

УДК 502.5:504.5(477.63)

**А.А. Кроик**

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПОДЗЕМНЫХ ВОД  
НА ТЕРРИТОРИИ РАЗМЕЩЕНИЯ  
ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Национальный университет им. Олеся Гончара,  
г. Днепропетровск, Украина  
no-name2001@yandex.ru

*Оценены особенности и источники формирования современного экологического состояния подземных вод Западного Донбасса в зоне расположения фильтрующих прудов-накопителей шахтных вод. Определены закономерности метаморфизации и уровень экологической безопасности подземных вод различных водоносных горизонтов. Выделены приоритетные компоненты-токсиканты и определены сформировавшиеся зоны загрязнения подземных вод, для которых необходимо проводить мониторинг и прогнозирование их экологического состояния.*

**Ключевые слова:** подземные воды, тяжелые металлы, экологическая безопасность.

**Введение.** В XXI веке антропогенные изменения в природной среде приобрели глобальный характер. Особенно это проявляется в регионах сосредоточения основных горнодобывающих, химических и энергетических отраслевых комплексов. К ним относится Приднепровский регион, в котором одновременно развита горнодобывающая, металлургическая и металлообрабатывающая промышленность. Несмотря на резкое сокращение объемов производства, экологическое состояние региона имеет тенденцию к ухудшению и, как следствие, продолжает обостряться проблема загрязнения объектов окружающей среды [1]. Исследование их состояния в таких регионах показало, что наибольшую экологическую нагрузку оказывают те предприятия, в сбросах и твердых отходах которых содержатся токсические компо-

© А.А. Кроик, 2014

ненты, в том числе и тяжелые металлы. Рассеивание тяжелых металлов в окружающей среде создает неблагоприятную эколого-геохимическую обстановку, которая отрицательно сказывается на здоровье населения [2]. Снижение уровня техногенного воздействия на экосистемы является приоритетной задачей экологической безопасности. От комплексности оценки экологического состояния объектов окружающей среды зависит эффективность принятия решений и реализация политики устойчивого развития территории.

Среди объектов окружающей среды, испытывающих антропогенное влияние промышленных предприятий, жизненно важной является гидросфера и ее экологическая безопасность. Решение данной задачи требует использования специальных научно-обоснованных методов исследования, основные положения которых изложены в работах [3 – 6]. В то же время множественный характер факторов изменений окружающей среды в горнодобывающих районах обуславливает специфику различных составляющих антропогенного влияния на гидросферу. Среди техногенных процессов, сопровождающих добычу угля, одним из основных является вынос на поверхность больших объемов шахтных вод, загрязненных химическими элементами и соединениями. Поскольку подземные воды верхних водоносных горизонтов Западного Донбасса используются для децентрализованного водоснабжения, то оценка их химического состава и динамики процесса техногенной метаморфизации представляет не только теоретический, но практический интерес для обеспечения экологической безопасности гидросферы [7].

Цель данной работы – исследование закономерностей, особенностей и тенденций формирования гидрохимического состава подземных вод в зоне расположения фильтрующих прудов-накопителей шахтных вод Западного Донбасса для оценки их экологической безопасности.

**Методика эксперимента.** Существует несколько направлений, связанных с исследованием влияния шахтных вод на состояние гидросферы. Одно из них включает оценку содержания компонентов-загрязнителей с последующим распределением вод по классам опасности с использованием коэффициента концентрации (КК). Другое направление связано с изучением особенностей изменения первичного состава подземных вод под влиянием шахтного водоотлива с привлечением многомерного факторного анализа методом главных компонент. В [8 – 9] в качестве факторов, которые могут влиять на формирова-

ние химического состава шахтных вод, были изучены: минерализация воды, глубина проведения горных работ, мощность разрабатываемого угольного пласта, марочный состав и показатели качества угля.

В нашей работе для оценки экологической безопасности подземных вод района Западного Донбасса определены закономерности преобразования химического состава вод в системе шахтные воды – воды прудов-накопителей – подземные воды зоны влияния инфильтрационных потерь. Для этого были проведены специальные мониторинговые наблюдения, которые включали ежегодные четырех- и шестикратные одномоментные отборы проб воды в каждом из объектов с последующим определением солевого и микрокомпонентного составов шахтных вод десяти шахт, а также четырех прудов-накопителей, в которые сбрасываются шахтные воды. Эти пруды расположены в балках Косьминой, Таранова, Николиной и Свидовок. Параллельно такой же комплекс исследований был выполнен для подземных вод различных водоносных горизонтов в зоне расположения прудов-накопителей.

Для получения достоверной оценки тенденций накопления и распределения тяжелых металлов использовали подход, состоящий из эколого-гидрохимической оценки содержания токсических элементов в системе шахтные воды прудов-накопителей – подземные воды. Этот подход включает группирование токсических элементов по классам опасности и санитарно-гигиенической критериям, в основе которых лежит показатель кратности превышения ПДК.

Солевой состав шахтных и подземных вод определяли экспериментально по стандартным методикам, а содержание микроэлементов – с применением метода атомно-абсорбционной спектроскопии [10].

**Результаты и их обсуждение.** Изучение химического состава шахтных вод Западного Донбасса позволило оценить его особенности для каждой из десяти шахт и выделить три основные группы, характеризующиеся величиной минерализации и объемом водоотлива. Первая группа – воды с минерализацией  $< 4$  г/дм<sup>3</sup> и водоотливом от 3,6 до 9 тыс. м<sup>3</sup>/ч, вторая – с минерализацией от 4,0 до 10,0 г/дм<sup>3</sup> и водоотливом от 1 до 3 тыс. м<sup>3</sup>/ч, третья – с минерализацией  $> 10$  г/дм<sup>3</sup> и водоотливом от 0,3 до 1 тыс. м<sup>3</sup>/ч. Установлено, что во всех трех группах величина минерализации вод линейно связана с содержанием ионов хлора ( $r = 0,99$ ). Для второй и третьей групп содержание последних составляет 50 – 60% от величины общей минерализации, а для первой – 30%. Расчетный вынос солей с шахтными водами существенно

отличается и составляет, т/год: для первой группы – 14130; для второй – 9670; для третьей – 15200. Таким образом, в Западном Донбассе шахтные воды с более высокой минерализацией выносят на поверхность относительно меньшее количество солей, чем с маломинерализованными сточными водами – до 40% общешахтных солевых сточных вод.

Проведенные исследования позволили выделить в качестве приоритетных параметров, характеризующих гидрохимический тип шахтных вод Западного Донбасса, две величины: минерализацию и отношение между содержанием ионов хлора и ионов сульфата. Шахтные воды изучаемого района представлены двумя гидрохимическими типами: хлоридным и хлоридно-сульфатным. Хлоридно-сульфатный тип присущ шахтным водам с минерализацией от 2,2 до 8,2 г/дм<sup>3</sup>, а хлоридный – от 8,2 (зона замедленного водообмена) до 39,6 г/дм<sup>3</sup> (зона затрудненного водообмена). В соответствии с такой классификацией оценивали и гидрохимический тип вод в прудах-накопителях, для которых также прослеживается линейная зависимость между величиной минерализации и гидрохимическим типом воды. Коэффициент, представляющий отношение величины мг-эквивалентных содержаний ионов хлора и ионов сульфата, позволяет с определенной точностью прогнозировать величину минерализации воды в прудах-накопителях. Так, в интервале изменения минерализации шахтных вод от 8 до 10 г/дм<sup>3</sup> значение параметра, характеризующего отношение эквивалентных содержаний ионов хлора и ионов сульфата, достигает 7, в диапазоне величин минерализации от 12 до 16 г/дм<sup>3</sup> этот показатель увеличивается до 14, а с дальнейшим ростом минерализации от 26 до 33 г/дм<sup>3</sup> – достигает 26. Выявленные закономерности и предложенные параметры позволяют оценить возможность экологических рисков изменения солевого состава подземных вод зоны влияния техногенной инфильтрации солеобразующими компонентами шахтных вод. Поскольку гидрохимический тип шахтных вод Западного Донбасса определяется преимущественно содержанием ионов хлора, которое строго нормируется, то, соответственно, возникает вероятность загрязнения ионами хлора подземных вод.

Выполненные исследования позволили оценить влияние фильтрующих прудов-накопителей на химический состав подземных вод для этажно развитых водоносных горизонтов покровных пород. Установлено, что при эксплуатации прудов-накопителей в подземных водах, приуроченных к горизонтам четвертичных и сарматских отложений,

пресные воды гидрокарбонатно-сульфатного типа с исходной минерализацией от 0,3 до 1,0 г/дм<sup>3</sup> сменились на хлоридно-натриевые с минерализацией от 4 до 12 г/дм<sup>3</sup>, при этом содержание ионов хлора и натрия достигало 50%. Такие изменения состава подземных вод связаны также с особенностями геологического строения территории, на которой расположены пруды-накопители. В днищах некоторых прудов-накопителей сарматские пески обнажаются или залегают неглубоко, поэтому происходит активная фильтрация шахтных вод.

Выполненные исследования позволили выделить зону влияния на гидрохимический тип воды в прудах-накопителях. Так, например, для межигорского водоносного горизонта минерализация воды вблизи пруда-накопителя (балка Таранова) составляла 14,5 г/дм<sup>3</sup>, а на расстоянии > 1,5 км уменьшалась в 10 раз (до 1,4 г/дм<sup>3</sup>). Такие же закономерности наблюдались для водоносного горизонта обуховских отложений. В этой зоне до начала эксплуатации пруда минерализация подземных вод находилась в диапазоне от 0,2 до 1,5 г/дм<sup>3</sup>, при этом тип воды был гидрокарбонатно-натриевый. За десятилетний период эксплуатации данного пруда минерализация воды в нем увеличилась от 3,9 до 14,8 г/дм<sup>3</sup>. Соответственно, этот процесс сопровождался повышением концентрации ионов хлора от 2,8 до 7,9 г/дм<sup>3</sup>. Аналогичная ситуация наблюдалась в зоне расположения пруда балки Николиной: минерализация в верхнем водоносном горизонте достигла 11 г/дм<sup>3</sup>, а зона гидрогеохимического влияния данного пруда-накопителя составляла 1,5 км. Вне зоны влияния пруда уменьшение минерализации подземных вод сопровождалось снижением концентрации ионов хлора с 8,5 до 0,4 г/дм<sup>3</sup>. В водах, приуроченных к киевскому горизонту, величина минерализации изменялась от 0,13 до 41 г/дм<sup>3</sup> в зависимости от расстояния до пруда-накопителя. Наиболее низкая минерализация соответствовала водам глубоко залегающего горизонта бучакских отложений, где минерализация не превышала 1,5 г/дм<sup>3</sup>.

Таким образом, по результатам мониторинговых наблюдений установлен размер зон метаморфизации солевого состава подземных вод, который зависит от гидрогеофильтрационного положения определенного водоносного горизонта относительно ложа пруда-накопителя шахтных вод (глубины) и составляет от 1,5 до 2,0 км.

Экологическая безопасность гидросферы Западного Донбасса определяется не только изменением состава солевого комплекса подземных вод, но и возможным накоплением в них тяжелых металлов.

По результатам многолетних исследований были получены данные о микрокомпонентном составе шахтных вод (таблица).

*Микроэлементный состав шахтных вод Западного Донбасса*

Шахта	Среднее содержание микроэлементов, мг/ дм <sup>3</sup>								
	Fe	Mn	Zn	Ni	Co	Cr	Cu	Pb	Cd
Первомайская	0,260	0,063	0,053	0,036	0,042	0,008	0,012	0,045	0,008
Степная	0,119	0,113	0,054	0,036	0,036	0,008	0,012	0,037	0,006
Юбилейная	0,328	0,093	0,058	0,046	0,045	0,009	0,012	0,039	0,007
Терновская	0,250	0,087	0,089	0,098	0,087	0,016	0,019	0,151	0,026
Павлоградская	0,184	0,467	0,068	0,061	0,045	0,013	0,015	0,065	0,014
им. Героев Космоса	0,466	0,323	0,065	0,177	0,269	0,040	0,042	0,397	0,046
Благодатная	0,307	0,651	0,074	0,122	0,172	0,032	0,029	0,194	0,029
им. Ленинского Комсомола	0,228	0,275	0,071	0,134	0,117	0,030	0,031	0,217	0,031
Самарская	0,283	0,724	0,056	0,191	0,148	0,030	0,041	0,298	0,062
Днепровская	0,165	0,347	0,069	0,115	0,159	0,017	0,027	0,153	0,021

Распределение тяжелых металлов по величине их содержания в шахтных водах Западного Донбасса имеет вид: Fe > Mn > Pb > Zn > Ni > Cu > Co > Cd > Cr > Ag.

Доказано, что между величиной минерализации и содержанием микроэлементов существует линейная зависимость, которая может быть представлена следующими уравнениями линейной регрессии:

$$\begin{aligned}
 Y_{Pb} &= 7,7x + 37,3 \pm 7,1; & Y_{Cd} &= 0,87x + 10,2 \pm 9,2; \\
 Y_{Ni} &= 4,1x + 46,9 \pm 8,5; & Y_{Cr} &= 0,96x + 11,5 \pm 3,3; \\
 Y_{Zn} &= 0,35x + 52,5 \pm 9,3; & Y_{Cu} &= 0,80x + 8,3 \pm 2,7.
 \end{aligned}$$

Полученные зависимости позволяют рассчитать долю каждого из элементов в общем поступлении тяжелых металлов в окружающую среду. Наличие высоких коэффициентов корреляции ( $r = 0,82$ ;  $r = 0,90$ ) между ионами хлора и Ni, Cr, Cu, Pb указывает на то, что эти элементы (относятся к I и II классу опасности) будут мигрировать в виде хлоридных комплексов, которые характеризуются высокими константами

устойчивости и подвижности, что необходимо учитывать в процессах их диффузионного переноса и сорбции в условиях подземного (гидро-геофильтрационного) потока.

Следующим этапом изучения возможного поступления микроэлементов в подземные воды является оценка содержания микроэлементов в водах прудов-накопителей Западного Донбасса. Установлено, что диапазон концентраций изученных элементов составляет, мг/дм<sup>3</sup>: железо – 0,2 – 0,3, марганец – 0,1 – 0,2, цинк – 0,05 – 0,07, никель – 0,04 – 0,1, хром – 0,02 – 0,03, медь – 0,01 – 0,02, кадмий – 0,01 – 0,06, свинец – 0,07 – 0,12, серебро – 0,004 – 0,027, кобальт 0,04 – 0,15. При этом содержание каждого из микроэлементов в сбросных шахтных водах различных прудов-накопителей зависит от объема и состава этих вод как их основного первоисточника, что отражается в разнице минимальных и максимальных концентраций. По этому признаку изученные микроэлементы можно объединить в две группы. В первую группу входят свинец, медь, цинк, железо, марганец и хром, концентрации которых имеют невысокую изменчивость: их максимальные значения превышают минимальные в 1,5 – 2 раза. Во вторую группу входят кадмий, кобальт и никель, максимальные концентрации которых в 50% случаев превышают минимальные от 2,5 до 6 раз.

Проведенные исследования по оценке содержания микроэлементов в подземных водах показали, что наибольшему влиянию прудов-накопителей подвергаются воды наиболее приближенных к придонным верхним водоносным горизонтам, вследствие чего превышение ПДК для кадмия наблюдалось в 99% опробований, для свинца – в 67, марганца – в 80%. В водах более заглубленного харьковского горизонта процессы метаморфизации привели к изменениям, которые характеризуются превышением ПДК для свинца в 70% опробований, для марганца – в 80, для кадмия – в 99, для меди – в 80%. Для вод, относительно защищенных от техногенной инфильтрации киевского и бучакского горизонтов, содержание микроэлементов не превышает ПДК. Установлено, что динамика распределения микроэлементов в подземных водах верхних водоносных горизонтов и в прудах-накопителях совпадает и в целом имеет тенденцию к росту их содержания. При этом наблюдается синхронность в динамике изменения содержания микроэлементов в прудах-накопителях и подземных водах, но эта зависимость не носит линейный характер.

В Западном Донбассе на экологическую безопасность грунтовых вод аллювиальных отложений дополнительно оказывают влияние

отвалы шахтных пород, которые слагают дамбы, ограждающие пруды-накопители. За счет этого происходит возрастание значений рН подземных вод, которые находятся в диапазоне от 2,6 до 4,2, что связано с повышенным содержанием в шахтных породах органических и сульфатных (пирит и др.) соединений. Одновременно с повышением рН подземных вод резко возрастает содержание микроэлементов, максимальные значения которых достигают, мкг/дм<sup>3</sup>: для железа – 12000, цинка – 310, меди – 125, никеля – 475. Наименее загрязненными тяжелыми металлами оказались воды киевского и бучакского горизонтов. Различия в миграционно-геохимическом поведении микроэлементов для загрязненных и незагрязненных подземных вод выявлены по данным корреляционного анализа. Установлено, что для вод берекского горизонта характерны следующие устойчивые парные связи: Fe – Mn, Ni – Co, Co – Pb, Co – Mn и тройная ассоциация Cu – Zn – Ni. Для вод харьковского горизонта присущи положительные парные связи Fe – Zn, Fe – Mn, Zn – Cr, Mn – Cd, Co – Pb, Co – Cd, Ni – Co. Общими для этих двух горизонтов являются следующие корреляционные связи: Co – Pb, Ni – Co. Для этих же горизонтов установлены достоверные положительные связи между макро- и микросостовами подземных вод, а именно: между величинами концентраций ионов хлора и таких микроэлементов, как свинец, кадмий, кобальт, марганец и медь. Для вод киевского и бучакского горизонтов количество устойчивых связей значительно меньше (Cu – Cd, Cd – Ni), к тому же отсутствуют связи между микроэлементами и минерализацией.

**Выводы.** Таким образом, результаты мониторинговых наблюдений и прогнозная оценка содержания микроэлементов в грунтовых водах позволили установить, что складирование жидких отходов в фильтрующих прудах-накопителях шахтных вод без сорбционно-изолирующих экранов привело к локальной техногенной метаморфизации и эколого-гидрогеохимическому загрязнению вод верхних водоносных горизонтов. Зона метаморфизации ограничивается радиусом, составляющим 1,5 – 2 км. Размер зоны и степень метаморфизации зависят от периода эксплуатации хранилища жидких отходов, условий фильтрации, первичного химического состава сточных вод. Наиболее эффективным решением проблемы обеспечения экологической безопасности подземных вод на территориях с развитой горнодобывающей промышленностью является создание геохимических экранов в прудах-накопителях, что позволит снизить степень



загрязнения подземных вод тяжелыми металлами за счет консервации последних на этих экранах.

**Резюме.** Оцінені особливості та джерела формування сучасного екологічного стану підземних вод Західного Донбасу у зоні розташування фільтруючих ставків-накопичувачів шахтних вод. Визначені закономірності метаморфізації та рівень екологічної безпеки підземних вод для різних водоносних горизонтів. Виділені пріоритетні компоненти-токсиканти і визначені сформовані зони забруднення підземних вод, для яких необхідно проводити моніторингування та прогнозування їх екологічного стану.

*A.A. Kroik*

## THE GROUNDWATER ENVIRONMENTAL SAFETY IN THE AREA OF MINING ENTERPRISES DISPOSITION

### Summary

The particularities and sources of the groundwater in the area of disposition of modern environment conditions of tailing filtrative ponds estimated. The regularities of metamorphisation and environmental safety level of groundwater of different aquifers are determined. As priority as groundwaters pollution formed zones components are selected. It is necessary to conduct monitoring and forecast their environment conditions.

### Список использованной литературы

- [1] *Рудько Г.І., Шкіца Л.Е.* Екологічна безпека та раціональне природокористування в межах гірничопромислових і нафтогазових комплексів. – Івано-Франківськ, 2001. – 525 с.
- [2] *Стусь В.П.* // Довкілля та здоров'я. – 2009. – № 2. – С. 20–24.
- [3] *Мироненко В.А., Румынин В.Г., Учайев В.К.* Охрана подземных вод в горнодобывающих районах. – Л.: Недра, 1980. – 320 с.
- [4] *Тютюнова Ф.И.* Гидрогеохимия техногенеза. – М.: Наука, 1987. – 318 с.
- [5] *Крайнов С.Р., Швец В. М.* Гидрогеохимия. – М.: Недра, 1992. – 462 с.
- [6] *Шестопалов В.М, Гудзенко В.В., Руденко Ю.Ф., Яковлев Е.А.* // Вісн. НАН України. – 2005. – № 5. – С. 32–39.

- [7] *Качинский А.Б.* Екологічна безпека України: системний аналіз, перспективи покращення. – К.: НІСД, 2001. – 312 с.
- [8] *Скворцов Е.А.* // Изучение режима подземных вод с учетом влияния хозяйственной деятельности. – М.: Недра, 1989. – С. 95–99
- [9] *Blazejewski M., Michalska J.* // Zech. Nauk. Sozol. i Sozotech. – 1991. – N31. – S. 69–78.
- [10] *Карякин А.В., Грибовская И.Ф.* Методы оптической спектроскопии и люминисценции в анализе природных и сточных вод. – М.: Химия, 1987. – 304 с.

Поступила в редакцию 16.04.2013 г.