

ЧАСТИНА 3. ЕКОЛОГО-ОРІЄНТОВАНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ, ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ

УДК 622.271:504.06

*А.Г. Шапарь, П.И. Копач,
Л.В. Якубенко, Б.С. Гулямов,
Н.В. Ильченко*

**СИСТЕМАТИЗАЦИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ
ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ
ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Институт проблем природопользования и экологии НАН Украины, Днепропетровск

Для вибору ефективного способу відробки техногенних родовищ розроблена систематизація технологічних схем відробки цих масивів. Виходячи з обліку особливостей стану техногенного масиву, технології його відробки і несучої здатності порідної основи здійснюють вибір типу забійного устаткування.

Для выбора эффективного способа отработки техногенных месторождений разработана систематизация технологических схем отработки этих массивов. Исходя из учета особенностей состояния техногенного массива, технологии его отработки и несущей способности породного основания осуществляют выбор типа забойного оборудования.

Постановка проблемы. Проблема технологических отходов возникла с переходом общественного производства с этапа натурального производства на этап интенсивного применения. С развитием промышленности росло количество технологических отходов. Особенно это относится к горнодобывающей и перерабатывающей отраслям.

Рассматривая техногенные месторождения с технологической, правовой и экологической стороны необходимо отметить:

- техногенные месторождения, с одной стороны, – искусственное скопление минеральных веществ, образующихся в результате складирования отходов добычи полезных ископаемых (некондиционные руды, вмещающие породы), обогатительного (хвосты, шламы), металлургического (шлаки, золы, кеки), энергетического (золошлаковые отходы) и других производств, качество и количество которых позволяет осуществить их добычу и переработку;

- с другой стороны, техногенные месторождения – отнесенный в соответствии с действующим законодательством к категории разведанных запасов объект размещения отходов, характеристика которых позволяет вести их промышленную разработку в

качестве источника минерального сырья [1];

- с третьей стороны, техногенные месторождения, являясь инородными для природы компонентами окружающей среды, в значительной степени деформируют экологический фон территории, негативно влияют на устойчивость экосистемы и жизнедеятельность биоценозов, и которые, в то же время, уместно трактовать как локально-временные [3].

К особенностям техногенных месторождений следует отнести:

- географически расположены в промышленно развитых регионах;
- преимущественно находятся на земной поверхности;
- горная масса практически раздроблена;
- значительно больший минеральный состав, относительно природных месторождений.

Рациональное использование минеральных ресурсов техногенных месторождений определяется следующими основными аспектами: ресурсным, экономическим, технологическим, экологическим, национальной безопасности [2].

По данным Минприроды на сегодняшний день в Украине насчитывается до 200 техногенных месторождений, на которых накоплено около 25 млрд. т твердых отходов. Эти техногенные образования негативно влияют

© Шапарь А.Г., Копач П.И.,
Якубенко Л.В., Гулямов Б.С.,
Ильченко Н.В., 2010

на природные ландшафты и экологические условия, занимая площадь около 150 тыс. га плодородных земель.

Поэтому проблема формирования техногенных месторождений весьма актуальна и особенно для Кривбасса, где в хвостохранилища пяти горно-обогатительных комбинатов ежегодно перекачивается около 2,5 млрд.м³ пульпы. За многие десятилетия работы Криворожских ГОКов в хвостохранилищах, занимающих площадь более 7 тыс. га, скопились огромные массы хвостов, оцениваемых в 2,5 млрд.т с содержанием общего железа на уровне 14-18% [3].

Установлено, что в результате переработки только обследованных промышленных отходов потребности промышленности Украины могут быть обеспечены на десятки лет в скандии, галлии, иттрии, тантале, ниобии, ртути, цезии. Ежегодная потребность в дефицитных для страны свинце, цинке, меди, ванадии, цирконии, золоте, серебре, литии может быть удовлетворена на 10-25%. Различное нерудное сырье из техногенных месторождений рационально использовать для получения строительных материалов, химических реагентов и т.д. [2].

Таким образом, вовлечение в эксплуатацию техногенных месторождений являющимися новыми источниками минерального сырья, позволяет, с одной стороны, снизить нагрузку на минерально-сырьевой комплекс, а с другой – способствует восстановлению деформированного природного ландшафта и экологического фона территорий промышленных регионов страны.

Постановка задания. Учитывая негативное воздействие техногенных месторождений на экологическую обстановку горно-промышленных регионов и отсутствие, в большинстве случаев, свободных территорий и средств для строительства новых отвалов и хвостохранилищ, решение вопросов по их разработке уже давно стало особенно актуальным [4].

Основной материал. Эффективные технологические схемы освоения техногенных месторождений могут быть разработаны лишь при условии достоверного установления зависимостей изменения свойств слагающих пород во времени и пространстве; изучения, установления области применения и создания систематизации способов разработки техногенных месторождений.

Выполнение этих работ позволит выделить и сформулировать технологические задачи, отсутствие решения которых в настоящее время сдерживают процесс освоения техногенных месторождений. Кроме технологических, необходимо решить некоторые аспекты, касающиеся экономики освоения техногенных месторождений и проанализировать экологические вопросы, связанные с фактом существования на дневной поверхности крупнотоннажных накоплений отходов горнодобывающего производства, их утилизации, размещения вторичных хвостохранилищ и др.

Освоение техногенных месторождений представляет собой многоаспектную и комплексную проблему. Наиболее обоснованным подходом при ее решении является применение метода систематизации, основной смысл которого заключается в том, чтобы множество многопараметрических объектов разделить на ограниченное число однородных типов или групп, идентичных по технологическим, инженерно-геологическим и другим свойствам. Систематизация должна представлять перечень признаков, характеристик и их значений, влияющих на эффективность освоения техногенных месторождений и выбор рациональной технологической схемы разработки.

В этой связи, в основу систематизации технологических схем открытой разработки техногенных месторождений должны быть положены следующие признаки: состояние массива на момент начала освоения, горно-технические условия применения технологических схем, способы вскрытия и формирования рабочей зоны.

Систематизация технологических схем разработки техногенных месторождений построена с учетом иерархической значимости систематических признаков. В качестве признаков верхней иерархии (систем) приняты способы разработки по показателю устойчивого состояния массива, который отражает несущую способность породного основания. Подсистемами являются способы разработки техногенного месторождения в зависимости от его обводненности.

Следующими по иерархии являются типы и подтипы. В этом случае типы отражают способ вскрытия месторождения и

расположение вскрывающих выработок в контурах месторождения, а подтипы – формирование рабочей зоны и развитие фронта горных работ.

Систематизация технологических схем открытой разработки техногенных месторождений представлена в виде таблицы (таблица 1).

Таблица 1 – Систематизация технологических схем открытой разработки техногенных месторождений

<i>Система</i>	<i>Подсистема</i>	<i>Тип</i>	<i>Подтип</i>
<i>Способ разработки техногенного месторождения по показателю обводненности – устойчивости породного основания</i>	<i>Способ разработки по фактору влажности массива</i>	<i>Способ вскрытия массива по фактору расположения вскрывающих выработок</i>	<i>Способ формирования рабочей зоны технологической схемы</i>
А. Устойчивое состояние массива по всей его мощности	А-С. «Сухой» массив – «сухой» способ его разработки	А-С-І. Приконтурное расположение траншеи	А-С-І-1. Одностороннее развитие фронта горных работ с формированием рабочей зоны по всей мощности массива
		А-С-ІІ. Центральное расположение траншеи	А-С-ІІ-2. Двухстороннее развитие фронта горных работ с формированием рабочей зоны по всей мощности массива
		А-С-ІІІ. Центральное расположение котлована	А-С-ІІІ-3. Радиальное развитие горных работ с формированием рабочей зоны по всей мощности массива
Б. Устойчивая верхняя часть массива, нижняя – неустойчивая	Б-В. «Влажный» массив – «комбинированный» способ разработки	Б-В-І. Приконтурное расположение траншеи	Б-В-І-4. Одностороннее развитие фронта горных работ с послышной отработкой массива.
		Б-В-ІІ. Центральное расположение траншеи	Б-В-ІІ-5. Двухстороннее развитие фронта горных работ с послышной отработкой массива
В. Неустойчивое состояние массива	В-М. «Мокрый» массив – «гидравлический» способ разработки	В-М-ІІ. Центральное расположение траншеи	В-М-ІІ-5. Двухстороннее развитие фронта горных работ с послышной отработкой массива
		В-М-ІV. Без проведения вскрывающих выработок	В-М-ІV-4. Одностороннее развитие фронта горных работ с послышной отработкой массива

В работе [5] представлена классификация технологических схем освоения техногенных месторождений, позволившая установить степень разработки методической базы для определения их основных параметров. Систематизация технологических схем вызвана не только необходимостью их дальнейшего упорядочения, но и с целью установления взаимосвязи между состоянием массива по фактору обводненности и, как следствие, его несущей способности породного основания со способами разработки техногенного месторождения, каждому из которых соот-

ветствуют определенное вскрытие и формирование рабочей зоны.

Исходя из особенностей состояния техногенного массива, несущей способности его породного основания и технологии разработки этого месторождения, все способы разделены на три группы, которые условно названы «сухими», «влажными» и «мокрыми».

Как следует из систематизации, разработка технологических схем производства горных работ неразрывно связана с целым комплексом факторов. В основе разработки технологических схем, во-первых, должна

лежать достоверная информация о свойствах пород, строения и состояния массива; во-вторых – возможность и особенности применения в этих условиях конкретного экскавационного и транспортного оборудования; в-третьих – учет и использование накопленного на настоящее время передового производственного опыта и научно-технического потенциала; в-четвертых – соблюдение экономичности разрабатываемых технологических систем; в-пятых – использование существующего серийного горно-транспортного оборудования.

Одним из важных факторов для разработки технологических схем является определение несущей способности породного основания техногенных месторождений.

Несущая способность породного основания под опорными элементами экскаваторов определяется по формуле, соответствующей разработкам проф. К. Терцаги [6], для определения предельной критической нагрузки от ленточного равномерно нагруженного фундамента (плоская задача), а именно:

$$q_0 = \frac{b}{4} \gamma \cdot N_\gamma + C \cdot N_c + q \cdot N_q, \quad (1)$$

где N_γ , N_c , N_q – безразмерные величины, зависящие от угла внутреннего трения грунта или коэффициенты несущей способности; C – сцепление грунта, т/м^2 ; q_0 – несущая способность пород, т/м^2 ; q – интенсивность пригрузки на поверхности перемещения машины, т/м^2 ; γ – плотность грунта, т/м^3 ; b – ширина лыжи или диаметр базы экскаватора, м.

В этой формуле пригрузка q , которая появляется при заглублении опорного основания (в случае фундамента), отсутствует, в связи с чем

$$q \cdot N_q = 0. \quad (2)$$

На основании проведенных исследований разработана номограмма (рисунок 1), отражающая изменение во времени (после завершения эксплуатационного периода шламохранилища) таких физико-механических свойств техногенного массива как: влажность, плотность, сцепление, угол внутреннего трения пород. Анализ номограммы показывает, что эти физико-механические свойства взаимосвязаны и изменяются в зависимости от степени их обводненности.

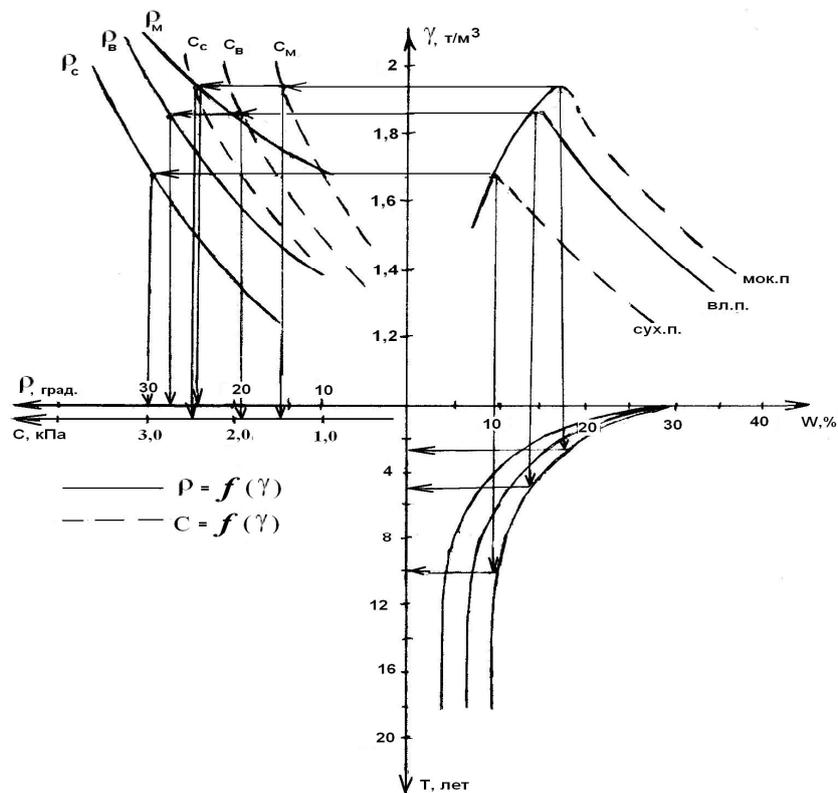


Рисунок 1 - Номограмма взаимосвязи физико-механических характеристик техногенных пород: угла внутреннего трения – ρ ; сцепления – c ; плотности – γ ; влажности – W

Как показывает зависимость W основная группа пород, слагающих массив, переходит в разряд «сухих» через 10 лет после окончания формирования техногенного массива с определённой остаточной влажностью, присущей каждому типу пород.

На графике $\gamma = f(W)$ отражено изменение плотности пород с увеличением их влажности. Пиковое значение плотности соответствует оптимальному значению влажности. Дальнейшее увеличение влажности приводит к фазовому переходу породы в текучее состояние.

При определении несущей способности породного основания техногенного массива установление параметров ρ , c , γ осуществляется следующим образом: в соответствии с длительностью периода после окончания формирования месторождения (или влажностью его пород - W) по номограмме в соответствии со стрелками определяется плотность - γ , сцепление - C и угол внутреннего трения пород - ρ .

Затем в соответствии с полученными значениями этих параметров по таблице 2 определяются значения коэффициентов несущей способности.

Таблица 2 – Значения коэффициентов несущей способности N_γ , N_c , N_q для случая плоской задачи

Коэффициент несущей способности	5 7 9 11 13 15 17 19 21 23 25 27 29 31 33															
	N_γ	1	0,05	0,27	0,42	0,61	0,92	1,02	1,33	1,74	2,35	3,07	4,10	5,22	7,17	10,25
	2	0,06	0,33	0,51	0,75	1,12	1,25	1,62	2,12	2,87	3,75	5,00	6,37	8,75	12,50	17,50
N_c	1	5,17	7,27	8,2	9,02	10,25	11,17	12,3	14,2	15,3	17,93	20,5	23,1	17,6	31,77	37,92
	2	6,31	8,8	10	11	12,5	13,6	15	17,3	18,7	21,85	25	28,1	33,7	38,75	46,25
N_q	1	1,11	2,05	2,44	2,76	3,58	4,10	4,81	6,15	7,17	8,71	10,2	12,3	16,4	20,5	25,62
	2	1,35	2,5	3	3,37	4,37	5	5,87	7,5	8,75	10,62	12,5	15	20	25	31,25

Примечание: Таблица заимствована из СНиП П-15-74, гл.15. При значениях коэффициентов в строке 1 – лыжи, 2 – база.

В соответствии с полученными данными несущая способность определяется по формуле (1).

Коэффициент запаса несущей способности пород при статической нагрузке на несущую поверхность определяется как:

$$k_3 = \frac{q_0}{q_n}, \quad (3)$$

где q_n – удельная нагрузка под опорными элементами оборудования, т/м².

При выполнении рабочих операций экскаваторов появляется дополнительная нагрузка на их опорные поверхности. В этом случае коэффициент запаса несущей способности равен:

$$k_3 = \frac{q_0}{q_{mn}}, \quad (4)$$

где q_{mn} – удельная нагрузка под опорными элементами с учетом внецентренной нагрузки при выполнении рабочих операций, т/м².

$$q_{mn} = q_n + \frac{L \cdot P}{W}, \quad (5)$$

где P – вес ковша с породой или максимальное усилие на режущей кромке ковша, т; L – максимальный радиус черпания, м; W – момент сопротивления опорных поверхностей относительно их симметрии, т.м.

Величина W определяется в зависимости от формы опорных поверхностей. При круглой форме базы экскаватора

$$W = \frac{\pi \cdot r^3}{4}, \quad (6)$$

где r – радиус базы экскаватора, м.

При прямоугольной опорной поверхности

$$W = \frac{b \cdot l^2}{6}, \quad (7)$$

где b – ширина опорной поверхности, м; l – ее длина, м.

На основании приведенных в этом разделе исследований по установлению физико-механических характеристик пород техногенного массива шламохранилища, известных технических параметров экскаваторов-драглайнов и мехлопат, определим область

их применения при различной степени обводненности техногенного месторождения, которое может быть сухим, влажным или мокрым.

Результаты расчетов по определению несущей способности породного основания – q_o , удельной нагрузки под опорными элементами с учетом внецентренной нагрузки – q_{mn} , коэффициента запаса несущей способности – k_3 для различных типов экскаваторного оборудования представлены в таблицах 3, 4, 5.

Таблица 3 – Значение параметров q_o , q_{mn} , k_3 для экскаваторов-драглайнов с шагающим ходовым устройством

Состояние техногенного массива по фактору влажности	Коэффициент	Экскаваторы				
		ЭШ – 4/40	ЭШ – 5/45	ЭШ – 10/70	ЭШ – 15/70	ЭШ – 15/90
Сухое, $c = 0,25 \text{ т/м}^2$; $\rho = 30^\circ$; $\gamma = 1,675 \text{ т/м}^3$	q_o	41,98	43,3	52,21	63,78	71,35
	q_{mn}	26,00	29,72	53,55	43,64	37,66
	k_3	1,61	1,46	0,98	1,46	1,89
Влажное, $c = 0,2 \text{ т/м}^2$; $\rho = 27,5^\circ$; $\gamma = 1,875 \text{ т/м}^3$	q_o	30,13	31,12	37,66	46,17	51,13
	q_{mn}	26,00	29,72	53,55	43,64	37,66
	k_3	1,16	1,05	0,7	1,06	1,37
Мокрое, $c = 0,15 \text{ т/м}^2$; $\rho = 25^\circ$; $\gamma = 1,95 \text{ т/м}^3$	q_o	21,79	22,5	27,39	33,75	37,87
	q_{mn}	26,00	29,72	53,55	43,64	37,66
	k_3	0,84	0,75	0,51	0,78	1,01

Примечание: c – сцепление пород; ρ – угол внутреннего трения; γ – плотность пород.

Таблица 4 – Значение параметров q_o , q_{mn} , k_3 для экскаваторов-драглайнов с гусеничным ходовым устройством

Состояние техногенного массива по фактору влажности	Коэффициент	Экскаваторы				
		Э – 801	Э – 1251, Э – 1252	Э – 2005	СЭ – 3	ЭКГ–4,6
		Емкость ковша, м ³				
		1,0	1,25	2,0	3,0	4,0
Сухое, $c = 0,25 \text{ т/м}^2$; $\rho = 30^\circ$; $\gamma = 1,675 \text{ т/м}^3$	q_o	11,8	12,42	13,26	-	-
	q_{mn}	13,24	16,65	20,00	-	-
	k_3	0,89	0,75	0,66	-	-
Влажное, $c = 0,2 \text{ т/м}^2$; $\rho = 27,5^\circ$; $\gamma = 1,875 \text{ т/м}^3$	q_o	8,06	8,43	9,13	-	-
	q_{mn}	13,24	16,65	20,00	-	-
	k_3	0,61	0,51	0,46	-	-
Мокрое, $c = 0,15 \text{ т/м}^2$; $\rho = 25^\circ$; $\gamma = 1,95 \text{ т/м}^3$	q_o	5,48	5,76	6,8	-	-
	q_{mn}	13,24	16,65	20,00	-	-
	k_3	0,41	0,35	0,31	-	-

Таблица 5 – Значение параметров q_o , q_{mn} , k_z для экскаваторов-мехлопат с гусеничным ходовым устройством

Состояние техногенного массива по фактору влажности	Коэффициент	Экскаваторы				
		Э – 801	Э – 1251, Э – 1252	Э – 2005	СЭ – 3	ЭКГ–4,6
		Емкость ковша, м ³				
		1,0	1,25	2,0	3,0	4,0
Сухое, $c = 0,25 \text{ т/м}^2$; $\rho = 30^\circ$; $\gamma = 1,675 \text{ т/м}^3$	q_o	11,8	12,42	13,26	13,99	15,45
	q_{mn}	9,34	10,92	11,34	14,4	15,8
	k_z	1,26	1,14	1,17	0,97	0,98
Влажное, $c = 0,2 \text{ т/м}^2$; $\rho = 27,5^\circ$; $\gamma = 1,875 \text{ т/м}^3$	q_o	8,06	8,43	9,13	9,66	10,74
	q_{mn}	9,34	10,92	11,34	14,4	15,8
	k_z	0,86	0,77	0,8	0,67	0,68
Мокрое, $c = 0,15 \text{ т/м}^2$; $\rho = 25^\circ$; $\gamma = 1,95 \text{ т/м}^3$	q_o	5,48	5,76	6,28	6,68	7,48
	q_{mn}	9,34	10,92	11,34	14,4	15,8
	k_z	0,59	0,53	0,55	0,46	0,47

Таким образом, как показывают данные расчетов, устойчивая работа на сухих и влажных техногенных массивах (коэффициент запаса несущей способности $k_z > 1$) обеспечивается для экскаваторов-драглайнов ЭШ–4/40, ЭШ–5/45, ЭШ–15/70, ЭШ–15/90 с шагающим ходовым устройством. Экскаваторы-мехлопаты с емкостью ковша до 3 м³ (Э–801, Э–1251, Э–1252, Э–2005) и гусеничным ходовым устройством могут устойчиво работать только на сухих шламохранилищах.

Экскаваторы-драглайны на гусеничном ходу для отработки шламохранилищ при любом состоянии техногенного массива по фактору влажности непригодны (таблицы 4, 5).

После выбора типа забойного оборудования определяют способ вскрытия, параметры и способ формирования рабочей зоны выбранной технологической схемы открытой разработки техногенных месторождений, на основе действующих норм технологического проектирования.

Под вскрытием техногенного месторождения понимается проведение выработок или сооружение подъездов для обеспечения транспортной связи от поверхности земли до техногенной залежи полезного ископаемого. Применительно к условиям залегания техногенных месторождений учтен опыт вскрытия рассыпных залежей, согласно которому возможно вскрытие без проведения вскрывающих выработок.

Исходя из анализа состояния массива, особенностей технологии и комплексной механизации освоения техногенных месторождений, все технологические схемы по способу разработки при их систематизации включают три группы, которые условно называют «сухими», «комбинированными» и «гидравлическими».

Технологические схемы, предусматривающие «сухие» способы разработки, систематизируются по применяемому забойному и транспортному оборудованию и включают различные комбинации следующего горнотранспортного оборудования:

- экскаватор типа «механическая лопата», погрузчик и автомобильный транспорт;
- экскаватор непрерывного действия (роторный, цепной) и конвейерный транспорт;
- драглайн, передвижной бункер с питателем и конвейерный транспорт (колесный транспорт);
- колесные скреперы, бульдозеры, погрузчики, кабельные экскаваторы без транспортного оборудования или с колесным транспортом.

Технологические схемы, предусматривающие «комбинированные» способы разработки включают экскаваторные и гидравлические способы в сочетании с колесным или гидравлическим транспортом.

Технологические схемы, предусматривающие «гидравлические» (мокрые) способы разработки, систематизируются с уче-

том метода размыва или разработки массива техногенного месторождения и способа транспортирования:

- гидравлический, с использованием земснарядов, гидромониторов, землесосов, драг и гидротранспорта.

Систематизация технологических схем, включающая «сухие» и «комбинированные» способы разработки техногенных месторождений, в свою очередь, может подразделяться по условиям работы экскавационного оборудования и места их установки: с верхним или нижним черпанием; с разбивкой на два и более подступов; с управляемым обрушением

массива; с предварительной предэкскавационной обработкой массива для облегчения его разработки.

Выводы. В заключении следует отметить важность учета экологического фактора при освоении техногенных месторождений. При анализе природных и техногенных скоплений минерально-сырьевых ресурсов и оценке первоочередности их освоения необходимо также исходить из степени их экологической опасности. При этом безусловным является требование рекультивации территории техногенного месторождения и экологической реабилитации сопредельных территорий.

Перечень ссылок

1. Кодекс України про надра // Відомості Верховної Ради. - 1994. - № 36. – С. 340.
2. Шапарь А.Г., Копач П.И. Минеральные ресурсы, их исчерпаемость, целесообразность и условия ввода в эксплуатацию // Открытые горные работы. - 2000. - № 4. – С. 57-62.
3. Комов И.Л. Техногенные месторождения минерального сырья // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: «Гірничо-геологічна». - Донецьк: ДонНТУ, 2004. – Випуск 1. - 150 с.
4. Трубецкой К.Н., Шапарь А.Г. Малоотходные и ресурсосберегающие технологии при открытой разработке месторождений. – М.: Недра, 1993. – 272 с.
5. Шапарь А.Г., Копач П.И., Якубенко Л.В., Гулямов Б.С. Технологические аспекты разработки техногенных месторождений на базе шламоохранилищ // Горн. информ.-аналит. бюл. – 2006. - № 9. - С. 259-267.
6. Терцаги К. Механика грунтов в инженерной практике [Перевод с англ. А.В. Сулимо-Самуйло] / К. Терцаги, Р. Пек. - М.: Госстройиздат, 1958.

A.G. Shapar, P.I. Kopach, I.V. Yakubenko, B.S. Gulyamov, N.V. Ilchenko **SYSTEMATIZATION OF FLOWSHEETS OF OPENWORK OF TECHNOGENIC DEPOSITS**

*Institute for Nature Management Problems & Ecology,
National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipropetrovs'k*

For the choice of effective method of working off technogenic deposits systematization of flowsheets of working off these arrays is developed. Coming from the account of features of the state of technogenic array, technologies of his working off and bearing strength of pedigree foundation carry out a typeselection backwall equipment.

*Надійшла до редколегії 14 квітня 2010 р.
Рекомендовано членом редколегії докт.техн.наук Т.І. Долгової*