

УДК 550.41

РУДНЫЕ ОТВАЛЫ КАК ФАКТОР ПОДТОПЛЕНИЯ И ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ

О. В. Орлинская, Н. Н. Максимова

Днепропетровский государственный аграрный университет
ул. Ворошилова, 25, г. Днепропетровск, 49600, Украина. E-mail: orlinska@mail.ru

Д. С. Пикареня

Днепродзержинский государственный технический университет
ул. Днепропостройтельная, 2, г. Днепродзержинск, 51918, Украина. E-mail: nippel@ Rambler.ru

На основании сравнения результатов теоретического моделирования осадки отвалов вскрышных и скальных пород, а также экспериментальных исследований компрессии породных моделей на одометре и прессе установлено, что тяжелые по массе рудные отвалы, в отличие от легких отвалов вскрышных пород, могут привести к перераспределению водных ресурсов и развитию процессов подтопления, загрязнению поверхностных и подземных вод, грунтов, а также развитию оползневых явлений на прилегающих территориях. Обоснована малая эффективность санитарной промывки р. Ингулец, и предложены практические решения по улучшению водоохозяйственной ситуации Криворожского региона – искусственное спрямление русла на извилистом участке реки, а также извлечение и обезвоживание донных отложений, насыщенных опасными микроэлементами, с помощью геотубов.

Ключевые слова: отвал горных пород, подтопление, загрязнение подземных и поверхностных вод.

РУДНІ ВІДВАЛИ ЯК ФАКТОР ПІДТОПЛЕННЯ ТА ЗАБРУДНЕННЯ ПРИЛЕГЛИХ ТЕРИТОРІЙ

О. В. Орлінська, Н. М. Максимова

Дніпропетровський державний аграрний університет
вул. Ворошилова, 25, м. Дніпропетровськ, 49600, Україна. E-mail: orlinska@mail.ru

Д. С. Пікарень

Дніпродзержинський державний технічний університет
вул. Дніпробудівельна, 2, м. Дніпродзержинськ, 51918, Україна. E-mail: nippel@ Rambler.ru

На підставі порівняння результатів теоретичного моделювання осадки відвалів розкривних і рудних порід, а також експериментальних досліджень компресії породних моделей на одометрі і пресі встановлено, що важкі за масою рудні відвали, на відміну від легких відвалів розкривних порід, можуть призвести до перерозподілу водних ресурсів і розвитку процесів підтоплення, забруднення поверхневих і підземних вод, ґрунтів, а також розвитку зсувних явищ на прилеглих територіях. Обґрунтована мала ефективність санітарної промивки р. Інгулець, та запропоновані практичні рішення щодо поліпшення водогосподарської ситуації Криворізького регіону – штучне спрямлення русла на звивистій ділянці річки, а також видалення і зневоднення донних відкладень, насичених небезпечними мікроелементами, за допомогою геотубів.

Ключові слова: відвал гірських порід, підтоплення, забруднення підземних і поверхневих вод.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Площадь подтопления на территории Украины за последние 30 лет в среднем выросла в восемь раз, а в экономически развитых регионах – в 14–34 раза [1]. Наибольшие площади подтопления фиксируются в Херсонской, Одесской, Николаевской, Днепропетровской, Донецкой, Запорожской областях, где процесс развивается не только в поймах и на пойменных террасах речных долин, но и на водоразделах. Основной причиной подтопления является подъем уровня грунтовых вод осенью и большое количество атмосферных осадков, определяющееся климатическими условиями. В горнодобывающих регионах колебания уровня грунтовых вод усиливаются техногенными факторами. Одним из них, который ранее не рассматривался, могут быть отвалы горных пород. На территориях, прилегающих к отвалам, наблюдаются участки заболачивания и развития оползневых явлений. В непосредственной близости от отвалов выходят источники с высокой минера-

лизацией, загрязняющие поверхностные и подземные воды, почвы [1].

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Для подробного рассмотрения причин возникновения опасных экзогенных процессов и явлений проведены теоретические и экспериментальные исследования по изучению уплотнения подстилающих отвал горных пород под действием нагрузки [1, 2]. В качестве объектов (моделей) взяты – отвал вскрышных пород Песчанского месторождения (рис. 1а) и рудный Левобережный отвал Южного горнообогатительного комбината (ЮГОК) (рис. 1б), различные по составу, а, следовательно, по плотности слагающих пород и по оказываемому давлению на породное основание.

Теоретически осадка породного основания от массы отвала определена по схеме линейно-деформированного слоя [1], при этом в качестве несжимаемого фундамента в районе Песчанского карьера (рис. 1а) приняты граниты, расположенные ниже дневной поверхности на 16,5–17 м, а Левобе-

режного отвала (рис. 1б) – толща известняков трещиноватых, глубина залегания которых находится в пределах 13,5–24 м.

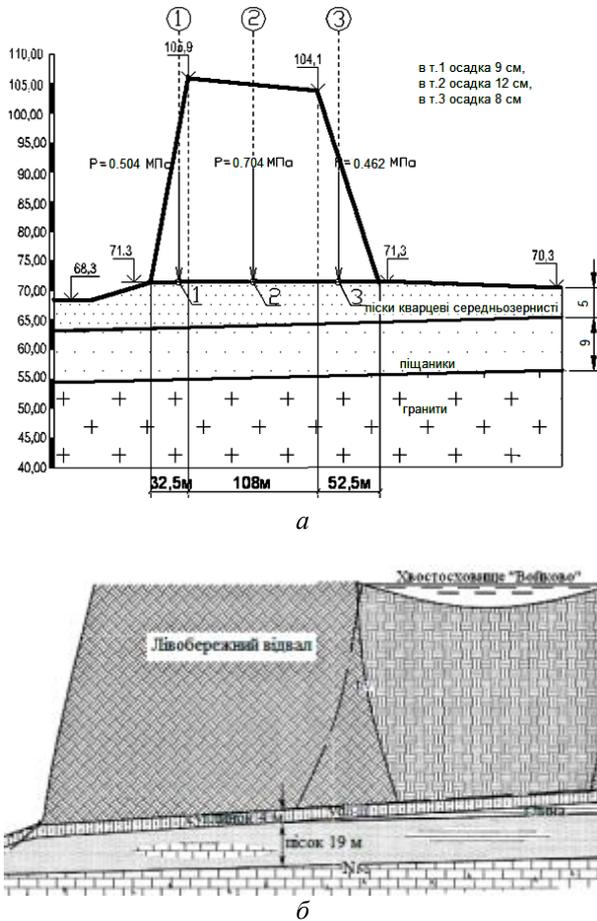


Рисунок 1 – Геологическая модель-разрез: а – отвала вскрышных пород Песчанского месторождения (г. Кременчуг); б – рудного Левобережного отвала (юг г. Кривой Рог) [1, 3]

В более «легком» по массе отвале Песчанского месторождения карьероуправления (КУ) «Кварц» складированы пески с глинистой составляющей и песчаники. Поскольку данные породы хорошо уплотняются, пустотность массива принята минимальной в размере 10 %, а средняя плотность слагающих отвал вскрышных пород составила $\sigma = 2,1 \text{ г/см}^3$. Давление $p^{max} = 703,5 \text{ кН/м}^2$ от уступа отвала высотой $H^{max} = 33,5 \text{ м}$ приводит к осадке основания $s^{max} = 0,12 \text{ м}$ и аналогично $s^{min} = 0,079 \text{ м}$ при $p^{min} = 462 \text{ кН/м}^2$, $H^{min} = 22 \text{ м}$. Уплотнение песков может привести к уменьшению удельного расхода водоносного горизонта, которое по формуле Г.Н. Каменского составит $0,003 \text{ м}^2/\text{сут}$ [3].

Массив Левобережного отвала ЮГОКа условно принят однородным с соотношением вскрышных пород (сланцы, кварциты) и отходов обогащения (окисленные железистые кварциты) 1:1 [4]. Между сланцами и железистыми кварцитами существует контраст в содержании основной группы малых элементов (Ni, Cr, Co, Ti, V). В железистых кварци-

тах концентрация этих элементов меньше в 20–30 раз, а по некоторым элементам – 100 раз. Содержание марганца в железистых кварцитах в пять раз превышает его концентрацию в сланцах [4].

Теоретические исследования показали, что «тяжелый» рудный Левобережный отвал, средней плотностью сложения $\sigma^{min} = 1,9 \text{ г/см}^3$ при 45 % пустотности, оказывает давление $p^{max} = 1938 \text{ кН/м}^2$ от уступа высотой $H^{max} = 102 \text{ м}$, что приводит к осадке основания $s^{max} = 1,448 \text{ м}$ и $s^{min} = 0,303 \text{ м}$ при $p^{min} = 418 \text{ кН/м}^2$, $H^{min} = 22 \text{ м}$; при $\sigma^{max} = 2,9 \text{ г/см}^3$, пустотность 15 %, оказанное давление $p^{max} = 2958 \text{ кН/м}^2$ от уступа высотой $H^{max} = 102 \text{ м}$, осадка основания составляет $s^{max} = 2,689 \text{ м}$ и $s^{min} = 0,462 \text{ м}$ ($p^{min} = 638 \text{ кН/м}^2$, $H^{min} = 22 \text{ м}$). Такое изменение толщи нижележащих водовмещающих пород может привести к уменьшению удельного расхода водоносного горизонта на $0,035 \text{ м}^2/\text{сут}$ при средней осадке по разрезу $s^{min} = 0,88 \text{ м}$ ($\sigma^{min} = 1,9 \text{ г/см}^3$, 45 % пустотности) и $0,068 \text{ м}^2/\text{сут}$ при средней осадке по разрезу $s^{min} = 1,72 \text{ м}$ ($\sigma^{max} = 2,9 \text{ г/см}^3$, 15 % пустотности).

Приведенная выше методика расчетов позволяет в первом приближении оценить влияние отвалов на подстилающие слои горных пород, их водонасыщенность и коэффициенты фильтрации. Теоретическое моделирование по двум объектам – Левобережный и Песчанский отвалы, – показывает, что постепенно возрастающее давление от массы отвала может привести к неравномерному «выжиманию» водоносного горизонта в подстилающих породах по всей площади земельного отвала и подтоплению прилегающих территорий. Для подтверждения теоретических расчетов выполнены экспериментальные исследования на одометре и прессах для изучения возможного уплотнения и уменьшения коэффициентов фильтрации подстилающих отвал горных пород [1, 2].

Экспериментальные исследования на одометре проводились по стандартной методике. Ступенчато возрастающее давление передавалось на одно- и двухслойные породные модели.

Сопоставление результатов исследований компрессии образцов песка с двухслойным образцом песок–суглинок зафиксировало замедление скорости уплотнения модели во времени за счет введения в ее состав связной породы. Компрессионные кривые коротких экспериментов, продолжительностью 5 ч представлены на рис. 2, на котором для сравнения изображены кривые породных моделей песок–суглинок в соотношении 4:1 (№ 1–3) и кривая (№ 4) модели песок–суглинок с соотношением 3:2. Вследствие приложенного конечного давления $p = 81,357 \text{ кН/м}^2$, что соответствует высоте Левобережного отвала $H = 2,805 \text{ м}$ при $\sigma^{max} = 2,9 \text{ г/см}^3$ и пустотности 15 %, получено относительное сжатие ($E = \Delta h/h$) для породных моделей песок–суглинок в соотношении 4:1 (№ 1–3) в пределах $0,04328 \div 0,0548$, изменение средней пористости модели $\Delta n = 4,45\text{--}5,63 \%$ соответственно, а для модели песок–

суглинок с соотношением 3:2 (№ 4) – $E = 0,1058$, $\Delta n = 10,85\%$.

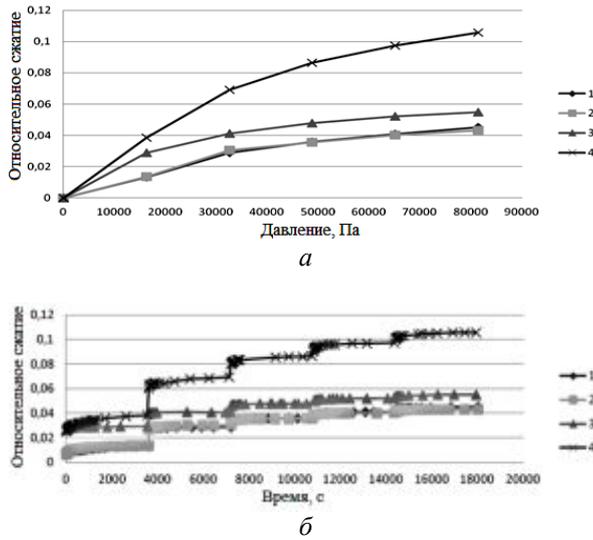


Рисунок 2 – Компрессионные кривые третьей серии экспериментов двухслойных породных моделей песок-суглинок зависимостей: а – $E=f(P)$; б – $E=f(T)$.

Сравнение компрессионных кривых двухслойных моделей в соотношениях песка и суглинка 4:1 и 3:2 (№1–3 и № 4 на рис. 7, 8), а также с песчаными однородными моделями подтверждает, что рыхлые глинистые породы уплотняются существенно лучше песчаных. В двухслойных экспериментах максимальным изменениям подвергались связные породы, их пористость уменьшалась на 15–20 % высоты прослойки суглинка.

Максимально достигнутое давление на однослойный образец на одометре составляет $113,899 \text{ кН/м}^2$, что соответствует высоте отвалов 3,928 м и 5,995 м в зависимости от принятой плотности $\sigma^{max} = 2,9 \text{ г/см}^3$ при пустотности 15 % и плотности $\sigma^{min} = 1,9 \text{ г/см}^3$ при пустотности 45 % слагаемых пород теоретической модели Левобережного отвала. Поскольку целью экспериментального исследования является изучение влияния возрастающей нагрузки на породы в условиях отсутствия бокового расширения, далее были проведены 30 экспериментов на прессе типа П [2]. По аналогии с экспериментами на одометре опыты на прессе были разделены на группы (серии) в зависимости от состава модели, оказываемого давления и продолжительности его приложения, варьировали влажность и первоначальная пористость пород.

Состав двух- и трехслойных моделей был представлен песками среднезернистыми и мелкозернистыми, суглинками и глинами, а также в последних экспериментах верхний слой был сложен обломками гранитов, в среднем размером до 5 мм. Породные модели отсыпались послойно в разработанную автором жесткую матрицу, не допускающую бокового расширения.

В результате ступенчатого (526 кН/м^2) роста давления до его максимального конечного значения 5261 кН/м^2 получено наибольшее относительно сжатие породной модели 0,25 и соответственно уменьшение пористости модели на 85,71 % (рис. 3). Таким образом, в экспериментах достигнуто теоретическое максимальное значение давления 2958 кН/м^2 от действующего Левобережного отвала и предусмотрен рост давления при его дальнейшей отсыпки до отметки 181 м.

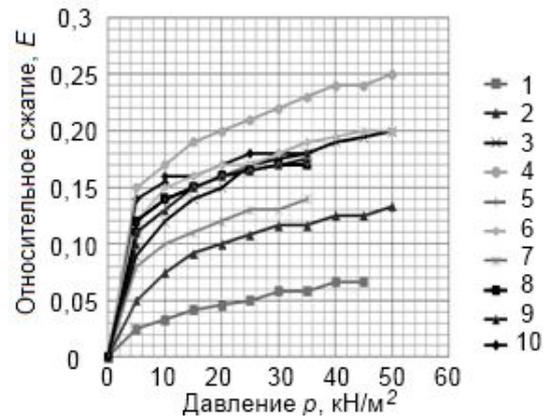


Рисунок 3 – Компрессионные кривые $E=f(P)$ экспериментальных исследований на прессах: 1 – эксперимент № 1, состав модели сверху вниз – песок среднезернистый–суглинок–песок среднезернистый; 2 – эксперимент № 2, суглинок–песок среднезернистый; 3–7 – эксперимент № 3–7, суглинок–песок мелкозернистый; 8 – эксперимент № 8, глина–песок среднезернистый; 9 – эксперимент № 9, гранит–суглинок–песок среднезернистый; 10 – эксперимент № 10, гранит–глина–песок среднезернистый.

В результате экспериментального изучения компрессии породных моделей на одометре и прессах получены следующие основные закономерности действия высоких нагрузок на горные породы:

- 1) максимальное уплотнение горных пород происходит вначале опыта, далее компрессионные кривые выполаживаются, приближаясь к асимптотическим значениям;
- 2) величина сжатия породной модели прямо пропорциональна продолжительности приложения нагрузки и величине давления;
- 3) величина относительного сжатия зависит от гранулометрического состава и агрегатного состояния горных пород: мелкозернистый песок уплотняется лучше среднезернистого; суглинок комковатой структуры в отличие от глин, представляющих собой рыхлую однородную массу, уплотняется сильнее последних.

После проведенных экспериментов на прессах в отличие от одометра связанные породы из рыхлого состояния переходят в цементированную жесткую массу.

Визуальный анализ моделей показал, что под действием высоких давлений в песчаных породах происходит измельчение, перемещение и более

компактная укладка зерен, а в глинистых – сближение минеральных частиц и изменение текстуры. Микроскопический анализ образцов после прессования зафиксировал возможное дополнительное уменьшение пористости, вследствие диффузии песчаных частиц в глинистую матрицу (рис. 4). Толщина диффузионного слоя составляет 2–4 мм. Под действием высоких давлений гранитные обломки вдавливаются в слой связных пород. Вследствие такого «обволакивания» гранитов, в суглинках, глинах образуются трещины высыхания, наблюдаемые визуально.

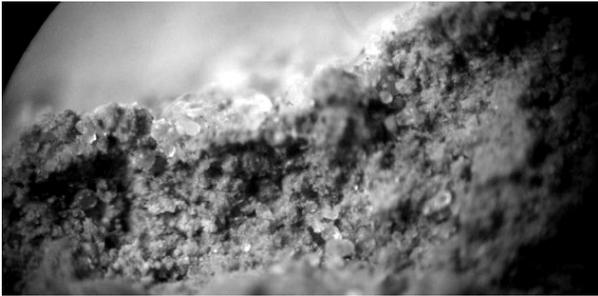


Рисунок 4 – Вдавливание зерен кварца в суглинистую массу. Светлая, светло серая масса – зерна кварцевого песка; серая, темно серая масса – суглинок. Отраженный свет. Увеличение 28^x.

Таким образом, теоретические и экспериментальные исследования показали, что отвалы вскрышных пород и рудные отвалы по-разному влияют на подстилающие слои горных пород. 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 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 (рис. 5). 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, т. к. 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 лёссовидных 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 (рис. 5).

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 [4]. Все это приводит к постоянному ухудшению качества воды р. Ингулец на участке возле Левобережного отвала.

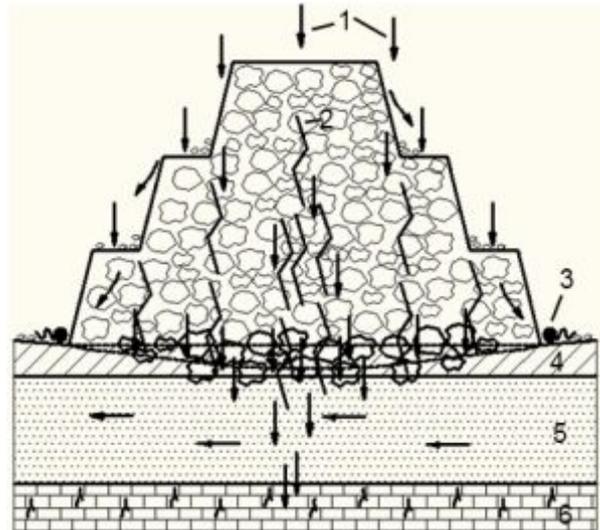


Рисунок 5 – Влияние рудного отвала на основание: 1 – атмосферные осадки; 2 – зоны повышенной фильтрации; 3 – источники; 4 – защитный противофильтрационный экран; 5 – водоносный горизонт; 6 – известняк нарушенной структуры

Как указывалось выше, на территории исследований происходит перераспределение водных ресурсов вследствие значительного уплотнения нижележащих подотвальных пород, что привело к образованию в четвертичных лёссовидных толщах техногенного водоносного горизонта, участков подтопления около отвала, выходов высокоминерализованных источников по периметру отвала, а также ухудшение в селах Новопетровка и Новоселовка качества питьевой воды из колодцев до технической непригодной (рис. 6).



Рисунок 6 – Подтопление территории, прилегающей к Левобережному отвалу

ВЫВОДЫ. В результате теоретических и экспериментальных исследований доказано, что значительное давление на подстилающие породы рудных отвалов (в отличие от отвалов вскрышных пород) существенно влияет на изменение физико-механических свойств, гидрогеологических показателей нижезалегающих слоев, вследствие чего происходит перераспределение водных ресурсов 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 связанных пород и образования в них трещин высыхания. Нарушение защитного экрана приводит к инфильтрации высокоминерализованных вод из тела отвала в поверхностные и подземные воды, способствуя, тем самым, их загрязнению. Таким образом, отвалы горных пород в горнодобывающих регионах являются не только факторами подтопления, но и загрязнения прилегающих территорий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фактори підтоплення територій в гірничо-

видобувних регіонах О.В. Орлінська, Д.С. Пікареня, Н.М. Максимова. // Збірник наукових праць НГУ // – Д.: НГУ, 2012. – № 37. – С. 299–304.

2. Максимова Н.Н. Влияние давления массы отвалов горных пород на подстилающие грунты // Доклады Международного симпозиума «Неделя эколога – 2012», 1-5 октября 2012 г. – Днепропетровск: ДДТУ, 2012. – С. 145–146.

3. Дослідження гідрологічного та гідрогеологічного режиму та визначення джерел забруднення р. Інгулець в районі діяльності підприємств Кривбасу у Дніпропетровській області / В. В. Ракуляк, В. В. Дем'янов. – Дніпропетровськ: «ДНІПРОДІП-РОВОДГОСП», 2007. – 120 с.

4. Экологические проблемы железорудных регионов О.В. Орлинская, О.А. Терешкова, Д.С. Пикареня // Экологічні проблеми гірничо-металургійного комплексу за умов формування принципів збалансованого розвитку: Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції, Дніпропетровськ, 2–3 грудня 2008 р. – К.: Центр екологічної освіти та інформації, 2008. – С. 165–172.

MINE HEAPS AS A FACTOR OF FLOODING AND POLLUTION OF SURROUNDING TERRITORIES

O. Orlinskaya, G. Maximova

Dnepropetrovsk State Agrarian University
vul. Voroshilov, 25, Dnepropetrovsk, 49600, Ukraine. E-mail: orlinska@mail.ru

D. Pikarenya

Dneprodzerzhinsk State Technical University
vul. Dneprostraitelnaya, 2, Dneprodzerzhinsk, 51918, Ukraine. E-mail: nippel@rambler.ru

The comparison of the results of theoretical modeling of sediments and rocks heaps subsidence, as well as experimental investigation of rock models compression on the odometer and the press are considered in work and, on the basis of it, heavy mass of iron-ore heaps (unlike lung overburden heaps) is resulted here as a reason of the redistribution of water resources and the development of processes of flooding, pollution of surface and subsurface water, soil, and the development of landslides in the surrounding areas. The low efficiency of the sanitary flushing the Ingulets River is substantiated. The practical solutions to improve the water situation in the Krivoy Rog's region are proposed. They are: an artificial straightening of meandering section of the river bed and mining, sludge dewatering of saturated hazardous trace elements using geotub.

Key words: mine dump, flooding, pollution of ground and surface water.

REFERENCES

1. Factors of flooding in the mining regions / Scientific Papers of National Mining University // O. V. Orlinska, D. S. Pikarenya, N. M. Maximova. – D.: NMU, 2012. – № 37. – P. 299-304. [in Ukrainian]

2. Maximova N. M. Effect of pressure weight heaps of rocks on the subsoil / Proceedings of the International Symposium "Ecologist Week – 2012", 1-5 October 2012 // N. M. Maximova. – Dneprodzerzhinsk: DSTU. – 2012. – P. 145–146. [in Russian]

3. Investigation of hydrological and hydrogeological regime and determine the sources of pollution of the Ingulets River in the area of enterprise Krivbass in

Dnepropetrovsk region / Report. T. 1. // V. V. Rakulyak, V. V. Demyanov. – Dnepropetrovsk: "DNIPRODIPROVODHOSP", 2007. – 120 p. [in Ukrainian]

4. Environmental problems of iron-ore regions / Environmental problems of mining complex in the conditions of the principles of sustainable development: Materials of the All-Ukrainian Scientific Conference, Dnepropetrovsk, 2-3 December 2008 // O. V. Orlinskaya, A. A. Tereshkova, D. S. Pykarenya. – K.: Center for Environmental Education and Information, 2008. – P. 165–172. [in Russian].

Рекомендовано до друку д.т.н., проф. Зубовою Л.Г.