

Averyanov V.S., Korobochka A.N.  
(DSTU, Dneprodzerzhinsk, Ukraine)

### **THE RELATION OF MECHANICAL IMPURITIES PRODUCING DURING SEWAGE TREATMENT OF CAR WASHING INSTALLATION**

The given article considers secondary resources application – industrial wasters as a directly road-building material or as a starting product for its production. Samples' experimental researches of course pavement have been conducted and recommendations for mechanical impurities application during highways building have been given.

Key words: mechanical impurities, reclamation, highways.

УДК 550.41

© 2013 Орлинская О.В.<sup>1</sup>, Пикареня Д.С.<sup>2</sup>,  
Максимова Н.Н.<sup>3</sup>, Шевченко Е.А.<sup>4</sup>

### **РАЗВИТИЕ ОПАСНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ ПОД ДЕЙСТВИЕМ НАГРУЗКИ ОТ ОТВАЛОВ СКАЛЬНЫХ ПОРОД**

*На основании результатов теоретического моделирования осадки отвалов скальных пород установлено, что тяжелые по массе рудные отвалы в отличие от легких отвалов вскрышных пород могут привести к перераспределению водных ресурсов и к развитию процессов подтопления, загрязнению поверхностных и подземных вод, грунтов, а также развитию оползневых явлений на прилегающих территориях.*

*КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: отвал горных пород, осадка основания, подтопление, загрязнение подземных и поверхностных вод.*

<sup>1</sup>д-р геол. наук, проф. ДГАУ, г. Днепродзержинск, Украина;  
e-mail: orlinska@mail.ru

<sup>2</sup>д-р геол. наук, проф. ДГТУ, г. Днепродзержинск, Украина;  
e-mail: nippel@rambler.ru

<sup>3</sup>аспирант ДГАУ, г. Днепродзержинск, Украина;  
e-mail: natalya.maksimova.96@mail.ru

<sup>4</sup>магистр ДГАУ, г. Днепродзержинск, Украина; e-mail: Katushka\_249@mail.ru

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Проблема отходов остро стоит во всех горнодобывающих регионах мира. Особенно напряженная ситуация сложилась на уникальных месторождениях железорудных формаций докембрия, в пределах которых в течение десятков лет складировались миллиарды тонн скальных пород и отходов обогащения железистых кварцитов.

Например, горно-металлурги-

ческим комплексом Украины за 2011 г. образовано 100-120 млн т отходов [1]. В отвалах пустых пород заскладировано более 2,2 млрд м<sup>3</sup>. Годовой объем складирования вскрышных пород горнодобывающих предприятий-й составил около 70 млн м<sup>3</sup>, в том числе отходов обогащения и пустых пород – почти 52 млн т [1].

Вокруг таких отвалов наблюдаются бугры выпирания подстилаю-

щих пород, зоны подтопления прилегающих территорий, развитие подземных и поверхностных форм карста, провальные и суффозионные явления. Все они территориально тяготеют к отвалам скальных пород. Причины развития этих опасных экологических процессов изучены очень слабо, поскольку отсутствуют технологии бурения отвалов и подстилающих толщ. Одним из путей преодоления этих трудностей является теоретическое и экспериментальное моделирование влияния отвалов на подстилающие слои горных пород.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Для исследования влияния отвалов горнодобывающей промышленности на состояние нижележащих слоев горных пород и прилегающих территорий выбран Левобережный отвал Южного горно-обогатительного комбината, разрабатывающего Скелеватское месторождение магнетитовых кварцитов на юге г. Кривой Рог (рис. 1).

Массив Левобережного отвала, площадью 900 га принят условно однородным с соотношением

вскрышных пород (сланцы, кварциты) и отходов обогащения (окисленные железистые кварциты) 1:1. Для проведения аналитического моделирования приняты следующие значения плотности пород, слагающих тело отвала: для железистых кварцитов  $\rho = 3,80 \text{ г/см}^3$ , а для сланцев криворожской серии  $\rho = 3,09 \text{ г/см}^3$ . Расчетные средние плотности с учетом 45% пустотности сложения пород в теле отвала составила  $\rho^{min} = 1,9 \text{ г/см}^3$ , а исходя из 15% пустотности сложения отвала  $\rho^{max} = 2,9 \text{ г/см}^3$ . Максимальная высота модельного разреза отвала, проведенного через его центр (ядро), – 102 м/. Осадка основания отвала скальных пород определялась по схеме линейно-деформируемого слоя [3], а с помощью программы *Plaxis 8.2* смоделирована западная часть разреза I-I (см. рис. 1).

В основе решения задачи о деформации упруго слоистого залегания грунтов несжимаемого основания под действием всех местных нагрузок лежит ряд допущений:

- рассматриваемый грунт является линейно-деформируемым телом;

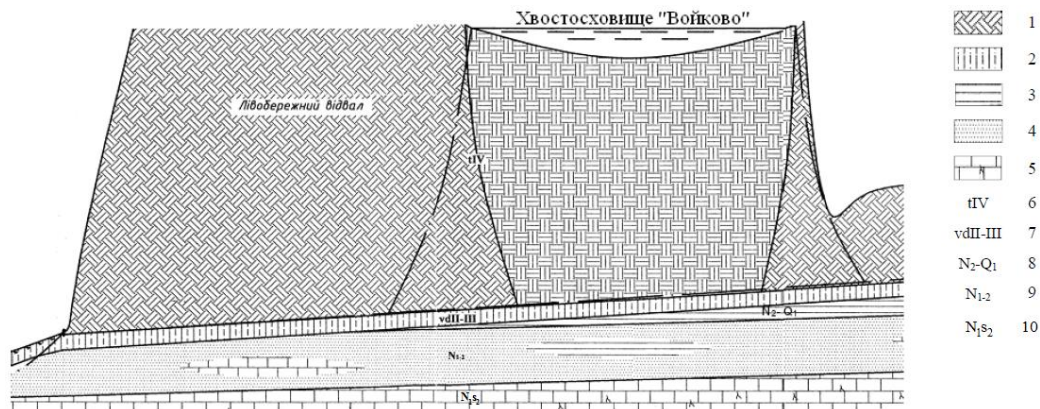


Рисунок 1 – Схематический геологический разрез Левобережного отвала и подстилающих горных пород:

1 – насыпные грунты; 2 – суглинок средний; 3 – глины красно-бурые; 4 – песок мелкозернистый; 5 – известняк; 6 – современные техногенные отложения; 7 – средне-верхнечетвертичные эолово-делювиальные отложения; 8 – плиоцен-нижнечетвертичные отложения; 9 – нижне-верхнеэоценовые отложения; 10 – неогеновые отложения среднесарматского подъяруса [2]

- деформации развиваются под действием всех компонентов напряжений;

- осадка фундамента равна средней осадке поверхности грунтовой толщи, развивающейся под действием местной равномерно распределенной нагрузки (от сегмента разреза);

- фундамент не обладает жесткостью;

- распределение напряжений в грунтовом слое соответствует среде однородного полупространства, а жесткость подстилающего слоя учитывается поправочным коэффициентом  $k_c$ .

В качестве основной расчетной модели принят разрез отвала, раздробленный на сегменты упрощенной геометрической формы. Последние поочередно рассчитывались согласно стандартной методике определения осадки основания с использованием схемы линейно-деформируемого слоя [3]. Толщина модельного разреза принималась в двух вариантах: 1 м и с учетом истинных параметров (длины отвала), но без рассмотрения изменений высоты отсыпки уступов.

Осадка фундамента для слоистого залегания грунтов находилась по формуле:

$$S = \frac{p \cdot b \cdot k_c}{k_m} \sum_{i=1}^n \frac{k_i - k_{(i-1)}}{E_i}, \quad (1)$$

где  $p$  – среднее давление под подошвой фундамента, кПа;  $b$  – ширина прямоугольного фундамента, м;  $k_c$  – коэффициент, учитывающий концентрацию напряжения при наличии жесткого подстилающего слоя;  $k_m$  – эмпирический коэффициент [3];  $n$  – количество слоев, отличных по сжимаемости в пределах расчетной толщины слоя  $H$ ;  $k_i$  и  $k_{i-1}$  – коэффициенты, зависящие от формы

фундамента, соотношения сторон прямоугольного фундамента и относительной глубины, на которой расположены подошва и кровля  $i$ -го слоя соответственно.

$$\zeta = 2z_i/b \text{ и } \zeta_{i-1} = 2z_{i-1}/b, \quad (2)$$

$E_i$  – модуль деформации  $i$ -го слоя грунта, кПа.

Мощность сжимаемой толщи  $H$ , в пределах которой следует учитывать деформации грунтов основания, находилась по формуле

$$H = (H_0 + \psi b) k_p, \quad (3)$$

где  $b$  – ширина подошвы фундамента, м;  $k_p$  – коэффициент, зависящий от среднего давления под подошвой фундамента;  $H_0$  и  $\psi$  – зависят от вида грунта [3].

Согласно установленным ранее минимальной  $\rho^{min}$  и максимальной  $\rho^{max}$  плотностям была определена осадка основания по стандартной методике (табл. 1) [3]. В расчетах выбран модуль деформации  $E = 11$  МПа для суглинков полутвердых, для песков мелкозернистых –  $E = 38$  МПа и глин полутвердых – 21 МПа [2].

В качестве несжимаемого фундамента принята толща трещиноватых известняков, которые находятся на глубине от 13,5 до 24 м по латерали всего разреза-модели (см. рис. 1). Значительная глубина их залегания ( $13,5 \div 24 \text{ м} > 11 \text{ м}$ ) обусловила применение коэффициента  $a = 0$  [3]. Таким образом, в основании расчетов лежит предположение, что на глубине контакта рыхлых пород с несжимаемой толщей ( $z$ ) вертикальная деформация отсутствует ( $\sigma_{zp} = ap = 0$ ).

Таблица 1 – Расчет осадки Левобережного отвала по схеме линейно-деформируемого слоя

№ сегмента	Средняя высота сегмента $H$ , м	Среднее давление $p$ , кН/м <sup>2</sup>		Толщина слоя $h$ , м			Осадка основания $s$ , м			
							с учетом ширины разреза 1 м		с учетом истинной ширины	
		$\rho^{min}$ 1,9 г/см <sup>3</sup>	$\rho^{max}$ 2,9 г/см <sup>3</sup>	суглинок	глина	песок	$\rho^{min}$ 1,9 г/см <sup>3</sup>	$\rho^{max}$ 2,9 г/см <sup>3</sup>	$\rho^{min}$ 1,9 г/см <sup>3</sup>	$\rho^{max}$ 2,9 г/см <sup>3</sup>
1	22	410,06	625,88	4		9,82	0,013	0,020	0,178	0,272
2	34	633,73	967,27	4		10,29	0,020	0,031	0,251	0,383
3	42,5	792,16	1209,08	4		10,68	0,026	0,040	0,438	0,668
4	72	1342,01	2048,33	4		11,22	0,047	0,072	0,822	1,255
5	102	1901,18	2901,80	4		12,97	0,072	0,110	0,846	1,291
6	87,5	1630,91	2489,29	4		14,67	0,065	0,099	0,749	1,143
7	80	1491,12	2275,92	4	0,35	15,79	0,169	0,258	1,107	1,689
8	72	1342,01	2048,33	4	1,2	16,29	0,094	0,143	1,059	1,616
9	76	1416,56	2162,12	4	1,86	17	0,077	0,118	1,145	1,748
10	66	1230,17	1877,63	4	2,24	17,41	0,061	0,093	0,975	1,489
11	56,5	1053,10	1607,37	4	2,61	17,81	0,049	0,075	0,820	1,252
12	81	1509,76	2304,37	4	3,12	18,36	0,051	0,078	0,927	1,414
13	66	1230,17	1877,63	4	4,02	19,34	0,047	0,072	0,736	1,124
14	34	633,73	967,27	4	4,71	20,09	0,023	0,036	0,396	0,604

Примечание.  $\rho^{min}$  и  $\rho^{max}$  – усредненные минимальная и максимальная плотности отвальных пород, г/см<sup>3</sup>.

Результаты аналитического моделирования показали, что при средней плотности массива  $\rho^{min} = 1,9$  г/см<sup>3</sup> минимальное давление от массы Левобережного отвала на подстилающие породы составляет  $p_1^{min} = 410,06$  кН/м<sup>2</sup> = 0,410 МПа при высоте отвала  $H = 22$  м, а максимальное давление –  $p_5^{max} = 1901,18$  кН/м<sup>2</sup> = 1,901 МПа ( $H = 102$  м). При этом полученные значения осадки основания варьируют соответственно ( $s_1 = 0,013$  м) ÷ ( $s_5 = 0,072$  м). Наибольшее значение осадки  $s_7 = 0,169$  м соответствует сегменту высотой  $H = 80$  м ( $p_7 = 1491,12$  кН/м<sup>2</sup>) вследствие появления слоя глины в геологическом разрезе подстилающих отвал пород

(см. табл. 1). В результате аналогичных расчетов при максимальной средней плотности отвала  $\rho^{max} = 2,9$  г/см<sup>3</sup> получено: максимальному давлению  $p_5^{max} = 2901,80$  кН/м<sup>2</sup> ( $H = 102$  м) соответствует осадка  $s_5 = 0,110$  м, а из-за изменения геологического разреза подстилающих пород максимальная осадка  $s_7 = 0,258$  м соответствует сегменту высотой  $H = 80$  м. Минимальное давление  $p_1^{min} = 625,88$  кН/м<sup>2</sup> приводит к осадке  $s_1^{min} = 0,020$  м.

Моделирование осадки основания отвала с учетом ширины каждого сегмента дало следующие результаты. При средней плотности массива  $\rho^{min} = 1,9 \text{ г/см}^3$  минимальному давлению от массы Левобережного отвала на подстилающие породы  $p_1^{min} = 410,06 \text{ кН/м}^2$  соответствует осадка основания  $s_1 = 0,178 \text{ м}$ , а максимальному давлению  $p_5^{max} = 1901,18 \text{ кН/м}^2$  и давлению  $p_9^{max} = 1416,56 \text{ кН/м}^2$  – осадки  $s_5 = 0,846 \text{ м}$  и  $s_9 = 1,145 \text{ м}$  соответственно (табл. 1, рис. 2). При средней плотности

массива  $\rho^{max} = 2,9 \text{ г/см}^3$ , максимальному давлению  $p_5^{max} = 2901,80 \text{ кН/м}^2$  от уступа высотой  $H = 102 \text{ м}$  соответствует осадка  $s_5 = 1,291 \text{ м}$ , а вследствие появления слоя глин в геологическом разрезе подстилающих пород максимальная осадка соответствует сегменту высотой  $H = 76 \text{ м}$  и составляет  $s_9 = 1,748 \text{ м}$ . Минимальное давление  $p_1^{min} = 625,88 \text{ кН/м}^2$  от уступа высотой  $22 \text{ м}$  приводит к осадке  $s_1^{min} = 0,272 \text{ м}$  (рис. 2).

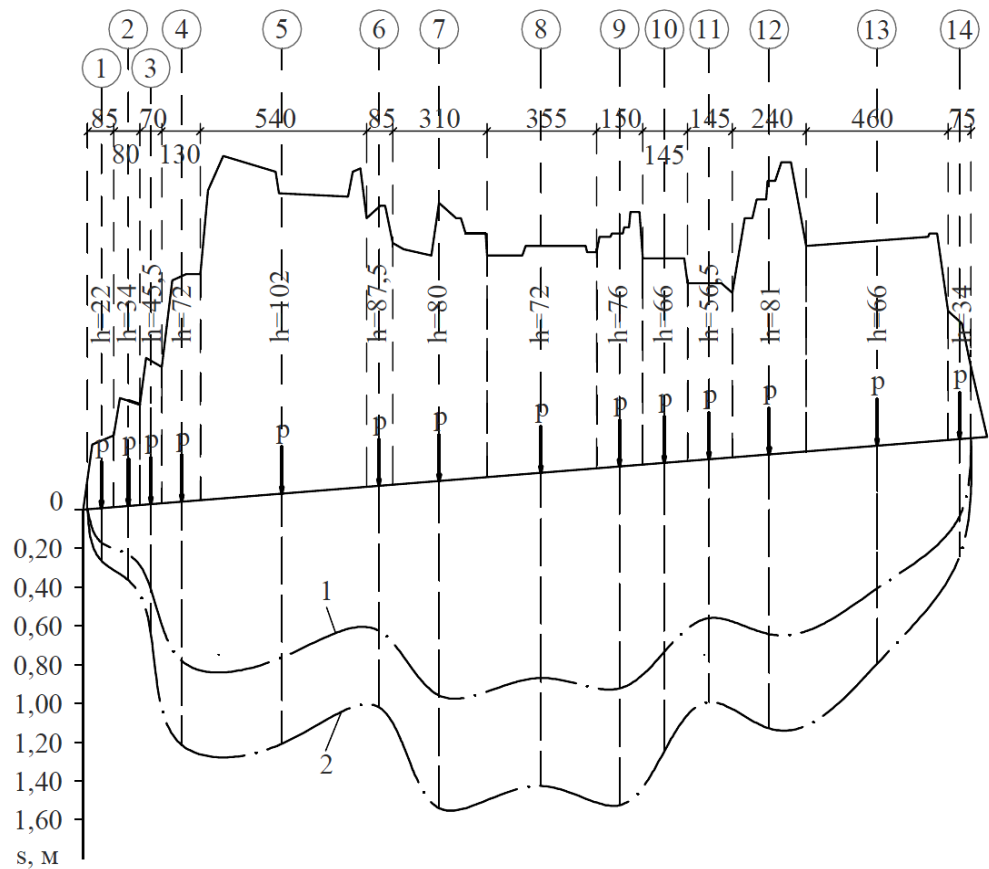


Рисунок 2 – Модель для расчетов осадки основания Левобережного отвала и кривые  $s = f(p)$  с учетом плотности сложения пород  $\rho^{min} = 1,9 \text{ г/см}^3$  (1) и  $\rho^{max} = 2,9 \text{ г/см}^3$  (2)

Для сопоставления результатов расчета осадки основания отвала по схеме линейно-деформированного слоя было выполнено моделирование с помощью программы *Plaxis* 8.2. В основе расчетов лежит метод конечных элементов, учитывающий разнообразие грунтовых условий и их способностей. Исследовались деформации породного основания отвала западной части разреза I-I, поскольку задача симметрична относительно центральной части отвала и пространственных ограничений, заложенных в программу (рис. 2, 3). Показатели физико-механических свойств грунтов и пород отвала приведены в табл. 2.

Моделирование возрастания нагрузки от отвала на породное основание выполнялось поэтапно, а именно: по очередности отсыпки уступов. Отсыпка отвала скальных пород привела к возникновению вертикальных перемещений в толще пород, включающий тело отвала и его основание, размером от 0,48 м до 5,96 м (рис. 4). Наибольшие значения

вертикальных перемещений характерны центральной части тела отвала (поверхности пятого уступа). На последней фазе моделирования осадка основания отвала характеризуется следующим рядом значений вертикальных перемещений: до 0,4 м под первым уступом; до 0,8 м под вторым уступом; до 1,2 м под третьим, четвертым и пятым уступами. Осадка происходит в слое суглинков, а под ядром отвала и в слое песка – до 0,8 м.

Таким образом, результаты моделирования развития деформаций породного основания Левобережного отвала скальных пород с помощью программы *Plaxis* (до 1,2 м) совпадают с результатами аналитических расчетов осадки основания по схеме линейно-деформируемого слоя (до 1,3 м) (см. табл. 1). Под действием давления от отвала в подстилающих его суглинках развиваются зоны неупругих деформаций, что с течением времени может привести к изменению физико-механических свойств суглинков.

Таблица 2 – Расчетные значения физико-механических характеристик литологических разностей, слагающих моделируемую толщу [4]

Расчетный слой	Удельный вес, $\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	Удельный вес водонасыщенный, $\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	Модуль деформации, $E$ , кПа	Коэффициент Пуассона, $\nu$ , ч.од.	Удельное сцепление, $C$ , кПа	Угол внутреннего трения, $\varphi$ , град
Нулевой	0,0	0,0	0,001	0,001	0,001	0,001
Отвал	29,0	29,0	30000,0	0,27	100,0	30,0
Суглинок	16,4	16,4	11000,0	0,33	19,0	20,0
Песок	20,8	20,8	48000,0	0,30	6,0	38,0
Известняк	24,0	24,0	400000000,0	0,27	24000,0	27,0
Гранит	26,0	26,0	40000000000	0,20	70000,0	45,0

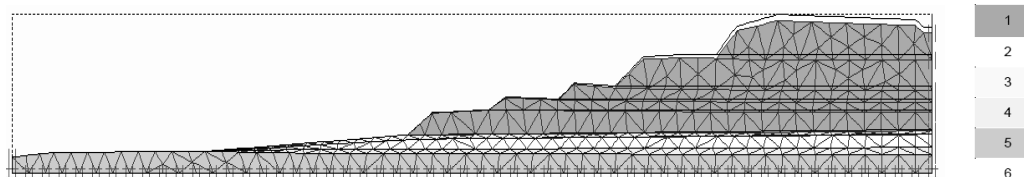


Рисунок 3 – Модельный разрез I-I Левобережного отвала:  
1 – отвал; 2 – нулевой слой; 3 – суглинок; 4 – известняк; 5 – гранит; 6 – песок

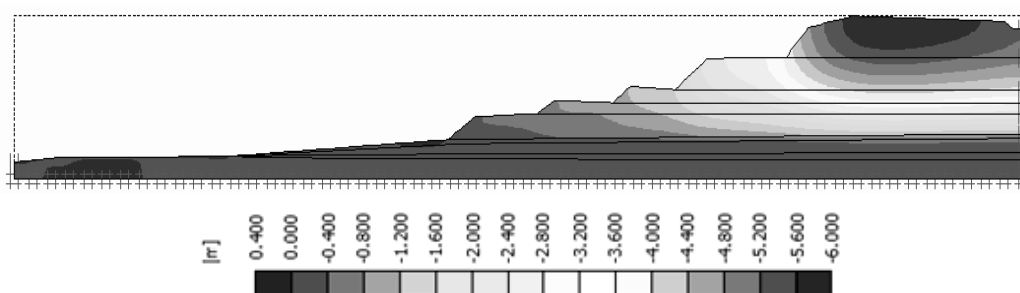


Рисунок 4 – Схема образования вертикальных перемещений в толще моделирования

При поэтапном возведении отвала осадка естественной поверхности увеличивается от 0,2 м до 0,8-1,0 м, преимущественно за счет сжатия слоя суглинков (относительные вертикальные деформации возрастают от 4 до 20% – рис. 5). Под центром отвала верхние слои песка сжимаются на 14%, а в среднем для песчаной толщи характерны относительные вертикальные деформации до 5% или 0,7 м.

При возведении 1-го уступа в суглинках формируется первая зона неупругих деформаций (пластические деформации), что отражено на рис. 6 а. Отсыпка четвертого уступа вызывает образование второй зоны неупругих деформаций в пределах

контуров 4-го уступа в слое суглинков, что с течением времени может привести к изменению физико-механических свойств горных пород (рис. 6 б). Следует отметить, что переход глинистых пород под действием высоких нагрузок от отвала из пластического рыхлого состояния в твердое подтвержден экспериментально [5].

Под действием тангенциальных напряжений у подножия отвала образуются бугры выпирания суглинков [2], а под четвертым уступом развиваются зоны растяжения, где с течением времени следует ожидать развития трещин и разрывов в противодиффузионном экране из суглинков.

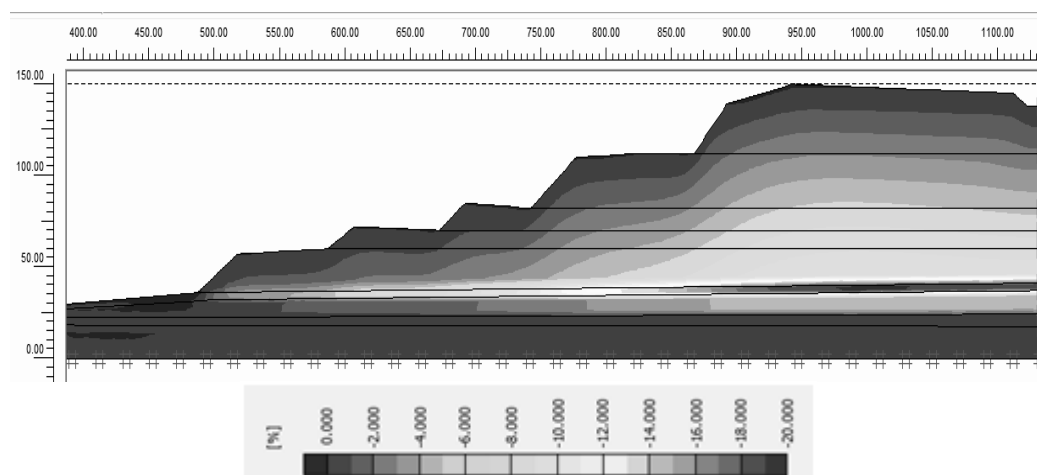


Рисунок 5 – Схема развития вертикальных деформаций в теле отвала и его основании

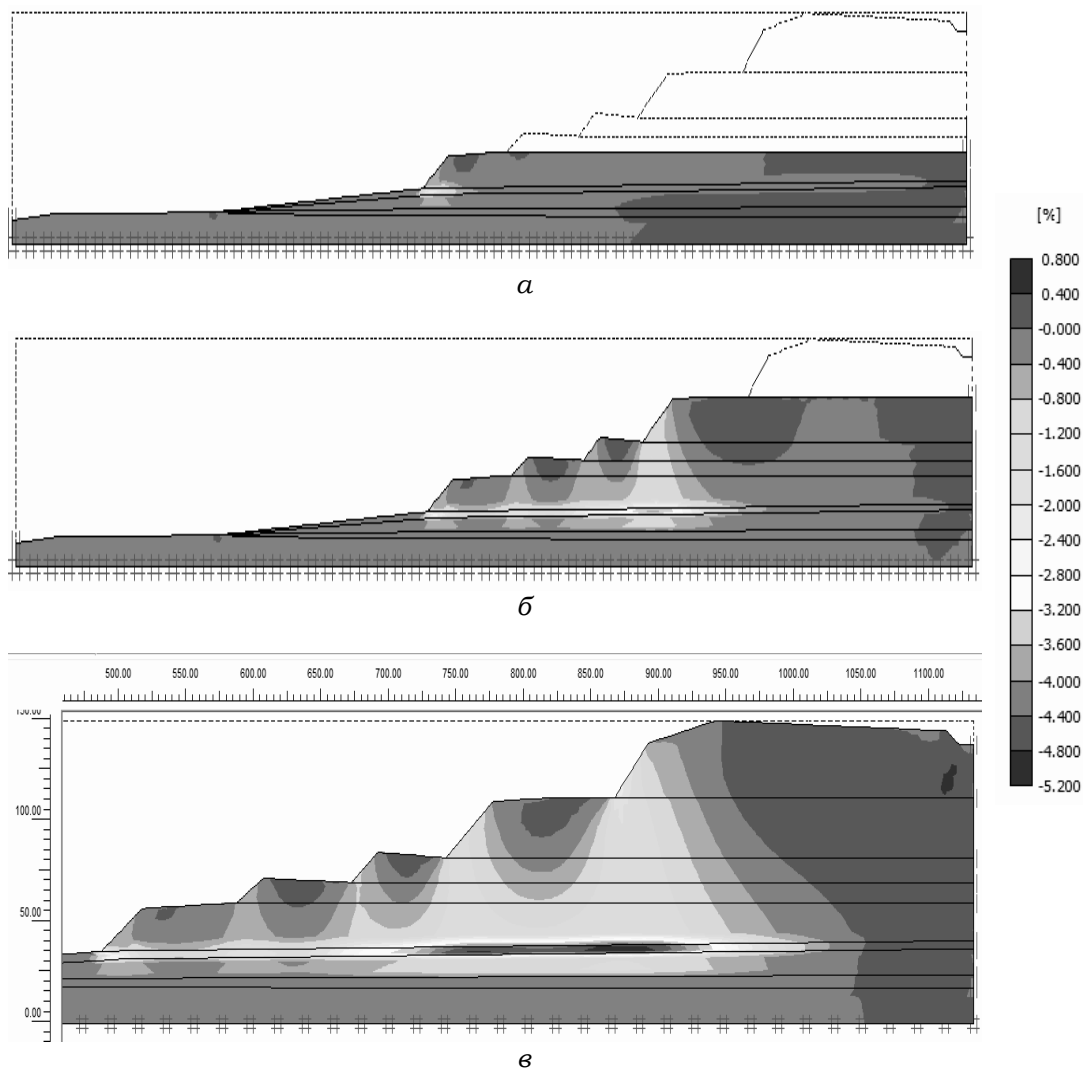


Рисунок 6 – Схема развития касательных (тангенциальных) напряжений в породном массиве при отсыпке первого (а), четвертого (б) и пятого (в) уступов отвала

С течением времени скальные отвалы, в отличие от отвалов вскрышных рыхлых пород, приводят к уплотнению подстилающих грунтов, уменьшению их коэффициентов пористости, а значит и фильтрации, к перераспределению водного баланса территории и образования участков подтопления, к вытеснению связных пород из-под отвала и образования бугров их выпирания по периметру отвала, к

нарушению целостности противофильтрационного экрана из глинистых пород вследствие потери ими пластичности и перехода в жесткое состояние. В результате взаимосвязи внутриотвальных фильтратов с подземными водами происходит загрязнение последних, что ускоряет развитие техногенного карста. Многолетняя фильтрация внутриотвальных вод, насыщенных ионами  $\text{Ca}^+$ ,  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$ , приводит к растворе-



нию карбонатной составляющей горных пород и, как следствие, к активизации карстообразования в известняках. В свою очередь изменение структурного сцепления глинистых грунтов вместе с их обводнением способствует образованию оползней на берегу р. Ингулец (рис. 7).



Рисунок 7 – Молодой оползень на левом берегу р. Ингулецоколо с. Новоселовка в южной части г. Кривой Рог

#### ВЫВОДЫ

Исследования показывают, что отвалы скальных пород, в отличие от отвалов вскрышных пород, являются факторами подтопления прилегающих территорий и загрязнения грунтов, поверхностных, подземных вод и их надо учитывать при оценке экологического состояния горнодобывающих регионов.

#### Список литературы

1. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2011 році. – Київ: Міністерство екології та природних ресурсів України, LAT & K, 2012. – 258 с.

2. Дослідження гідрологічного та гідрогеологічного режиму та визначення джерел забруднення р. Інгулець в районі діяльності підприємств Кривбасу у Дніпропетровській області: Звіт / ДРВПІ інститут «Дніпродіпроводгосп»; В.В. Ракуляк, В.В. Дем'янов. – 1860-ЗВ. – Т. 1. – Дніпропетровськ: Державний регіональний проектно-вишукувальний ін-т «Дніпродіпроводгосп», 2007. – 120 с.

3. Пособие к СНИП 2.02.01-83 [Электронный ресурс]. – М.: Стройиздат, 1986. – 415 с. – Режим доступа: [http://libgost.ru/posobie/63672-Tekst\\_Posobie\\_k\\_SNiP\\_2\\_02\\_01\\_83\\_Posobie\\_po\\_proektirovaniyu\\_osnovaniyu\\_zdaniyu\\_i\\_sooruzheniyu.html](http://libgost.ru/posobie/63672-Tekst_Posobie_k_SNiP_2_02_01_83_Posobie_po_proektirovaniyu_osnovaniyu_zdaniyu_i_sooruzheniyu.html) (дата обращения 11.11.2012).

4. Шашенко А.Н., Майхерчик Т., Сдвижкова Е.А. Геомеханические процессы в породных массивах: Монография. – Днепропетровск: Национальный горный университет, 2005. – 319 с.

5. Орлинская О.В., Максимова Н.Н., Пикареня Д.С. Рудные отвалы как фактор подтопления и загрязнения прилегающих территорий // Экологічна безпека: [Наук. журнал Кременчуцького нац. ун-ту ім. М. Остроградського]. – Кременчук: КрНУ, 2013. – Випуск № 1. – 2013 (15). – С. 28-32.

Поступила в редакцию 12.11.2013 г.

Orlinskaya O.V., Pikarenya D.S., Maksimova N.N., Shevchenko E.A. (DSTU, Dneprodzherzhinsk, Ukraine)

#### THE DEVELOPMENT OF DANGEROUS ENVIRONMENTAL PHENOMENA UNDER LOADING INFLUENCE FROM ROCK SPOIL HEAPS

The given article considers theoretical modeling results of rock spoil heaps. It has been confirmed that heavy rock spoil heaps unlike light ones can lead to water resources distribution and underflooding processes development, to the pollution of surface water and ground water and soil slip development on the adjoining territories.

Key words: rock spoil heap, rock base sagging; underflooding, the pollution of ground and surface water.