

РУДНЫЕ ОТВАЛЫ КАК ФАКТОР ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГРУНТОВ, ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ

На основании результатов теоретического и экспериментального моделирования отвалов вскрышных и скальных пород предположено, что тяжелые по массе рудные отвалы в отличие от легких отвалов вскрышных пород могут привести к перераспределению водного баланса прилегающих территорий и развитию процессов подтопления, а также оползневых явлений. Кроме того расчеты солевого стока показали, что рудные отвалы являются объектами-загрязнителями. Обоснована малая эффективность санитарной промывки р. Ингулец и предложены практические решения по улучшению водохозяйственной ситуации Криворожского региона.

На основі результатів теоретичного і експериментального моделювання відвалів розкривних і скальних порід запропоновано, що важкі по масі рудні відвали на відміну від легких відвалів розкривних порід можуть призвести до перерозподілу водного балансу прилеглої території і розвитку процесів підтоплення, а також зсувних явищ. Окрім цього розрахунки солевого стоку показали, що рудні відвали являються об'єктами-забруднювачами. Обґрунтована мала ефективність санітарної промивки р. Інгулець і запропоновані практичні рішення щодо поліпшення водогосподарської ситуації Криворізького регіону.

The results of theoretical and experimental researches are suggested that heavy mass iron-ore dumps unlike lung overburden dumps can lead to a redistribution of the water balance on surrounding areas and the development of flooding processes and landslides. Besides salt effluent calculations are showed that the ore dumps are polluting the environment. The low efficiency of sanitary washing of the Ingulets river is substantiated and the practical solutions to improve the water situation in the Krivoy Rog region are proposed.

Введение. Анализ литературных данных показал, что отвал горных пород не рассматривается как источник загрязнения прилегающих территорий вследствие инфильтрации вод через его тело в подземные воды [1, 2 и др.]. Как правило, фиксируются накопления продуктов выветривания в окружающей среде из-за ветрового переноса (пыления) и вымывание растворимых химических компонентов атмосферными осадками с последующей инфильтрацией в грунты и подземные воды. Особое внимание уделяется значительному земельному отводу под отвалы в большинстве случаев в ущерб сельскому хозяйству. Ограничения по высоте, объему, массе отвалов вводятся только из расчета устойчивости их откосов. Вскользь упоминается о возможном влиянии массы отвала на породное основание, о химическом выветривании, протекающем в верхних слоях, о выходах источников из-под отвала и переходе подавляющей части атмосферных осадков в подземный водозабор.

Целью исследований является обоснование отвалов как фактора загрязнения прилегающих территорий. Для изучения причин постоянного ухудшения водохозяйственной ситуации юга г. Кривого Рога рассчитан солевой сток по участкам долины р. Ингулец вблизи Левобережного отвала на основе анализа данных химического состава грунтов, донных отложений и воды р. Ингулец, ее

поверхностных притоков (источников) [2, 3], а также рассмотрены причины слабой эффективности санитарной промывки р. Ингулец.

Изложение основного материала. В качестве объекта исследований выступает рудный Левобережный отвал Южного горно-обогачительного комбината (ЮГОК), где сланцы, кварциты и отходы обогащения окисленные железистые кварциты в соотношении 1:1 [3]. Между сланцами и железистыми кварцитами существует контраст в содержании основной группы малых элементов (Ni, Cr, Co, Ti, V). В железистых кварцитах концентрация этих элементов меньше в $20 \div 30$ раз, а по некоторым элементам 100 раз. Содержание марганца в железистых кварцитах в 5 раз превышает его концентрацию в сланцах [3].

Теоретические и экспериментальные исследования показали, что отвалы рыхлых осадочных вскрышных пород и рудные отвалы по-разному влияют на подстилающие их слои [4]. Отвалы вскрышных пород, как правило, имеют небольшую высоту (до 50 м), оказываемое ими давление на подстилающие породы приводит к несущественным изменениям гидрогеологических показателей водовмещающих толщ, а, следовательно, не ведет к значительному перераспределению водного баланса и развитию процессов подтопления и оползневых явлений.

В отличие от отвалов вскрышных пород рудные отвалы со значительной массой крупных обломков железистых кварцитов существенно изменяют коэффициенты фильтрации водовмещающих толщ. В начале отсыпки рудного отвала защитный экран является геомеханическим барьером для вертикальной миграции тяжелых металлов, поскольку глинистые породы обладают сорбционными свойствами. С ростом давления от массы отвала на подстилающие породы начинается фильтрация внутриотвальных вод в подземные воды, так как нарушается целостность защитного экрана от действия значительных неравномерно распределенных нагрузок от отвала. Современные тектонические движения вдоль разломов, а также взрывы во время добычи железистых кварцитов открытым способом усиливают фильтрационные свойства лёсовидных суглинков и способствуют формированию вдоль них зон активной фильтрации. Между нарушенными зонами в защитном экране и зонами трещиноватости кристаллических пород фундамента возникает гидравлическая связь и высокоминерализованные загрязненные внутриотвальные воды мигрируют в водоносные горизонты, при этом часть тяжелых металлов накапливается в тяжелых суглинках, глинах, известняках.

Набор химических элементов вод источников, выходящих вблизи отвала, почв, проб воды и донных отложений р. Ингулец идентичен составу рудного отвала, что подтверждает его негативное влияние на прилегающие территории [2, 3]. Все это приводит к постоянному ухудшению качества воды р. Ингулец на участке 302-308 км от устья р. Ингулец (створ III – IV) возле Левобережного отвала: минерализация речной воды повышается на $0.05 \div 0.20$ г/дм³ (рис. 1). Зафиксировано существенное повышение солевого стока реки в $3.9 \div 4.5$ раза в сравнении со стоком поверхностных источников-загрязнителей, которые территориально тяготеют к телу отвала. По данным на 2007 г. [2] на участке створ III – IV, длиной 6.63 км, средний прирост расхода, солевого стока и минерализа-

ции составляет 135 л/с, 0.15 г/дм³, 59 т/сут., из них соответствующие суммарные показатели всех поверхностных притоков – 18 л/с, 4.76 ÷ 10.84 г/дм³, 14 т/сут. Следовательно характеристика не учтенного притока следующая: средний расход 116.89 л/с, солевой сток 45.06 т/сут. и средняя минерализация 4.46 г/дм³ (табл. 1) [2]. На участке реки створ III – IV присутствует мощное химическое загрязнение поверхностным (в виде источников) и подземным притоком, вклад которого в загрязнение реки наиболее существенный.

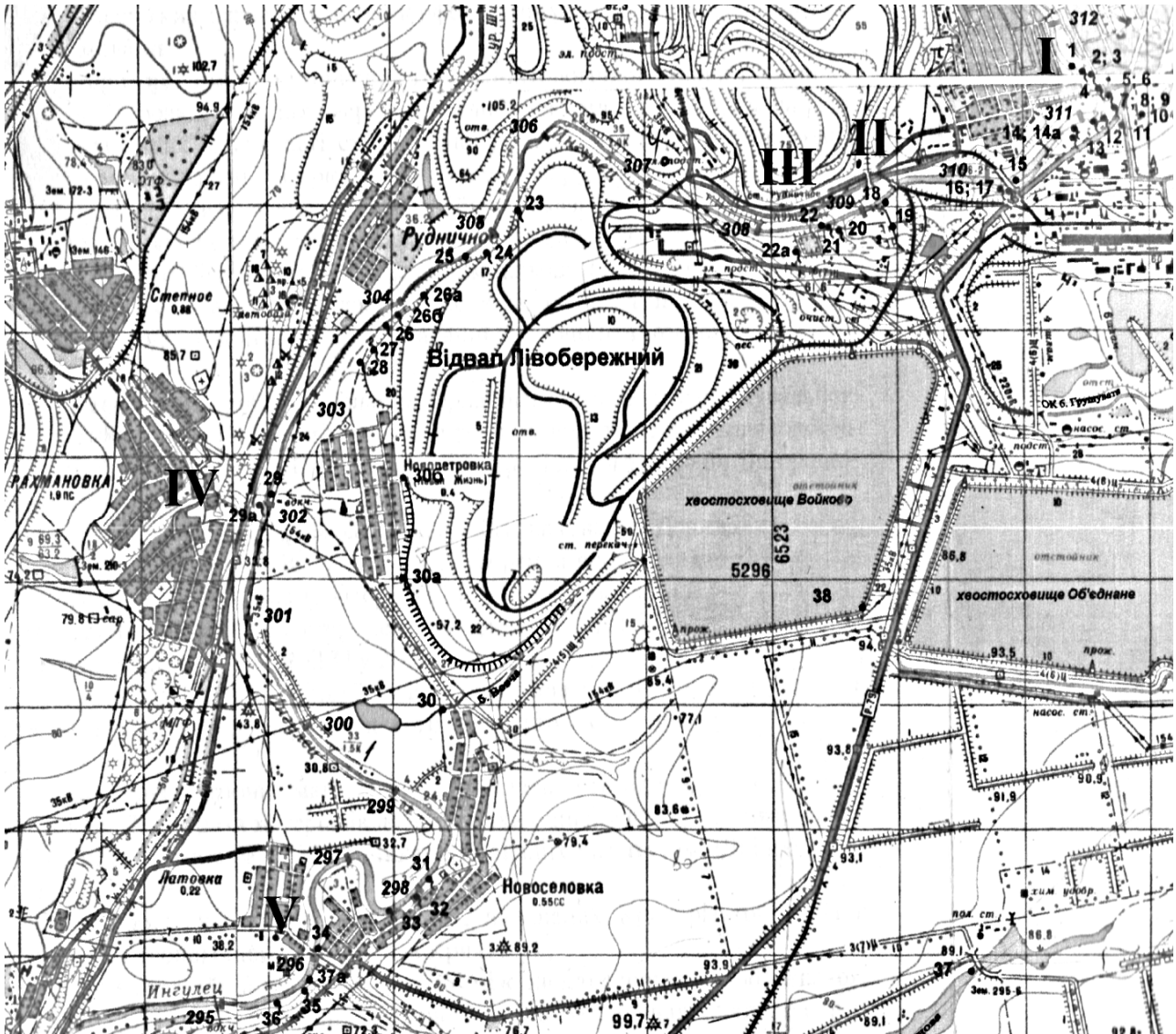


Рис. 1. Участок мониторинга [2]: I, II, III, IV, V – номера створов

В отличие от соседних участков реки (створы I – III, IV – V) на рассматриваемом отрезке (створ IV – створ III) можно выделить основной мощный объект-загрязнитель – рудный отвал горных пород, влияние которого на экологическое состояние бассейна реки не уступает другим известным факторам загрязнения – хвостохранилищам, прудам-накопителям [4, 5].

Таблица 1. Определение среднего расхода, солевого стока, минерализации неучтенного скрытого притока по данным [2]

№	Створы				Учтенный приток			Неучтенный приток			Возможные основные источники загрязнения
	Длина участка р. Ингулец, км	Расход, л/с	Солевой сток, т/сут.	Расход, л/с	Солевой сток, т/сут.	Расход, л/с	Солевой сток, т/сут.	Расход, л/с	Солевой сток, т/сут.	Минерализация расчетная, г/дм ³	
III – I	2.87	1162.5	377.33	785.48	226.62	377.03	150.72	150.72 / 377.03 / 0.0864 = 4.63	хозяйственно-бытовые стоки микрорайона ЮГОК, пруд-накопитель в б. Грушеватая, хвостохранилище «Объединенное»		
V – III	12.67	295	268.68	39.56	29.34	255.44	239.34	239.34 / 255.44 / 0.0864 = 10.84	Левобережный отвал с хвостохранилищем «Войково», хозяйственно-бытовые стоки полуразрушенного с. Новопетровка, с. Новоселовка, с. Рахмановка, с. Латовка, хвостохранилище «Объединенное», б. Свистунова		
По данным 17.18.05.2007, 10-11.07.2007 гг.*											
III – I	2.87	790	268.34	653.22	199.75	136.79	68.59	68.59 / 136.79 / 0.0864 = 5.8	хозяйственно-бытовые стоки микрорайона ЮГОК, пруд-накопитель в б. Грушеватая, хвостохранилище «Объединенное»		
IV – III	6.63	135	59.02	18.03	13.96	116.98	45.06	45.06 / 116.98 / 0.0864 = 4.46	Левобережный отвал с хвостохранилищем «Войково», хозяйственно-бытовые стоки полуразрушенного с. Новопетровка		
V – IV	6.04	150	188.12	20	14.57	130	173.55	173.55 / 130 / 0.0864 = 15.45	Левобережный отвал с хвостохранилищем «Войково», хвостохранилище «Объединенное», хозяйственно-бытовые стоки сел Рахмановка, Новоселовка, Латовка, б. Свистунова		

Примечание. * Отсутствие полного ряда исходных данных по створу IV на 18-19.05.2006, 06.06.2006.

Интенсивное загрязнение неразбавленными и, как следствие, мало опресненными, фильтрационными внутриотвальными водами [5] имеет постоянный характер. Средний расход подземного притока несколько меньше по сравнению с подземным притоком на двух других участках выше (створ II – III) и ниже (створ IV – V) по течению – $116.89 \text{ л/с} < 130 \div 136.79 \text{ л/с}$, средний солевой сток – $45.06 \text{ т/сут.} < 65.09 \div 173.55 \text{ т/сут.}$, прогнозируемая минерализация – $4.46 \text{ г/дм}^3 < 5.80 \div 15.45 \text{ г/дм}^3$ соответственно.

В результате значительного уплотнения нижезалегающих пород отвала, происходит перераспределение водных ресурсов территории, поэтому со временем на данном участке следует ожидать уменьшение негативного влияния хвостохранилища «Войково», а влияние хвостохранилища «Объединенное» может стать не существенным. Об этом свидетельствует юго-восточное направление тока минерализованных вод в сторону с. Новоселовка, образование в четвертичных лессовидных отложениях техногенного водоносного горизонта, участков подтопления, оползня на окраине с. Новоселовка, бугров выпирания пластичных пород и выходов высокоминерализованных вод по периметру отвала и ухудшение в селах Новопетровка и Новоселовка качества питьевой воды из колодцев [2].

Связь между рудным отвалом и загрязнением поверхностных и подземных вод, почв и горных пород можно объяснить процессами, происходящими на поверхности и внутри отвала [3, 5]. В результате физико-химического выветривания происходит разрушение слагающих отвал пород, попадание мелких частиц в атмосферу и смыв более крупных временными водными потоками и как следствие, загрязнение грунтов, поверхностных вод. Другая часть атмосферных осадков инфильтруется в тело отвала и может являться, наряду с сезонными перепадами температур, изменением *pH*-условий, катализатором ряда физико-химических процессов [3, 5], в результате которых образуются высокоминерализованные внутриотвальные воды. Вследствии преобразований исходных пород отвала, чередования пород с разными физико-механическими свойствами, следует ожидать неравномерное оседания отвала, образование систем трещин и зон повышенной проницаемости, достигающих его подошвы [3, 5].

В начале отсыпки рудного отвала защитный экран является геомеханическим барьером по отношению к вертикальной миграции высокоминерализованных растворов. С ростом давления от массы отвала на подстилающие породы начинается фильтрация внутриотвальных вод в подземные воды, поскольку нарушается целостность глинистого экрана от действия значительных неравномерно распределенных и мгновенных динамических нагрузок. Современные движения вдоль разломов Криворожско-Кременчугской тектонической зоны улучшают фильтрационные свойства лёссовидных суглинков и способствуют формированию вдоль них зон активной фильтрации. По разрывам сплошности слоя суглинков, зонам трещиноватости вдоль тектонических нарушений возникает гидравлическая связь высокоминерализованных поверхностных вод с подземными. При этом часть тяжелых металлов накапливается в тяжелых суглин-

ках, глинах, нарушенных известняках. Грунтовые воды, насыщенные химическими элементами и соединениями, пополняют водосбор речки, загрязняют значительные территории, особенно вдоль заводей, что подтверждает идентичность химического состава проб почв, донных отложений и воды р. Ингулец. Часть микроэлементов, которые мигрируют из тела отвала в коллоидной форме, оседает в донных отложениях. Во время наводнений и искусственных пропусков воды эти загрязнители вместе с частицами грунтов и донными отложениями переносятся на прилегающие территории.

На сегодняшний день для улучшения экологической и водохозяйственной ситуации бассейна р. Ингулец ежегодно в межвегетационный период проводится промывка русла за счет подачи 60-65 млн. м³ воды в период половодья из канала Днепр-Ингулец в утвержденные регламентом сроки [1, 2]. В это же время горнорудные предприятия Кривбасса дозировано сбрасывают высокоминерализованные излишки шахтных вод, вследствие ограниченного их использования в оборотных циклах на ГОКах и отсутствии свободных емкостей, пригодных для их аккумуляции.

По окончании промывки комиссионное обследование гидрологического состояния русла р. Ингулец с отбором контрольных проб в створах гидропостов с. Андреевка, пгт Большая Александровка, Главной насосной станции Ингулецкой оросительной системы (ОС), с. Дарьевка, фиксирует жесткость воды выше предельно-допустимой концентрации в 1.7–1.9 раза [2]. Качество поверхностной воды на 308.70 км, 307.70 км, 302.07 км и 296.03 км (в створах I – IV, указанных на рис. 4) не отвечает требованиям СанПН №4630-88 [2] по хлоридам и сульфатами на протяжении всего времени наблюдений 2005-2007 гг. вне зависимости от санитарной промывки русла р. Ингулец. После промывки наблюдается постоянный рост минерализации речной воды, фиксируется неудовлетворительное ее качество и негативное влияние на состояние орошаемых земель Ингулецкой ОС.

Низкая эффективность промывки извилистого русла р. Ингулец объясняется тем, что в донных отложениях остаются основные опасные загрязнители – тяжелые металлы, которые имеют канцерогенные свойства. При естественном или искусственном паводке загрязнители мигрируют по течению, попадают в заболоченные поймы, где задерживаются растительностью. Промывка реки ускоряет естественное развитие ее долины. Со временем это может привести к естественному выпрямлению русла и образованию загрязненных берегов реки, стариц. Таким образом, промывка частично изменяет ситуацию в регионе, но полностью не разрешает данную экологическую проблему.

Проведение экологического оздоровления р. Ингулец нуждается во внедрении более эффективных мероприятий, чем санитарное промывка русла. Они могут заключаться в искусственном выпрямлении извилистого участка русла реки и ликвидации меандр, благодаря которым происходит основное накопление аллювия с большим содержанием тяжелых металлов. При этом можно ожидать увеличение скорости течения и, как следствие, меньшее оседание

взвешенных наносов. Кроме того для улучшения качества воды р. Ингулец необходимо предусмотреть сбор и обезвоживание донных наносов с помощью геотубов. Заполненными геотубами можно укрепить вогнутый берег, что предупредит его размыв во время промывки, и повысить прирусловый вал, что помешает попаданию загрязнителей в надпойменные террасы. Отфильтрованная вода из геотубов будет постепенно стекать в реку, при этом наносы с вредными примесями останутся внутри геотуба.

Выводы. В результате теоретических и экспериментальных исследований доказано, что значительное давление на подстилающие породы рудных отвалов (в отличии от отвалов вскрышных пород) существенно влияет на изменение физико-механических свойств, гидрогеологических показателей нижезалегающих слоев, вследствие чего происходит перераспределение водного баланса и развитие процессов подтопления на прилегающих территориях. Применяемые защитные экраны из суглинка и глин под рудными отвалами мало функциональны из-за вдавливания рудных обломков в слои связных пород и образования в них зон фильтрации. Нарушение защитного экрана приводит к проникновению высокоминерализованных вод из тела отвала в поверхностные и подземные воды тем самым, способствуя их загрязнению. Таким образом, отвалы горных пород в горнодобывающих регионах являются не только факторами подтопления, но и загрязнения прилегающих территорий.

Список литературы

1. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2010 році. – К.: Центр екологічної освіти та інформації, 2011. – 254 с.
2. Ракуляк В. В. Дослідження гідрологічного та гідрогеологічного режиму та визначення джерел забруднення р. Ингулец в районі діяльності підприємств Кривбасу у Дніпропетровській області: звіт, Т. 1 / В. В. Ракуляк, В. В. Дем'янов. – Дніпропетровськ: «ДНІПРО-ДІПРОВОДГОСП», 2007. – 120 с.
3. Орлинская О. В. Экологические проблемы железорудных регионов / Екологічні проблеми гірничо-металургійного комплексу за умов формування принципів збалансованого розвитку: Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції, Дніпропетровськ, 2-3 грудня 2008 р. // О. В. Орлинская, О. А. Терешкова, Д. С. Пикареня. – К.: Центр екологічної освіти та інформації, 2008. – С. 165-172.
4. Орлінська О. В. Фактори підтоплення територій в гірничо-видобувних регіонах / Збірник наукових праць НГУ // О. В. Орлінська, Д. С. Пикареня, Н. М. Максимова. – Д.: НГУ, 2012. – № 37. – С. 299-304.
5. Орлинская О.В. Модель физико-химических преобразований в левобережных отвалах ЮГОКа / Наук. вісн. НГУ // О.В. Орлинская, О.А. Терешкова, А.А. Алексеев. – 2005. – № 9. – С. 99-102.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Колесником В.Є
Надійшла до редакції 15.04.2013*