессивны по содержанию сульфат-иона, а в глубоких горизонтах агрессивны по временной жесткости [3]. Таким образом, подземные воды, превращаясь в шахтные, могут менять класс, семейство, род, вид, подвид, кислотно-щелочные условия, минерализацию, содержание растворенного органического вещества, ионный состав и т.д., что переводит их в разряд вод, резко противоречащих естественным условиям [4].

В качестве примера в табл. 1 приведена оценка загрязнения тяжелыми металлами вод одной из типичных шахт Центрального Донбасса – шахты им. Я.Ф. Мельникова ОАО «Лисичанскуголь».

Содержание тяжелых металлов в шахтной воде определено с помощью приближенно-количественного эмиссионного спектрального анализа по методике ИМП (Симферополь) спектрографом СТЭ-1 с приставкой УСА-6. Категории качества воды определяли по системе экологической оценки качества поверхностных вод суши и эстуариев [5].

Таблица 1

**Оценка загрязнения тяжелыми металлами вод шахты им. Я.Ф. Мельникова
 / Assessment of heavy metal contamination of the mine waters Melnikov coal mine**

Химический элемент	Фактическое содержание, мкг/дм ³	Категория качества воды	Экологическая оценка	Степень загрязнения
Pb	3,73	III	Достаточно хорошая	Достаточно чистая
Cu	74,6	VII	Очень плохая	Сильно загрязнена
Ni	7,46	III	Достаточно хорошая	Достаточно чистая
Cr	37,3	VI	Плохая	Загрязнена

Восстановительные мероприятия заключаются в очистке, которая является малоэффективной, так как используемые в угольной отрасли вертикальные и горизонтальные отстойники способствуют лишь частичному восстановлению качества вод. И такие почти неочищенные воды далее сбрасываются в поверхностные водотоки. Все реки края равнинные, степные. Пополняют свои запасы за счет зимних осадков и тающего снега (на 65–75 %), а также летне-осенних дождей (25 %). За счет подземных вод пополнение рек незначительное, в пределах 5–10 % [6]. Реки Донбасса относятся к сульфатному классу и характеризуются повышенной минерализацией (от 500 до 1000 мг/л). Из катионов главную роль играет кальций [7].

Установлено, что на долю угольной промышленности приходится 55–70 % всех веществ, загрязняющих водоемы региона. Значительное загрязнение дают шахтные воды. За последние 50 лет их сброс в речную сеть Донбасса увеличился с 1,5 до 25,5 м³/с, а солевой нос – с 260 до 6900 т/сут, т.е. в 27 раз [8].

Такое влияние испытали, в частности, малые реки Восточного Донбасса, относящиеся к бассей-

нам рек Тузлов и Северский Донец [9, 10]. Минерализация речных вод варьирует в широких пределах – от 876 до 6094 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 (табл. 2). Это может свидетельствовать о неодинаковой техногенной нагрузке, которую испытывают речные экосистемы этих двух бассейнов.

В микроэлементном составе речных вод (табл. 3) явно доминируют Sr, Fe, Al, Mn, в меньшей степени Li. При этом максимальное содержание Sr составляет 8,33 мг/дм³ (р. Аюта), а обычное лежит в пределах 2–4 мг/дм³. Концентрации Fe, Al, Mn и Li заметно ниже (в среднем 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, Be) – минимальны (соответственно сотые, тысячные и десятитысячные доли мг/дм³). Как и следовало ожидать, реки бассейна Тузлова превосходят реки бассейна Северского Донца по содержанию большинства микроэлементов.

Таблица 2

**Характеристика поверхностных вод Восточного Донбасса по содержанию макрокомпонентов [10]
 / Characteristics of the Eastern Donbass surface waters according to the macrocomponents content [10]**

Na ⁺ +K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	M*
Бассейн Тузлова					
624 (3,1)	276 (1,5)	126 (2,5)	341 (0,9)	2148 (4,3)	4110 (4,11)
Бассейн Северского Донца					
293 (1,5)	144 (0,8)	59 (1,2)	243 (0,7)	851 (1,7)	2060 (2,06)

Примечание. * – минерализация воды, мг/дм³; приведены средние значения концентраций, мг/дм³, в скобках – кратность превышения ПДК.

Таблица 3

**Характеристика поверхностных вод Восточного Донбасса по содержанию микрокомпонентов [10]
 / Characteristics of the Eastern Donbass surface waters according of the microcomponents content [10]**

Fe	Al	Be	Li	Mn	Cu	Sr	Zn
Бассейн Тузлова							
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							
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)

Примечание. Приведены средние значения, мг/дм³, в скобках – кратность превышения ПДК.

Вместе с тем выявлено, что состав компонентов – загрязнителей шахтных вод в значительной степени соответствует набору типоморфных элементов в подземных и речных водах региона. Дополнитель-

ным аргументом в пользу такого вывода служат геохимические спектры подземных, речных и шахтных вод на рис. 1. Как видно, эти спектры имеют очень схожий ход изменения.

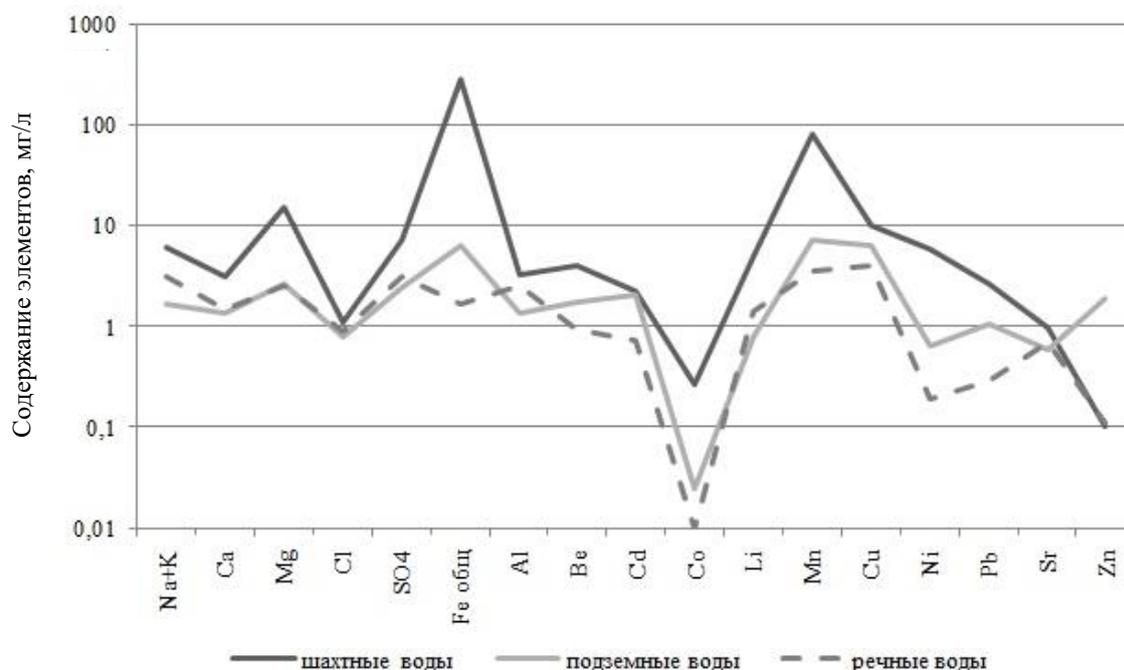


Рис. 1. Геохимические спектры шахтных, подземных и речных вод Восточного Донбасса (шкала логарифмическая)
 / Fig. 1. Geochemical spectra of mine, underground and river waters of the Eastern Donbass (logarithmic scale)

Изменение химического состава речных вод не могло не отразиться на их качестве, которое остается достаточно плохим. В табл. 4 приведены обобщенные за период 2010–2015 гг. характеристики качества поверхностных вод (критические показатели загрязненности воды (КПЗ) и класс качества) Восточного Донбасса в пределах бассейнов Тузлова и Северского Донца.

Как видно из данных табл. 4, для большинства рек в бассейне Тузлова (Атюхта и Кадамовка, Тузлов, нижние участки рек Большой и Малый Несветай, Аюта) качество воды остается стабильно низким, соответствуя 5-му классу. Из широкого перечня загрязняющих веществ чаще всего в разряд КПЗ в бассейне Тузлова попадали такие ингредиенты, как Na^+ , SO_4^{2-} , Fe, Al, Mn, Cu, Sr, реже ионы магния, минерализация воды и в единичных случаях – Zn и Be.

В бассейне Северского Донца для половины исследуемых рек (Большая Гнилуша, нижние участки рек Кундрючья и Лихая) качество воды также остается стабильно низким (5-й класс качества). Здесь в перечне КПЗ чаще всего оказывались такие ингредиенты, как SO_4^{2-} , Fe, Al, Mn, Cu, Sr, в половине случаев – Be и в единичных случаях ионы Na^+ и Mg^{2+} .

Еще одним следствием длительной добычи каменного угля является большое количество отвалов пустой породы – терриконов, которых на всей территории Донбасса насчитывается более 1500 (рис. 2).



Рис. 2. Отвалы пустой породы, Донбасс
 / Fig. 2. Dumps of waste rock, Donbass

Таблица 4

**Характеристика качества поверхностных вод Восточного Донбасса (2010–2015 гг.)
/ Characteristics of the surface water quality of the Eastern Donbass (2010-2015)**

Река	КПЗ воды	Класс качества	Степень загрязненности воды
Бассейн Тузлова			
Тузлов	Na ⁺ , Mg ²⁺ , SO ₄ ²⁻ , Fe, Al, Mn, Cu, Sr	5-й	Стабильно экстремально грязная
Большой Неветай	Na ⁺ , Mg ²⁺ , SO ₄ ²⁻ , Fe, Σ _и , Al, Be, Mn, Cu, Sr	5-й	Стабильно экстремально грязная
Малый Неветай	Na ⁺ , Mg ²⁺ , SO ₄ ²⁻ , Σ _и , Fe, Al, Mn, Cu, Sr	5-й	Стабильно экстремально грязная
Грушевка	Na ⁺ , Mg ²⁺ , SO ₄ ²⁻ , Fe, Al, Mn, Cu, Sr	5-й	Стабильно экстремально грязная
Аюта	Na ⁺ , Mg ²⁺ , SO ₄ ²⁻ , Fe, Σ _и , Al, Be, Mn, Cu, Sr	5-й	Стабильно экстремально грязная
Атюхта	Na ⁺ , Mg ²⁺ , SO ₄ ²⁻ , Fe, Σ _и , Al, Be, Mn, Cu, Sr, Zn	5-й	Стабильно экстремально грязная
Кадамовка	Na ⁺ , Mg ²⁺ , SO ₄ ²⁻ , Σ _и , Fe, Al, Mn, Cu, Sr	5-й	Стабильно экстремально грязная
Бассейн Северского Донца			
Северский Донец	SO ₄ ²⁻ , Fe, Al, Be, Mn, Cu, Sr	4 «в, г»	Стабильно очень грязная
Большая Каменка	SO ₄ ²⁻ , Fe, Al, Be, Mn, Cu, Sr	5-й – 4 «б, в»	Переходящая от экстремально грязной к грязной и очень грязной
Малая Каменка	SO ₄ ²⁻ , Fe, Mn, Cu, Be, Sr	4 «б» – 5-й	Переходящая от грязной к экстремально грязной
Калитва	SO ₄ ²⁻ , Fe, Al, Be, Mn, Cu, Sr	4 «в» – 4 «а, б»	Переходящая от очень грязной к грязной
Лихая	Mg ²⁺ , SO ₄ ²⁻ , Fe, Al, Be, Mn, Cu, Zn	4 «в» – 5-й	Переходящая от очень грязной к экстремально грязной
Быстрая	SO ₄ ²⁻ , Al, Fe, Be, Mn, Cu, Sr	4 «а, б»	Стабильно грязная и очень грязная
Кундрючья	Na ⁺ , SO ₄ ²⁻ , Fe, Al, Be, Mn, Cu, Sr	5-й	Стабильно экстремально грязная
Большая Гнилуша	Na ⁺ , Mg ²⁺ , SO ₄ ²⁻ , Fe, Al, Be, Mn, Cu, Sr	5-й	Стабильно экстремально грязная

Каждый из них занимает площадь от 20 000 до 100 000 м², имеет высоту 50–100 м и более, угол откоса около 37°. Такая большая крутизна склонов способствует их подверженности катастрофической водной эрозии. Смыв породы варьирует от 720 до 4830 т в год с отвала.

Физико-химическая миграция характеризуется интенсивным выносом сернокислыми водными

потоками водорастворимых простых катионов (Sr, Li, Zn, Cu, Pb, Cd, Ba, Hg, Ag, Y, La, Ca) и комплексных анионов (P, V, Mn, Cr). В табл. 5 представлены результаты спектрального анализа проб отвальной породы и стоков. В табл. 6 приведена характеристика размещения породных отвалов угольных шахт в Луганской области в разрезе бассейнов рек.

Таблица 5

Особенности взаимосвязи химического состава отвальной породы и поверхностного водного стока по результатам спектральных анализов / Peculiarities of the relationship between the chemical composition of the waste rock and surface runoff from the results of spectral analyzes

Элемент	Кларк, %	Содержание, %	
		Отвальная порода	Поверхностный сток
Pb	2·10 ⁻³	0,0015	0,0002
Cu	0,01	0,003	0,003
Ti	0,58	0,3	0,03
V	0,016	0,01	0,015
Mn	0,08	0,05	0,150
Ni	0,018	0,005	0,015
Cr	0,033	0,007	0,005
Co	0,01	0,001	0,015
Sn	N·10 ⁻⁴	0,0007	0,0002
Li	0,004	0,007	0,005
Zn	0,004	0,007	0,03

Таблица 6

Характеристика размещения породных отвалов / Characteristics of the placement of waste heaps

Река	Длина в пределах области, км	Площадь водосбора, км ²	Кол-во отвалов	Площадь, га		Кол-во породы в отвалах, млн м ³	Кол-во породы на водосборе, тыс. м ³ /км ²
				под отвалами	поверхности отвалов		
Лугань	196	3245	73	703,0	880,2	127,3	39,2
Б. Каменка	110	1425	78	436,1	546,0	85,80	60,2
Нагольная	55	948	59	228,3	285,8	48,63	51,3
Должик	35	768	57	326,8	409,2	64,65	84,2
Камышная	70	1041	37	188,8	236,4	38,45	36,9
С. Донец	265	306	36	176,1	220,5	64,28	210,1
Лозовая	63	1097	12	94,8	118,7	35,60	32,5
Всего	794	8830	352	2153,9	2696,7	464,7	
В среднем				6,12	7,66	1,32	52,6

Ниже представлены результаты эрозионно-гидрологических расчетов, выполненных для отвалов. В формулах использованы следующие обозначения: $h_{P\%}^*$ – максимальный суточный слой талого стока с вероятностью превышения $P\%$, мм; $a_{P\%}$ – максимальная часовая интенсивность водоотдачи снега, мм/ч; ϕ' – коэффициент редукции, учитывающий снижение максимального модуля стока с увеличением площади водосбора; $h_{P\%}$ – слой стока, мм, за период весеннего снеготаяния или выпадения жидких осадков с обеспеченностью (вероятностью превышения) $P\%$; $W_{P\%}$ – объем стока; ϕ – коэффициент стока; $H_1\%$ – суточный слой осадков с вероятностью превышения $P=1\%$, мм; $\lambda_{P\%}$ – коэффициент перехода от вероятности превышения 1 или 50 % к расчетным вероятностям превышения $P\%$; $q_{P\%}$ – максимальный модуль стока с вероятностью превышения $P\%$ м³/(с·км²); $M_{s,P\%}$ – модуль стока наносов за период весеннего снеготаяния или за дождевой паводок с обеспеченностью $P\%$, т/га; M_s – средний модуль годового стока наносов, т/га; h_s – слой смывтой породы за расчетный период, мм; W_s – ее объем, м³.

Тип ручейковой сети определяли по данным натурных обследований. Расчет смыва породы с откосов отвалов в виде модуля стока наносов за период весеннего снеготаяния рассчитывали по формуле [11] $M_{s,P\%} = h_{P\%} a b k_1$, где $h_{P\%}$ – слой стока заданной обеспеченности, мм; $M_{s,P\%}$ – модуль стока наносов той же обеспеченности, т/га; a, n – параметры, зависящие от типа ручейковой сети на склоне; b – коэффициент, учитывающий состояние поверхности; k_1 – коэффициент, учитывающий крутизну склона $I_{ск}$, при $I_{ск} > 100\%$ $k_1 = 0,01 I_{ск}$; при $I_{ск} < 100\%$ k_1 принимается равным единице.

Объем смывтой породы вычисляется по формуле [11] $W_s, P\% = M_s F$, где M_s – модуль смыва за период таяния снега (модуль стока наносов за дождь); F – площадь склона.

Модуль ливневого стока наносов рассчитывали по формуле [11] $M_{s,P\%} = h_{P\%} a_1 b k_1$, где $h_{P\%}$ – слой дождевого стока заданной обеспеченности $P\%$, мм; $M_{s,P\%}$ – модуль стока наносов той же обеспеченности, т/га; a_1 – параметр, зависящий от типа ручейковой сети на склоне и от растительного покрова.

Обеспеченность дождевого стока принималась равной 10 %; параметр a_1 принят равным (для II типа ручейковой сети) 4,9; $b = 1,0$.

Значения модуля стока наносов за периоды талого и дождевого стока раздельно и в сумме представлены в табл. 7.

Таблица 7

Модули стока наносов заданной обеспеченности / Modules of sediment discharge of a given security

$P\%$	$M_{s,P\%л}$, т/га	$M_{s,P\%в.п.}$, т/га	$\sum M_s$, т/га
5	3654	2,3	3656,3
25	1323	0,6	1323,6

На основании полученных значений в табл. 7 произведены расчеты поступления загрязняющих веществ в окружающую среду и в бассейны рек со смывтой с отвалов угольных шахт породой в Луганской области (табл. 8, 9).

Таким образом, основной вклад в осложнение экологической ситуации в Донбассе вносят предприятия угольной промышленности. При этом особенно высокую техногенную нагрузку испытывают поверхностные и подземные воды региона. Наиболее уязвимыми оказались малые реки, многие из которых 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. Всё это требует разработки и реализации действенных мер, направленных на предотвращение (или минимизацию) негативного антропогенного воздействия на поверхностную и подземную гидросферу данного региона, оздоровление здесь в целом экологической обстановки.

Таблица 8

Поступление загрязнителей с отвалов в окружающую среду / Release of pollutants from dumps into the environment

Элемент	Содержание в отвальной породе, %	Поступление в окружающую среду, т		
		с 1 га поверхности отвала	с одного отвала	со всех отвалов
Ti	0,3	8,58	65,72	23134
P	0,07	2,00	15,32	5393
Mn	0,05	1,43	10,95	3856
Ba	0,03	0,86	6,59	2319
Zr	0,02	0,57	4,37	1537
V	0,01	0,29	2,22	782
Cr	0,007	0,20	1,53	539
Li	0,007	0,20	1,53	539
Zn	0,007	0,20	1,53	539
Ni	0,005	0,14	1,07	378
Cu	0,003	0,086	0,659	232
Pb	0,0015	0,043	0,329	116
Y	0,0015	0,043	0,329	116
Ga	0,001	0,029	0,222	78,2
Co	0,001	0,029	0,222	78,2
La	0,001	0,029	0,222	78,2
Sc	0,001	0,029	0,222	78,2
Sn	0,0007	0,020	0,153	53,9
W	0,0003	0,008	0,061	21,6
Ge	0,0002	0,006	0,046	16,2
Bi	0,0002	0,006	0,046	16,2
Be	0,0002	0,006	0,046	16,2
Nb	0,0002	0,006	0,046	16,2
Mo	0,0002	0,006	0,046	16,2
Hg	0,00001	0,0003	0,002	0,8
Сумма	0,518	14,81	113,5	39952

Таблица 9

Поступление загрязнителей с отвалов в бассейны рек, кг/км² / Release of pollutants from dumps into river basins, kg / km²

Элемент	Реки						
	Лугань	Б. Каменка	Нагольная	Должик	Камышная	С. Донец	Лозовая
Ti	1479	3595	4088	4876	2333	7729	719
P	345	838	953	1137	544	1802	168
Mn	246	599	681	813	389	1288	120
Ba	148	360	410	489	234	775	72,1
Zr	98,3	239	272	324	155	514	47,8
V	50,0	121	138	165	78,8	261	24,3
Cr	34,4	83,7	95,2	114	54,3	180	16,7
Li	34,4	83,7	95,2	114	54,3	180	16,7
Zn	34,4	83,7	95,2	114	54,3	180	16,7
Ni	24,1	58,5	66,6	79,4	38,0	126	11,7
Cu	14,8	36,0	41,0	48,9	23,4	77,5	7,2
Pb	7,40	18,0	20,5	24,4	11,7	38,7	3,6
Y	7,40	18,0	20,5	24,4	11,7	38,7	3,6
Ga	5,00	12,1	13,8	16,5	7,9	26,1	2,4
Co	5,00	12,1	13,8	16,5	7,9	26,1	2,4
La	5,00	12,1	13,8	16,5	7,9	26,1	2,4
Sc	5,00	12,1	13,8	16,5	7,9	26,1	2,4
Sn	3,44	8,4	9,5	11,4	5,4	18,0	1,7
W	1,37	3,3	3,8	4,5	2,2	7,2	0,7
Ge	1,04	2,5	2,9	3,4	1,6	5,4	0,5
Bi	1,04	2,5	2,9	3,4	1,6	5,4	0,5
Be	1,04	2,5	2,9	3,4	1,6	5,4	0,5
Nb	1,04	2,5	2,9	3,4	1,6	5,4	0,5
Mo	1,04	2,5	2,9	3,4	1,6	5,4	0,5
Hg	0,05	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,0
Всего	2553	6207	7059	8420	4029	13345	1242

Литература

1. 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.

2. Zakrutkin V.E., Sklyarenko G.Yu., Reshetnyak O.S., Gibkov E.V., Rodina A.O. Environmental problems of coal mining territories (water pollution) // 16th International multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2016. Vienna, Austria, 2016. P. 87–95.

3. Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР. М. : Гос. науч.-техн. изд-во литературы по геологии и охране недр, 1963. Т.1. 1210 с.

4. Закруткин В.Е., Склярченко 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.

5. Клименко М.О., Прищепка А.М., Вознюк Н.М. Мониторинг довкілля. Киев : Академія, 2006. 359 с.

6. Слюсарев А.А. Природа Донбасса. Донецк : Донбасс, 1988. 176 с.

7. Никаноров А.М. Гидрохимия. Л. : Гидрометеоздат, 1985. 232 с.

8. Региональные технические изменения геологической среды Донбасса под влиянием горных работ. Киев : Знання, 1997. 216 с.

9. Nazarenko O.V. Evaluation of surface water quality in the zone of influence of coal industry (East Donbass) // 16th International multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2016. Hydrology and Water Resources: Forest ecosystems. Vienna, Austria, 2016. P. 113–119.

10. Закруткин В.Е., Гибков Е.В., Склярченко Г.Ю., Решетняк О.С. Сравнительная оценка качества поверхностных и подземных вод Восточного Донбасса по гидрохимическим показателям // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки. 2016. № 2. С. 91–99.

11. Сазонов И.Н., Штофель М.А., Пилипенко А.И. Система мероприятий против эрозии почв. Киев : Вища школа, 1984. 248 с.

References

1. Zakrutkin V.E., Ivanik V.M., Gibkov E.V. Ekologo-geograficheskii analiz riskov restrukturyzatsii ugol'noi promyshlennosti v Vostochnom Donbasse [Ecological and

geographical analysis of the risks of restructuring the coal industry in the Eastern Donbass]. *Izv. RAN. Ser. geograficheskaya*. 2010, No. 5, pp. 94-102.

2. Zakrutkin V.E., Sklyarenko G.Yu., Reshetnyak O.S., Gibkov E.V., Rodina A.O. Environmental problems of coal mining territories (water pollution). *16th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2016*. Vienna, Austria, 2016, pp. 87-95.

3. *Geologiya mestorozhdenii uglya i goryuchikh slantsev SSSR* [Geology of coal deposits and combustible shales of the USSR]. Moscow: Gos. nauch.-tekhn. izd-vo literatury po geologii i okhrane neдр, 1963, vol. 1, 1210 p.

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

5. Klimenko M.O., Prishchepa A.M., Voznyuk N.M. *Monitoring dovkillya* [Monitoring of the environment]. Kiev: Akademiya, 2006, 359 p.

6. Slyusarev A.A. *Priroda Donbassa* [The nature of Donbass]. Donetsk: Donbass, 1988, 176 p.

7. Nikanorov A.M. *Gidrokimiya* [Hydrochemistry]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1985, 232 p.

8. *Regional'nye tekhnicheskie izmeneniya geologicheskoi sredy Donbassa pod vliyaniem gornykh robot* [Regional technical changes in the geological environment of Donbass under the influence of mining operations]. Kiev: Znanie, 1997, 216 p.

9. Nazarenko O.V. Evaluation of surface water quality in the zone of influence of coal industry (East Donbass). *16th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2016. Hydrology and Water Resources: Forest ecosystems*. Vienna, Austria, 2016, pp. 113-119.

10. Zakrutkin V.E., Gibkov E.V., Sklyarenko G.Yu., Reshetnyak O.S. Sravnitel'naya otsenka kachestva poverkhnostnykh i podzemnykh vod Vostochnogo Donbassa po gidrokhimicheskim pokazatelyam [Comparative assessment of the quality of surface and groundwater in the Eastern Donbass in hydrochemical indicators]. *Izv. vuzov. Sev.-Kavk. region. Estestv. nauki*. 2016, No. 2, pp. 91-99.

11. Sazonov I.N., Shtofel' M.A., Pilipenko A.I. *Sistema meropriyatii protiv erozii pochv* [System of measures against soil erosion]. Kiev: Vishcha shkola, 1984, 248 p.