

ОТВАЛЫ ГОРНЫХ ПОРОД КАК ФАКТОР ПОДТОПЛЕНИЯ ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ

Представлены результаты исследования взаимосвязи между отвалами горных пород и развитием процессов подтопления на прилегающих к ним территориях.

Наведені результати дослідження взаємозв'язку між відвалами гірських порід і розвитком процесів підтоплення на прилеглих територіях.

The research results of intercommunication between mining heaps and underflooding development on adherent territory are given.

Вступление. На Украине за последние 30 лет площадь подтопления увеличилась в среднем в 8 раз, а в экономически развитых регионах – в 14÷34 раза [1]. В районах с развитой горной промышленностью ситуация усугубляется из-за влияния на эти процессы неотъемлемых сопутствующих техногенных объектов – прудов-накопителей сточных вод, шламо-, хвосто- и водохранилищ, а также прочих водонесущих коммуникаций. Одним из ранее не рассматриваемых факторов являются отвалы горных пород.

Цель и задание исследований. Задачи. На прилегающих к отвалам территориях наблюдаются участки подтопления, ухудшение качества воды первых от дневной поверхности водоносных горизонтов, развитие оползневых и карстовых явлений. В непосредственной близости к местам складирования отходов горнодобывающей промышленности расположены выходы высокоминерализованных источников. Пространственная приуроченность перечисленных процессов и явлений к телу отвала свидетельствует о его существенном влиянии на изменение гидрогеологических условий близ лежащих территорий. Для изучения взаимосвязи между отвалами горных пород и развитием процессов подтопления на прилегающих землях были проведены теоретические и экспериментальные исследования. Предполагается, что под давлением массы отвала происходит уплотнение нижележающих слоев горных пород, в том числе и водоносных, выжимание водоносных горизонтов и водоупоров с образованием бугров выпучивания дисперсных пород вблизи отвала и, как следствие перераспределения водных ресурсов территории, возникновение участков подтопления и многочисленных выходов высокоминерализованных источников.

Изложение основного материала. В качестве объекта моделирования был выбран Левобережный отвал Южного горно-обогатительного комбината, для которого характерно проявление всех выше перечисленных процессов (рис. 1) [2]. Отвал, площадью 900 га, расположен на юге Криворожского железорудного бассейна. В теле отвала складировано 270 млн. м³ горной массы (окисленные железистые кварциты, скальные породы) средней расчетной плотностью 2.9 г/см³ с учетом 15 % пустотности сложения [3].

Определение осадки основания отвала под действием давления от его массы выполнялось с использованием схемы линейно-деформированного слоя [1]. В результате теоретического моделирования получено, что максимальному

давлению $p_{max}^5 = 2958 \text{ кН/м}^2$ от уступа высотой $H_{max} = 102 \text{ м}$ соответствует осадка $s_{max}^5 = 2.689 \text{ м}$, а минимальному давлению $p_{min}^1 = 638 \text{ кН/м}^2$ и высоте $H_{min} = 22 \text{ м}$ – осадка $s_{min}^1 = 0.462 \text{ м}$; средняя осадка по расчетному разрезу отвала составила $s_{cp} = 1.72 \text{ м}$ [1].

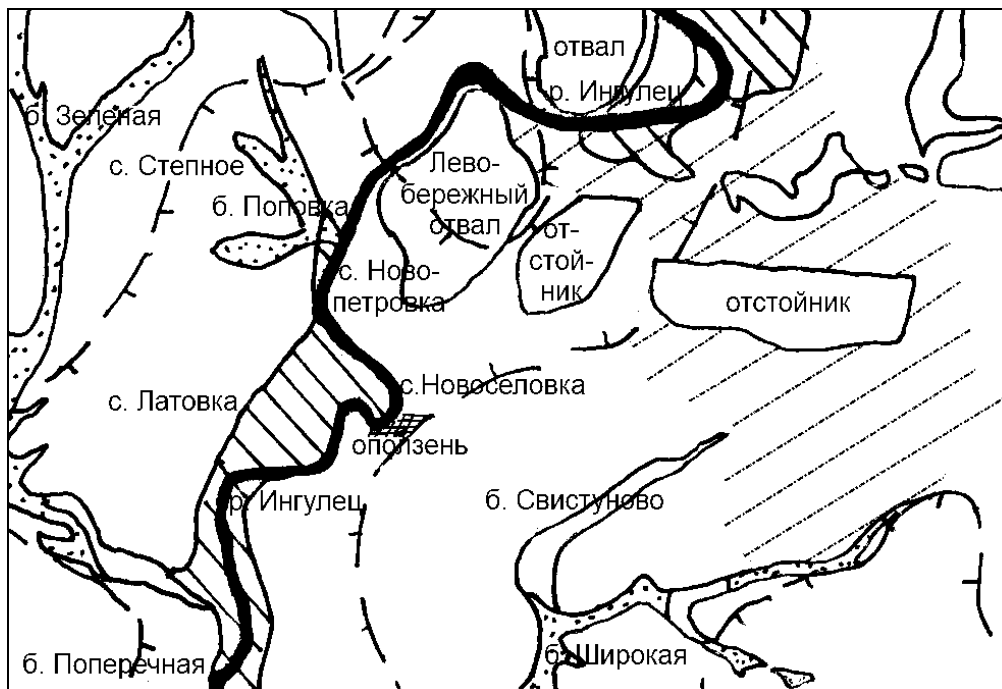


Рис. 1. Схема расположения Левобережного отвала и развития экзогенных геологических процессов на прилегающих к нему территориях по состоянию на 1990 г. [2].

Условные обозначения:

- | | | |
|----|--|---|
| 1. | | – участки подтопления, уровень грунтовых вод до 2.0 м; |
| 2. | | – водоносный горизонт в аллювиальных отложениях заповей реки; |
| 3. | | – суглинисто-песчаные отложения долин балок; |
| 4. | | – площадь распространения карстующихся пород (примечание: штрих-пунктир направлен наружу) |

Для рассмотрения связи между отвалом и повышением уровня грунтовых вод на прилегающих к нему территориях были проведены экспериментальные исследования по изучению компрессии пород на одометре и прессе.

На одометре рассматривались однослойные модели, представленные песком, и двухслойные – из песка и суглинка. Результаты опытов приведены в работе [1]. Наибольшее достигнутое давление на породный образец составило 113.899 кН/м^2 , что соответствует высоте отвала 3.928 м. Для достижения расчетного максимума давления от отвала продолжены эксперименты по изучению компрессии пород на прессе (табл. 1).

Таблица 1

Обзор результатов экспериментов на прессе

№ серии / эксперимента	Состав	Толщина слоев (сверху вниз), см	Влажность с учетом доувлажнения, %	Пористость, %	Показатель модели: влажность, %; пористость, %	Продолжительность, с	Давление, кН/м ²	Расчетная высота отвала	Микроскопия
I 1	Песок с/з	5	1.29	31.2	2.49	90	4735	163	+
	Суглинок	2	8.47	50.27	0.34				
	Песок с/з	5	1.29	31.2					
II 2	Суглинок	5		50.27	5.09	200	5261	181	+
	Песок с/з	5	2.85	31.2	0.41				
III 3 4 5 6	Суглинок	5		50.27	6.14	200	5261	181	+
	Песок м/з	5	4.95	32.78	0.42				
	Суглинок	5		50.27	6.14	400	5261	181	
	Песок м/з	5	4.95	32.78	0.42				
	Суглинок	5		50.27	6.14	420	3683	127	+
	Песок м/з	5	4.95	32.78	0.42				
Суглинок	5		50.27	10.14	200	5261	181		
Песок м/з	5	12.96	32.78	0.42					
IV 7	Глина	5		46.36	11.88	240	3683	127	
	Песок с/з	5	14.46	20.81	0.34				
V 8	Гранит	0.2-0.5			10.89	280	3683	127	+
	Суглинок	4.5-4.8		50.27	0.36				
	Песок с/з	5	14.46	20.81					
VI 9	Гранит	0.5			8.29	280	3683	127	+
	Суглинок	5		50.27	0.34				
	Песок с/з	5	9.30	20.81					

Принятые сокращения: «с/з» – среднезернистый однородный; «м/з» – мелкозернистый однородный песок.

Учитывая геологическое строение разреза подстилающих Левобережный отвал пород [1], для проведения исследований на прессе были выполнены 6 серий опытов разной продолжительности на двух- и трехслойных породных моделях различной влажности (табл. 1). Породная модель отсыпалась послойно в жесткую матрицу, не допускающую бокового расширения. Нагрузка прикладывалась вертикально к разработанной пресс-форме, состоящей из рабочего кольца диаметром Ø 0.11 м и высотой 0.143 м, плунжера и съемного дна большего диаметра.

Во время эксперимента оказываемое давление возрастало ступенчато (526 кН/м²). Конечное максимальное экспериментально достигнутое давление 5261 кН/м² (табл. 2) соответствует высоте 181 м Левобережного отвала. Таким образом, посредством прессования достигнуто теоретически определенный экстремум давления и предусмотрено его дальнейшее возрастание в связи с продолжающейся отсыпкой действующего отвала.

В экспериментах интенсивное уплотнение горных пород происходит вначале их прессования, а далее компрессионные кривые выполаживаются, приближаясь к асимптотическим значениям (рис. 2). Результаты 9 экспериментов из 34 проведенных представлены в виде таблицы 2.

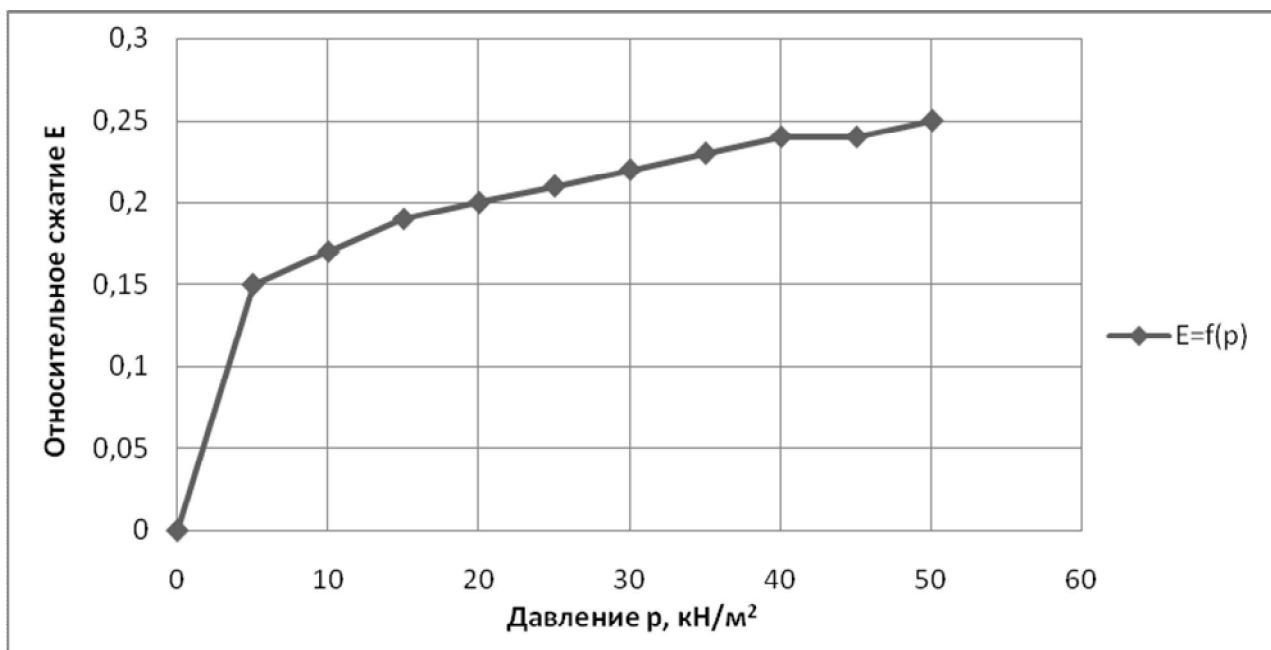


Рис. 2. Компрессионная кривая (эксперимент № 4)

Исследования показали, что на величину относительного сжатия породной модели влияют ее состав, продолжительность и величина приложенного давления. В конце 4 опыта получено наибольшее относительное сжатие 0,25, при этом уплотнение пород привело к уменьшению относительной пористости модели на 85,71 % по отношению к первоначальной 100 %. Прямую зависимость относительного сжатия пород от оказанного давления наглядно подтверждает сопоставление результатов 4 и 5 экспериментов. Так, уменьшение давления на 1578 кН/м² привело к изменению пористости на $\Delta n_{4-5} = 21,42\%$. Величина относительного сжатия породной модели прямо пропорциональна продолжительности нагружения, что фиксируют итоговые данные 3 и 4 опытов: при увеличении продолжительности эксперимента в 2 раза получено большее уменьшение относительной пористости модели на $\Delta n_{3-4} = 16,66\%$.

Наблюдается зависимость уплотнения пород от их агрегатного состояния. Изучаемый суглинок имел комковатую структуру в отличие от глины, которая представляла собой рыхлую однородную массу. Уплотнение суглинка такого агрегатного состояния происходило сильнее, чем глины (сравнение экспериментов 7 и 8). При практически равных условиях мелкозернистый песок уплотнялся лучше, чем среднезернистый (сопоставление опытов 2 и 3).

В результате прессования дисперсные породы модели перешли из рыхлого состояния в твердое, хрупкое. Глины в отличие от суглинков сохранили пластичность. Под действием высоких давлений связные породы приобретают жесткость, что является существенной разницей полученных результатов от проведенных экспериментов на одометре.

Таблица 2

Результаты экспериментов по изучению компрессии пород на прессе

№ серии	№ эксперимента	Конечное давление p , кН/м^2	Относительное сжатие $E = \Delta h / h$	Пористость начальная, д.ед.	Пористость конечная, д.ед.	Уменьшение относительной пористости Δn , %	Продолжительность эксперимента, с
I	1	4735	0.067	0.34	0.25	26.47	5400
II	2	5261	0.133	0.41	0.22	46.34	12000
III	3	5261	0.20	0.42	0.13	69.05	12000
	4	5261	0.25	0.42	0.06	85.71	24000
	5	3683	0.19	0.42	0.15	64.29	25200
	6	5261	0.23	0.42	0.11	73.81	12000
IV	7	3683	0.17	0.34	0.11	67.65	16800
V	8	3683	0.18	0.36	0.11	73.17	16800
VI	9	3683	0.18	0.34	0.10	70.59	16800

Визуальный анализ моделей после снятия нагрузки показал, что под действием высоких давлений в песчаных породах происходит измельчение, перемещение и более компактная укладка частиц, а в глинистых сближение минеральных частиц и изменение текстуры.

Микроскопический анализ образцов горных пород после прессования, выполненный совместно с Д. С. Пикареней, зафиксировал возможное дополнительное уменьшение пористости, вследствие диффузии песчаных частиц в глинистую матрицу. Толщина диффузионного слоя 2-4 мм. Под действием критических давлений кварцевые зерна песка игольчатой формы могут менять свою ориентацию и перпендикулярно входить в вышерасположенный слой дисперсной породы. В 8 и 9 экспериментах обломки гранита вдавливаются в подстилающую глинистую породу, которая его обволакивает. Это в дальнейшем приводит к образованию в магматической породе трещин диагенеза.

Проведенные исследования не учитывают влияние фактора времени, неоднородности состава и влажности, тектонических особенностей породных толщ подстилающих отвал. Это усложняет перенос полученных экспериментальных результатов относительно объекта моделирования. В естественных условиях, по сравнению с экспериментальными данными, следует ожидать меньшей прочности пород и еще большей осадки основания отвала согласно [3] на несколько порядков.

Таким образом, в результате уплотнения пород, понижения их пористости происходит уменьшение коэффициентов фильтрации в подстилающих отвалах породах, а, следовательно, и объемов водоносных горизонтов. Поскольку прибыльная часть водного баланса территории исследования неизменна, возможен подъем уровня грунтовых вод на прилегающих к отвалам территориях и последующее их подтопление.

Под действием высоких неравномерно распределенных нагрузок с учетом вибрации (железная и автодороги) и мгновенных динамических нагрузок (складирование отходов) в соответствии с [4] следует ожидать неравномерную осадку основания отвала, появление зон повышенной трещиноватости и потерю функционального назначения защитного глинистого экрана. Атмосферные осадки, профильтровавшись через тело отвала и насытившись наиболее подвижными химическими компонентами (Na, K, Cl, O, CO₂), легкорастворимыми солями (сульфаты и хлориды K, Na, Ca, Mg, карбонаты щелочных и щелочно-земельных металлов) и извлеченными основаниями (KOH, NaOH, Mg(OH)₂, Ca(OH)₂, кремнезем и MnCO₃) в основном подвижными в щелочных водах [5], могут попадать и загрязнять подстилающие отвал водоносные горизонты, а также мигрировать на большие расстояния по разрывным нарушениям.

В результате проведенных исследований можно дать следующие практические рекомендации. Для предотвращения подтопления прилегающих к отвалам территорий необходимо внести ограничения относительно высоты их отсыпки с учетом состава складироваемых и подстилающих пород. Защитный экран лучше выполнять из глины. При его выполнении необходимо учитывать постепенное выдавливание дисперсной породы из-под ядра отвала, а также переход из пластичного состояния в твердое, хрупкое и развитие трещин, разрывов. На стадии проектирования необходимо осуществлять прогноз влияния отвалов на окружающую среду, а на стадии эксплуатации – мониторинг прилегающей к ним территории.

Выводы. Выполненные исследования показали, что отвалы горных пород существенно влияют экологическое состояние и безопасность прилегающих территорий, что необходимо учитывать во время проектирования и формирования отвалов.

Список литературы

1. Орлінська О. В. Фактори підтоплення територій в гірничо-видобувних регіонах / О. В. Орлінська, Д. С. Пікареня, Н. М. Максимова // Збірник наукових праць НГУ. – Дніпропетровськ: Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», 2012. – № 37. – С. 299-304.
2. Чумаченко В. Оцінка регіональних змін інженерно-геологічних умов Кривбасу у зв'язку з розробкою залізрудних родовищ: Звіт про інженерно-геологічні роботи (2001-2008 рр.; геологічне завдання) / І. Ольшанська, В. Бутирін, В. Чумаченко // Книга 1, Текст. – Дніпропетровськ: КП «Південукргеологія», 2008. – 247 с.
3. Сергеев Е. М. Инженерная геология, изд. 2. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1982. – 248 с.
4. Далматов Б. И. Механика грунтов, основания и фундаменты (включая специальный курс инженерной геологии) / Б. И. Далматов // 2-е изд. перераб. и доп. – Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1988. – 415 с.
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 23.10.2012*