

УДК 622.002.68:504.05

**Бубнова Е.А.**, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.  
(ИГТМ НАН Украины)

### **МЕТОДИКА УПРАВЛЯЕМОГО ФОРМИРОВАНИЯ ТЕХНОГЕННОЙ ЗАЛЕЖИ В ШЛАМОНАКОПИТЕЛЕ**

**Бубнова О.А.**, канд. техн. наук, ст. науч. співр.  
(ИГТМ НАН України)

### **МЕТОДИКА КЕРОВАНОГО ФОРМУВАННЯ ТЕХНОГЕННОГО ПОКЛАДУ В ШЛАМОНАКОПИЧУВАЧІ**

**Bubnova Ye.A.**, Ph.D. (Tech.), Senior Researcher  
(IGTM NAS of Ukraine)

### **METHOD FOR CONTROLLABLE FORMATION OF TECHNOGENIC DEPOSITS IN THE TAILINGS PONDS**

**Аннотация.** В статье представлен порядок управляемого создания техногенных залежей на базе шламонакопителей горно-обогатительных предприятий с целью повышения ресурсного потенциала страны, рационального использования природных ресурсов за счет вовлечения в разработку сформированных таким образом техногенных месторождений. Приведен перечень исследований, предшествующих обоснованию создания предварительной залежи, который включает анализ гранулометрического, химического, минералогического составов, а также определение некоторых физико-механических свойств складированного материала. На основе ранее выполненных промышленных исследований обоснованы параметры, влияющие на формирование техногенной залежи. Обоснованы модели создания техногенных залежей при проектировании и эксплуатации шламонакопителей обогатительных предприятий.

**Ключевые слова:** природные и техногенные процессы; залежь; полезный компонент; шламохранилище; методика; модель.

**Актуальность.** В Украине ежегодно образуется порядка 330-350 млн. т отходов горнодобывающей промышленности, а накоплено более 8 млрд. т [1].

Количество заскладированных отходов углеобогащения составляет порядка 1 млрд. т [1]. Количество хвостов обогащения руд более чем на 10 % превышает количество вскрышных пород, образующихся при добыче полезных ископаемых открытым способом. Общее количество накопленных хвостов предприятиями, добывающими металлические руды, составляет 5 млрд. т, предприятиями, добывающими руды цветных металлов, - 280 млн. т [1]. Общее количество хвостов- и шламохранилищ не известно, но только в Криворожском железорудном бассейне под хвостохранилища занято более 10 тыс. га земель, для сравнения - там же под отвалы занято около 5 тыс. га земель. Отходы накапливаются в виде отвалов, терриконов, шламохранилищ, разного рода свалок, площади которых составляют 160 тыс. га и ежегодно увеличиваются на 3-6 тыс. га.

Из всех образующихся отходов повторно используется только около

2,3-3,0 млн. т ежегодно, при этом отмечена тенденция к уменьшению использования отходов [2]. Многие предприятия уже проводят разработку шламо- и хвостохранилищ для извлечения полезных компонентов. Однако в виду отсутствия технологии управляемого создания участков с кондиционным содержанием полезных компонентов и недостаточной изученностью процессов, происходящих при формировании техногенных залежей, извлекаются все заскладированные отходы, что приводит к снижению рентабельности работ.

**Цель статьи:** обоснование методики управляемого создания техногенных залежей на базе шламонакопителей горно-обогатительных предприятий.

**Изложение основного материала.** Техногенные объекты горнодобывающего и обогатительного производства формируются в виде отвалов пустых пород и грунтов, шламонакопителей, шламо- и хвостохранилищ, отстойников сточных вод.

На основе анализа технологических, геомеханических и природно-техногенных процессов [3-5] разработана классификация техногенных объектов горнодобывающей промышленности, приведенная в таблице 1.

Таблица 1 - Классификация техногенных объектов горнодобывающей промышленности

Тип техногенного объекта	Вид работ, приводящий к образованию объекта	Природно-техногенные процессы, происходящие при формировании техногенного объекта	Характеристика накопленных ресурсов
Отвал	Открытые и подземные горные работы; обогащение	Сегрегация, уплотнение, выветривание, обмен веществами, изменение режима подземных и поверхностных вод, деформационные процессы, оползни	Горные породы, минералогический и химический составы определяются стратиграфией разрабатываемого месторождения, грансостав зависит от вида применяемого механического дробления и транспорта
Шламохранилище (хвостохранилище)	Обогащение	Сегрегация, уплотнение, коагуляция, окисление, обогащение, обмен веществами, кристаллизация и перекристаллизация осадков, образование конкреций, изменение режима подземных вод	Водоминеральная смесь, минералогический и химический составы определяются исходным перерабатываемым сырьем, грансостав зависит от технологии обогащения
Временный отвал (бурт)	Открытые горные работы; строительство	Сегрегация, уплотнение массива, изменение режима подземных и поверхностных вод, деформационные процессы, оползни	Грунты, горные породы
Насыпь земляная	Транспорт; строительство	Сегрегация, уплотнение	Грунты
Отстойники вод	Откачивание подземных вод и атмосферных осадков, сброс технических вод	Изменение режима подземных и поверхностных вод	Вода, минеральный осадок

Приведенная классификация техногенных объектов позволяет определить методологию управляемого создания техногенных залежей.

На основе ранее выполненных промышленных исследований [4] определены параметры, влияющие на формирование техногенного месторождения в шламонакопителе, основные из которых следующие:

- качественные характеристики исходного сырья: минералогический, химический, гранулометрический составы;
- наличие полезных / ценных компонентов в промышленных кондициях в различных классах крупности сырья;
- параметры процесса сегрегации и седиментации складированного материала;
- параметры выпуска;
- параметры шламонакопителя.

Управляемое создание техногенных месторождений возможно за счет знания минералогического и гранулометрического состава складированных отходов и закономерностей движения отдельных частиц в пульповоде и в потоке выпускаемой пульпы, что следует из вышеприведенной информации. Кроме того, на способ формирования техногенной залежи оказывает влияние способ выпуска пульпы, способ намыва и др.

Во время гидротранспортирования хвосты в пульповоде расслаиваются по крупности: мелкие – в верхней части трубы, крупные – в донной.

В случае, когда наибольшее содержание полезного компонента в хвостах обогащения приходится на крупные частицы, эффективно применять донный выпуск, при этом в донной части трубопровода, на расстоянии равном половине диаметра трубы, оборудуется дополнительное отверстие, что способствует отложению крупных песков с высоким содержанием полезных компонентов у дамбы и создается техногенная залежь.

В связи с этим возникает возможность управлять созданием техногенного месторождения путем регулирования расположения выпуска пульпы в плане и по отношению к зеркалу воды в емкости накопителя отходов обогащения.

Выбор способа и места выпуска пульпы осуществляется на основе установленных характеристик пульпы и содержания в отдельных фракциях полезных компонентов.

По отношению к зеркалу воды выпуск пульпы может быть наземным (поверхностным) 1 (см. рис. 1) и заглубленным 2 (см. рис.1).

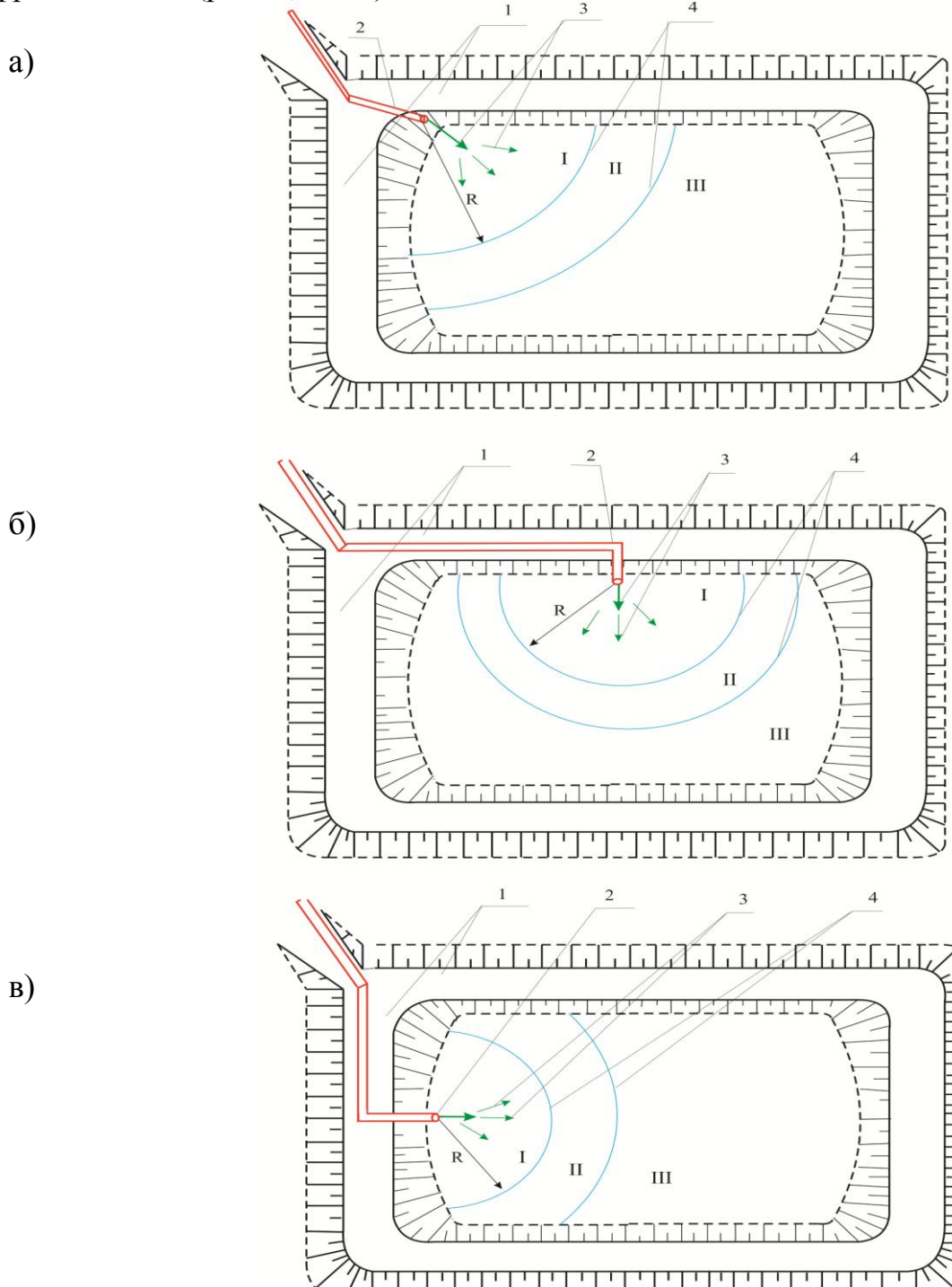


1 – наземный выпуск, 2 – заглубленный выпуск;  $h$  - глубина погружения выпускного патрубка;  $l$  - дальность выпуска от дамбы

Рисунок 1 - Расположение выпуска пульпы по отношению к зеркалу воды в емкости накопителя отходов обогащения

При этом путем регулирования параметров  $l$  и  $h$  (соответственно дальность выпуска от дамбы и глубина погружения выпускного патрубка) возможно в конкретном месте создать техногенную залежь минерального сырья для последующей его разработки.

В плане расположение выпуска 2 может быть торцевым (см. рис.2, а) и фронтальным (рис. 2, б и в) по отношению к дамбе 1.



1 – дамба; 2 – выпуск пульпы; 3 - течение потока пульпы; 4 – границы зон сортировки минерального сырья по крупности: I - крупные частицы; II – средние частицы; III – мелкие и пылеватые частицы;  $R$  - дальность перемещения частиц каждого класса

Рисунок 2 - Варианты расположения выпуска пульпы и зон распределения материала по крупности в плане

При изменении расположения выпуска пульпы в плане изменяется течение потока пульпы 3 (см. рис.2), которая содержит в себе частицы разной крупности и соответственно веса. В результате этого образуются зоны I, II и III с отсортированным по крупности минеральным сырьем (крупное, среднее, мелкое и пылеватое), границы между которыми 4, определяются возможной дальностью  $R_i$  разноса тех или иных частиц.

Дальность разлета частиц  $R_i$  определяется следующими факторами:

- местом расположения выпускного патрубка по отношению к зеркалу воды и дамбе - параметры  $l, h$  (см. рис.1);
- диаметром пульповода  $d$ ;
- скоростью течения пульпы  $v$ ;
- густотой пульпы (соотношением твердой и жидкой фаз) -  $g$ ;
- глубиной емкости накопителя отходов  $H$ ;
- уклоном емкости накопителя отходов  $i$ ;
- наличием (или отсутствием) ранее заскладированных отходов и их консистенции -  $x$ .

Параметры сегрегации и седиментации складироваемого материала зависят от качества исходного сырья и параметров выпуска. Основными критериями, определяющими место формирования залежи, являются дальность разлета частиц  $i$ -того размера, скорости и времени осаждения осадка [4].

Вышеприведенное позволило обосновать методику, блок схема которой приведена на рис.3.

**Пример модели создания техногенного месторождения на базе действующего накопителя отходов обогащения.** Поскольку для действующих предприятий остро стоит вопрос не только поведения с накопленными отходами, но и выделения дополнительных емкостей для складирования текущих, предлагается на базе действующего и формирующегося накопителя отходов обогащения полезных ископаемых создавать в разных секциях техногенное месторождение и разрабатывать его (рис.4) [6]. Емкость шламохранилища формируется ограждающими дамбами 1 (см. рис.4). По длине шламохранилища возводится разделительная дамба 2, которая разделяет емкость на две равные секции. Каждая секция поперечно разделяется дамбой 3 высотой  $1/3 h$  (где  $h$  – средняя глубина шламохранилища) на расстоянии  $1/6 L$  (где  $L$  – длина секции) от ограждающей дамбы 1, на которой размещено место выпуска пульпы 4 для обеспечения формирования техногенного месторождения за счет процесса сегрегации.

На первом этапе заполняется 1-а секция (см. рис.4). В результате сегрегации перед пониженной дамбой 3 накапливаются самые крупные и тяжелые частички с высоким содержанием марганца, что формирует техногенное месторождение. Легкие и мелкие фракции шлама смываются потоком пульпы и скапливаются за дамбой, в большей части секции. Таким образом, формируется техногенное месторождение 5. При достижении уровня намытых шламов 6 заполнение секции шламохранилища прекращается, и производятся работы по второму этапу. Добыча полезного компонента из емкости шламохранилища проводится после заполнения одной секции. Добыча с доизвлечением полезного компонен-

та осуществляется в меньшей части секции (рис.5). При необходимости, накопленные в большей части секции шламы, могут расчищаться для использования в качестве строительного материала.

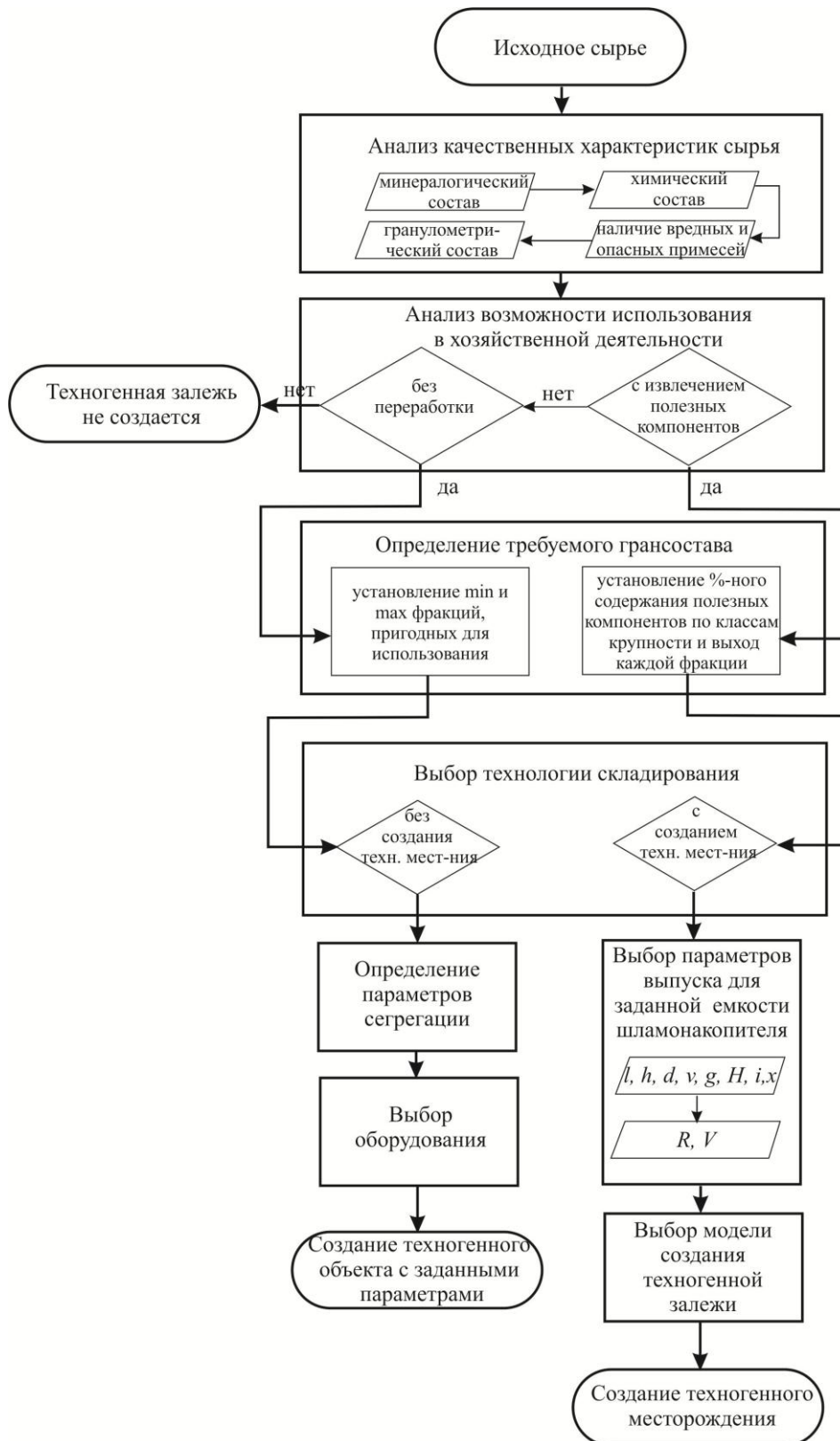
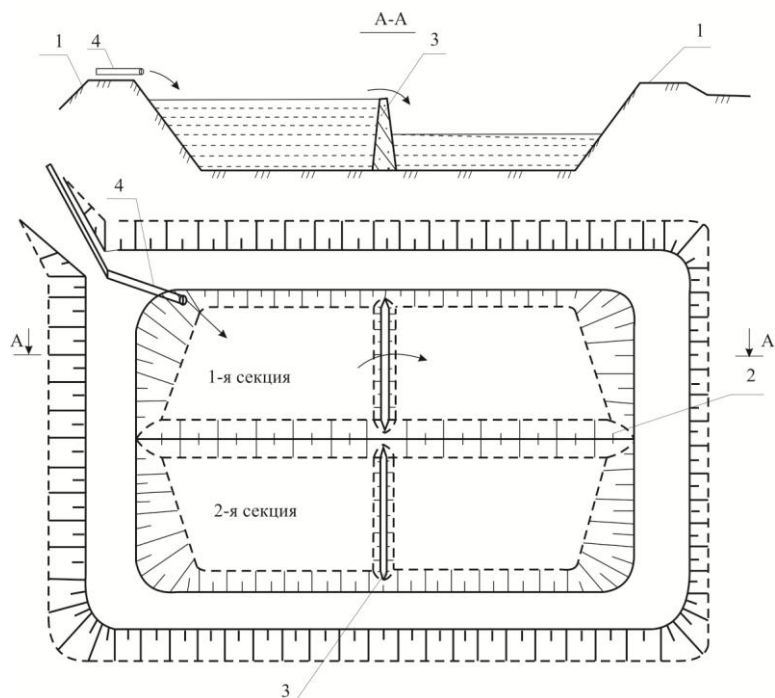
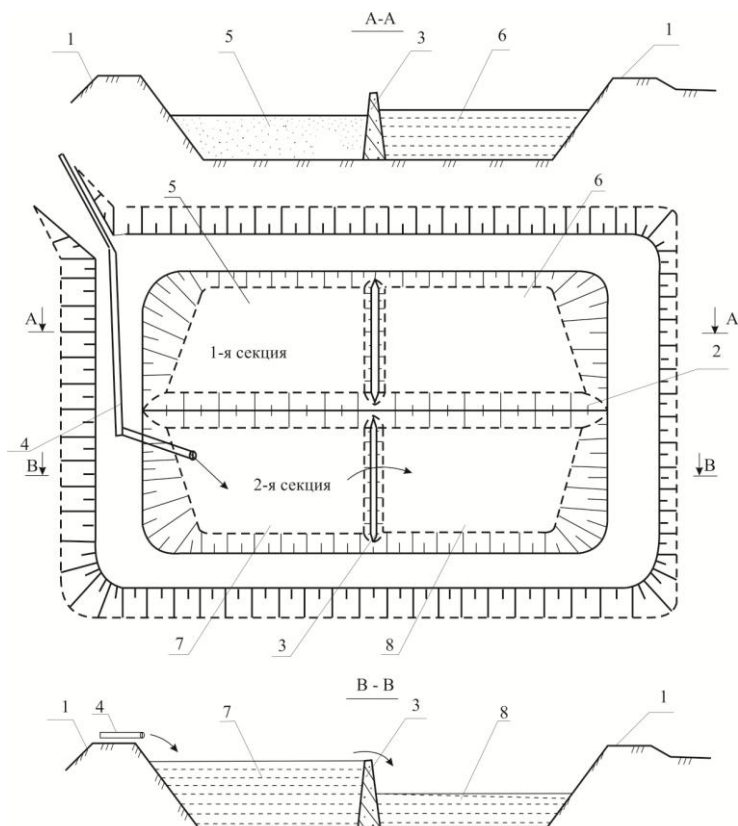


Рисунок 3 – Блок-схема методики формирования техногенной залежи



1 – оградяющая дамба; 2 – разделительная дамба; 3 – пониженная дамба; 4 – выпуск пульпы

Рисунок 4 - Схема формирования техногенного месторождения в первой секции



1 – оградяющая дамба; 2 – разделительная дамба; 3 – пониженная дамба; 4 – выпуск пульпы; 5, 7 – сформированное техногенное месторождение; 6, 8 – граничный уровень намытых шламов в секции

Рисунок 5 - Схема формирования техногенного месторождения во второй секции и его разработка в первой

На втором этапе (рис. 5) заполняется 2-я секция, а в 1-й секции ведут добычу полезного компонента 5 после осушения. Для этого выпуск пульпы 4 направляется во 2-ю секцию. В результате сегрегации перед дамбой 3 собираются крупные и тяжелые частицы с высоким содержанием марганца. Таким образом, формируется техногенное месторождение 7. При достижении уровня 8 заполнения секции шламохранилища переходят к заполнению 1-й секции, осушения 2-й секции и разработке техногенного месторождения 7.

При этом последовательно используются емкости шламохранилища, проводится подготовка свободных емкостей без наращивания дамб и дополнительного отвода земель, формируется техногенное месторождение и добывается полезный компонент.

Подобные модели могут быть разработаны для различных исходных складированных отходов обогащения.

**Выводы.** В результате управляемого складирования отходов обогащения в емкости шламо- или хвостохранилищ, протекания природно-техногенных процессов литогенеза и сегрегации частиц пульпосмеси возможно сформировать некий техногенный массив, свойства и минеральный состав которого определяются исходным сырьем, а положение залежи полезного компонента может регулироваться [6].

Сформированную техногенную залежь можно разрабатывать различным комплексом оборудования [7], состав которого определяется свойствами массива.

---

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2011 році. –К. : Міністерство екології та природних ресурсів України, LAT & K. – 2012. – 258 с.
2. Використання вторинної сировини і відходів виробництва на підприємствах та організаціях України [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua/> - Назва з екрану.
3. Четверик, М.С. Формирование техногенной геологической среды и ее взаимосвязь с природной / М.С. Четверик, Е.А. Бубнова // Збірник наукових праць. Вісник Криворізького технічного університету. Кривий Ріг. - 2010. - Вип. 25. - С. 83-87.
4. Бубнова, Е.А. Формирование техногенных залежей полезных ископаемых в шламохранилищах с перспективой их разработки / Е.А. Бубнова // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2014. - № 5. – С. 79-83.
5. Dold, B. Element flows associated with marine shore mine tailings deposits // Environmental Science & Technology. – 2006. – no. 40(3), pp. 752-760.
6. Патент на корисну модель 61522 Україна, МПК Е 21С41/26 Спосіб заповнення шламосховища з формуванням техногенного родовища / М.С. Четверик, О.А. Бубнова, М.О. Синенко (UA).; заявл. 09.12.2010; опубл. 25.07.2011, Бюл. №14.
7. Четверик, М.С. Технологии и технологические схемы разработки действующих техногенных месторождений / М.С. Четверик, Е.А. Бубнова, А.П. Семенов // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. трудов.- Днепропетровск:- 2009.- №82.- С. 122-130.

---

#### REFERENCES

1. National Report on the State of Environment in Ukraine in 2011 (2012), LAT & K Kiev, Ukraine.
2. State Statistics Service of Ukraine (2014), “The use of secondary raw materials and waste production at enterprises and organizations of Ukraine”, available at: <http://www.ukrstat.gov.ua> (Accessed 1 July 2014).
3. Chetverik, M.S. and Bubnova, Ye.A. (2010), “Formation of technogenic geological environment and its relationship with the natural”, *Visnyk Kryvorizkogo Tekhnichnogo universitetu*, no. 25, pp.83-87.



4. Bubnova, Ye.A. "The formation of technogenic mineral deposits in a tailings storage with prospect of their mining", *Metalurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost* [Metallurgical and Mining Industry], no. 5, pp. 79-83.

5. Dold, B. (2006), "Element flows associated with marine shore mine tailings deposits", *Environmental Science & Technology*, no. 40(3), pp. 752-760.

6. Chetverik, M.S., Bubnova, Ye.A. and Sinenko, M.A., M.S. Poljakov Institute of Geotechnical Mechanics under NAS of Ukraine (2011), *Sposib zapovnennya shlamoshkovyshcha z formuvannyam tekhnogenogo rodovyshcha* [Method of fill of tailings storage with forming of technogenic deposits], State Register of Patent of Ukraine, Kiev, UA, Pat. № 61522.

7 Chetverik, M.S., Bubnova, Ye.A. and Semenov, A.P. "Technology and technological development scheme existing of technogenic deposits", *Geotekhnicheskaya mekhanika* [Geo-Technical Mechanics], no. 82, pp. 122-130.

---

### Об авторе

**Бубнова Елена Анатольевна**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник в отделе Геомеханических основ технологий открытой разработки месторождений, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, [bubnova@nas.gov.ua](mailto:bubnova@nas.gov.ua).

### About the author

**Bubnova Yelena Anatolevna**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior Researcher, Senior Researcher in Department of Geomechanics of Mineral Opencast Mining Technology M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, [bubnova@nas.gov.ua](mailto:bubnova@nas.gov.ua).

---

**Анотація.** В статті представлено порядок керованого створення техногенних покладів на базі шламонакопичувачів гірничо-збагачувальних підприємств з метою підвищення ресурсного потенціалу країни, раціонального використання природних ресурсів за рахунок залучення в розробку сформованих таким чином техногенних родовищ. Наведено перелік досліджень, що передують обґрунтуванню створення покладу, який включає аналіз гранулометричного, хімічного, мінералогічного складів, а також визначення деяких фізико-механічних властивостей матеріалу, що складається. На основі раніше виконаних промислових досліджень обґрунтовано параметри, що впливають на формування техногенного покладу. Обґрунтовано моделі створення техногенних покладів при проектуванні та експлуатації шламонакопичувачів збагачувальних підприємств.

**Ключові слова:** природні і техногенні процеси; поклад; корисний компонент; шламосховище; методика; модель.

**Abstract.** The paper presents a procedure for creating technogeneuous deposits on the base of tailing ponds in the mining and processing enterprises in order to increase resource potential of the country, and to provide rational usage of natural resources through involving of the technogeneuous deposits, formed in such a way, into the field development. A list of researches is given which should be conducted before making decision on such deposit creation and which includes analysis of granulometric, chemical and mineralogical compositions and determination of certain physical and mechanical properties of the material to be stored. On the basis of previous industrial researches, parameters effecting on formation of technogeneuous deposits are substantiated. Models simulating creation of technogeneuous deposits at the stages of the tailing ponds designing and operation at the processing enterprises are presented.

**Keywords:** natural and technogeneuous processes; deposit; valuable components; tailing ponds; method; model.

*Статья поступила в редакцию 01.10.2014*

*Рекомендовано к печати д-ром техн. наук, проф. М.С. Четвериком*