

**Медведева О.А.**, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.  
(ИГТМ НАН Украины)

## **КЛАССИФИКАЦИЯ ЭТАПОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ ХВОСТОХРАНИЛИЩ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ КОМБИНАТОВ**

**Медведєва О.О.**, канд. техн. наук, ст. наук. співр.  
(ИГТМ НАН України)

## **КЛАСИФІКАЦІЯ ЕТАПІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ХВОСТОСХОВИЩ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНИХ КОМБІНАТІВ**

**Medvedeva O.A.**, Ph.D. (Tech), Senior Researcher  
(IGTM NAS of Ukraine)

## **CLASSIFICATION OF OPERATIONAL PHASES OF WASTE STORAGEES OF ORE-DRESSING AND PROCESSING ENTERPRISES**

**Аннотация.** Хранилища отходов переработки минерального сырья расположены в промышленно развитых районах, находятся на земной поверхности, и горная масса в них преимущественно дезинтегрирована, что резко снижает затраты на их разработку. Поэтому разработка таких хранилищ позволит одновременно решить целый ряд экономических, социальных и экологических проблем. Хранилища отходов переработки рассмотрены как техногенные месторождения. Изучено их строение. В статье обоснованы этапы эксплуатации хранилищ отходов горно-обогатительных комбинатов. В результате исследований установлено, что отработка хранилищ отходов ГОКов позволит увеличить запасы минерально-сырьевого комплекса, сократить количество складированных отходов обогащения, продлить срок эксплуатации хранилища.

**Ключевые слова:** хранилища отходов обогащения, техногенные месторождения.

**Введение.** Кривбасс является крупнейшей железорудной базой страны. Девятью карьерами пяти мощных горно-обогатительных комбинатов Кривбасса ежегодно складировается в отвалы более 90 млн м<sup>3</sup> вскрышных пород и свыше 70 млн т отходов обогащения сбрасывается в хвостохранилища. На всех ГОКах Кривбасса ежегодно добывается около 25 млн т тяжело обогащаемых железистых кварцитов с содержанием железа до 32-36 %. Их складировано уже более 500 млн т. Пока только на ЦГОКе путем обжиг-магнитного обогащения перерабатывается около 9,5 млн т в год окисленной руды.

Актуальность повторной переработки отходов горнорудного производства очевидна, поскольку их разработка позволяет одновременно решать целый ряд экономических, социальных и экологических проблем. Экологические проблемы имеют особую важность, так как складирование отходов горнодобывающих и обогатительных предприятий исключает из хозяйственного оборота большие площади земель, качество которых снижается вследствие пылевых заносов с отвалов и хранилищ.

**Цель работы** – выделить этапы эксплуатации хранилищ отходов горнорудного производства, в течение которых хранилище может эксплуатироваться в виде техногенного месторождения или участка технологии переработки, без прерывания процесса складирования.

Результаты анализа опыта эксплуатации хранилищ отходов отечественных железорудных ГОКов, ГОКов стран СНГ и зарубежных стран позволяют выделить следующие этапы эксплуатации хранилищ:

- проектирование и строительство;
- складирование объема отходов, утвержденного первоначальным проектом;
- модернизация хранилища или технологии складирования с целью увеличения возможного объема отходов, сверх первоначального проекта;
- складирование дополнительного объема отходов, утвержденного проектом модернизации хранилища;
- прекращение складирования отходов;
- консервация хранилища;
- разработка хранилища отходов как техногенного месторождения.

Эти этапы позволяют сформировать несколько алгоритмов эксплуатации хранилищ, которые исторически изменялись от простого к более сложному под влиянием экологических, экономических и социальных факторов (рис. 1,2).

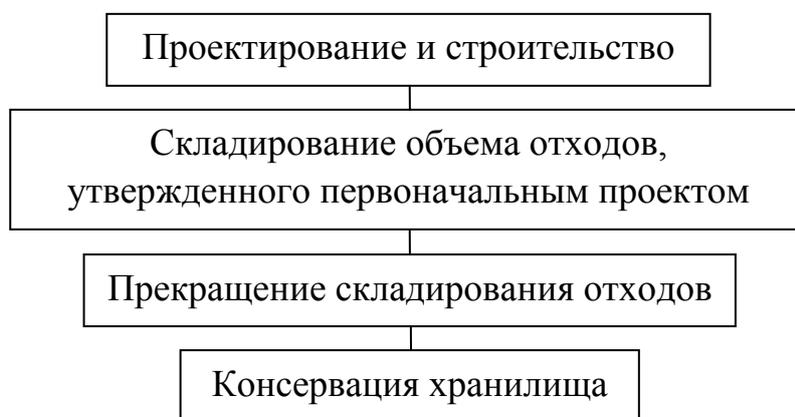


Рисунок 1 – Алгоритм эксплуатации хранилища отходов в середине XX века

Большая часть хранилищ отходов Кривбасса и Донбасса эксплуатируются со второй половины прошлого столетия, и с учетом происходящих в них процессов, представляют собой техногенные россыпные месторождения полезных ископаемых, которые сосредоточены на не менее 10 тыс. га земельных угодий, запасы которых, по разным оценкам, составляет от 5 до 8 млрд. т [1, 2]. К этим объектам уже не применим перспективный этап эксплуатации (рис. 3,4).

Реальные масштабы проблемы дальнейшего размещения материалов в отвалы горных предприятий Кривбасса и Донбасса таковы [2]:

- 1) истощение месторождений полезных ископаемых с высоким содержанием полезных компонентов доступных для открытого способа разработки;

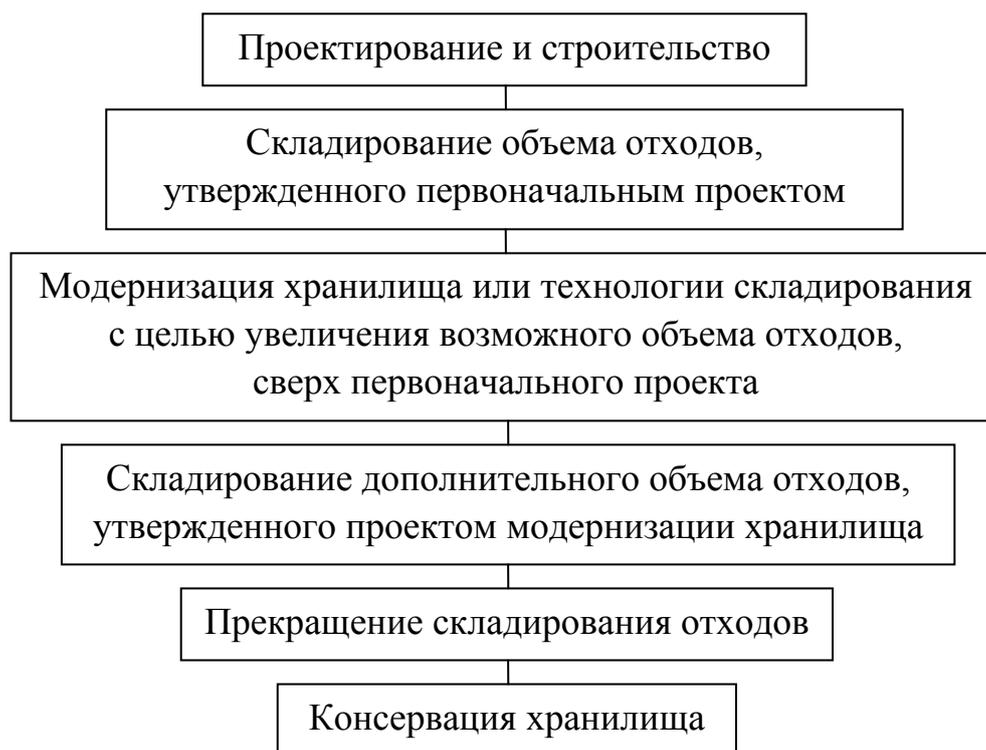


Рисунок 2 – Алгоритм эксплуатации хранилища отходов в конце XX века

2) большая глубина, на которой производится отработка месторождений полезных ископаемых как открытым, так и подземным способами, с одновременным увеличением уровня разубоживания добываемого сырья;

3) высокая ресурсо- и энергозатратность технологических процессов размещения материалов в хранилища наряду с утвердившейся тенденцией удаления мест добычи полезных ископаемых от обжитых регионов с хорошо развитой инженерно-энергетической инфраструктурой;

4) сравнительно невысокий теоретический и практический уровень развития технологии складирования материалов в хвостохранилища, которая строится по замыкающему принципу относительно технологии добычных работ;

5) недостаточный уровень соответствия технологий формирования хранилищ экологическим требованиям и экологически ориентированному планированию землепользования.

Интенсивное развитие открытых горных работ привело к необходимости складирования постоянно возрастающих объемов материалов в намывных техногенных массивах, что, закономерно, требует изучения и установления рациональных технологических режимов гидроотвалообразования в сложных горно-технических условиях при максимально возможной интенсивности возведения намывных техногенных массивов. До настоящего времени этот вопрос является недостаточно разработанным.

После сброса текущих хвостов в хвостохранилища происходит перераспределение минеральных частиц в процессе их осаждения в соответствии с их размером и плотностью. В придамбовых частях хвостохранилищ, т.е.

в непосредственной близости от хвостосливных труб накапливается наиболее крупнозернистый материал текущих хвостов (частицы от 3-4 мм до 0,2-0,3 мм), сростания магнетита и гематита с нерудными минералами, а также мелкие (менее 0,10-0,15 мм) мономинеральные частицы магнетита и гематита. В результате образуются придамбовые техногенные залежи железной руды, имеющие природу россыпных [3-6].

Валявкинское хвостохранилище располагается в городской черте г. Кривого Рога, Днепропетровской области, заполнено отходами переработки богатых гематитовых (мартитовых и железослюдковых) кварцитов залежи „Надежда”, расположенной в пределах Ингулецкой антиклинали. Залежь была сложена трещиноватыми и выщелоченными железистыми кварцитами с содержанием железа общего 43,9 %. Сброс отвальных продуктов обогащения в хранилище был начат в 1988 г. В настоящее время хвостохранилище не эксплуатируется. Лежалые отходы представляют собой гематит-кварцевые пески и алевриты. Это рыхлая сыпучая порода, темно-коричневого цвета, с хорошо выраженной слоистостью, обусловленной чередованием слоев, в разной степени обогащенных гематитом и кварцем.

Валявкинское хвостохранилище по его составу и возможности отработки как техногенного месторождения осуществляется по алгоритму, приведенному рис. 3.

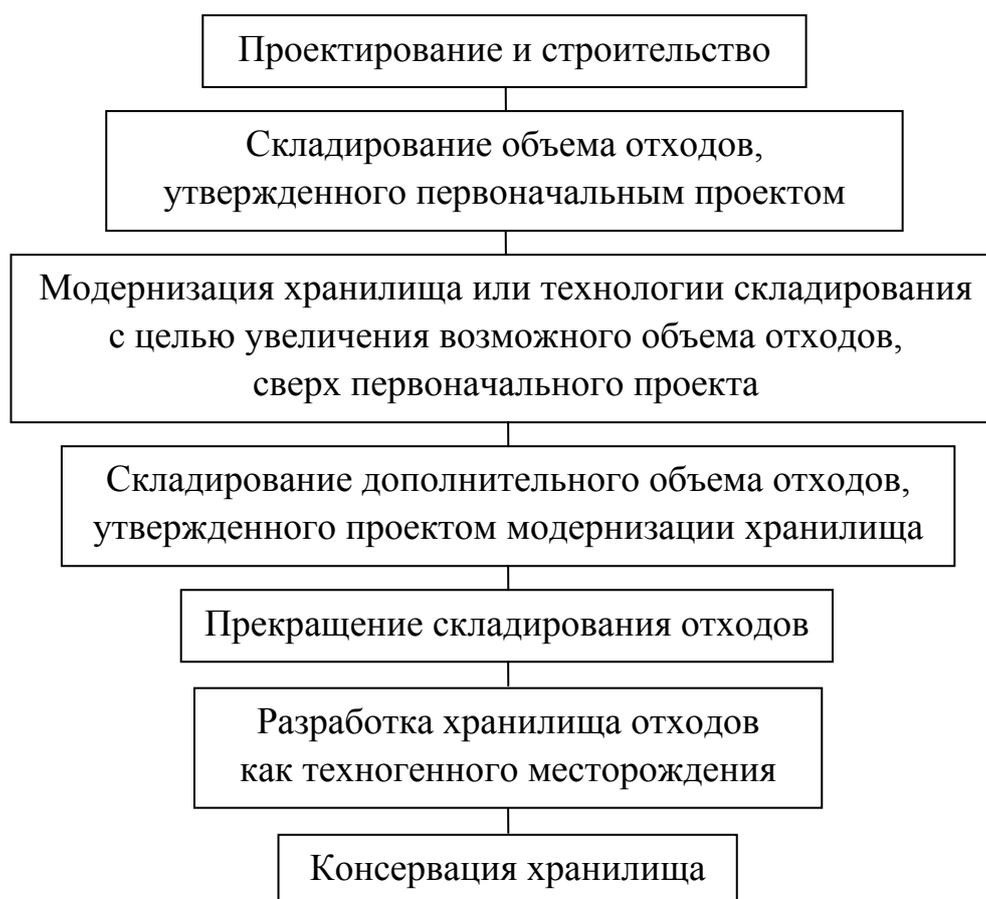


Рисунок 3 – Алгоритм эксплуатации хранилища отходов в начале XXI века

ЦГОК и СевГОК внедрили добычу лежалых отходов обогащения с высоким содержанием железа из отдельных карт хранилища. Добываемые гидравлическим способом отходы транспортируются по трубам на участок предобогащения техногенных россыпей, промпродукт которого отправляется гидротранспортом на РОФ для дообогащения, а отходы переработки – по трубопроводам возвращаются обратно в хвостохранилище (рис. 4).

В пределах продуктивных и вмещающих толщ техногенных месторождений обнаружены около 20 видов полезных ископаемых. Из металлических наибольший интерес представляют скандий, ванадий, германий, золото, цирконий, иттрий, бериллий, литий, платина и платиноиды, вольфрам, молибден, медь, титан, хром, никель. К наиболее перспективным неметаллическим полезным ископаемым относятся тальк, гранат, мусковит, мрамор, гранит, полевой шпат, кварц, песок, глина, известняк, охра, сурик и др. [3].

Часть из них попадает в ходе добычи железных руд в подаваемую на обогатительную фабрику рудную массу, а в процессе обогащения руд – в шламы. Как следствие, в последних накапливаются промышленные и близкие к ним концентрации скандия, ванадия, золота, серебра и других металлов. В качестве ценного неметаллического сырья шламы можно использовать для производства гранатового, кварцевого, мусковит-биотитового, пироксен-амфиболового и других концентратов. Перспективным является получение из отходов обогащения высококачественных железорудных концентратов (66-68 мас.% железа) и суперконцентратов (69-71 мас.% железа).

Учитывая характерные уклоны пляжа и дна яруса, геометрические характеристики дамбы обвалования и угол внутреннего трения материала пляжа, объем разрабатываемой техногенной залежи в одной карте можно оценить как:

$$W = \Phi B h^2;$$

$$\Phi = \left[ 0,2(1 - \eta) \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} + \frac{\sin(\alpha - \beta + \varphi)}{2 \sin \varphi} \right] \frac{\sin(\alpha - \beta)}{\sin^2 \alpha}; \quad \eta = \frac{\Delta h}{h},$$

где  $W$  – объем разрабатываемой техногенной залежи;  $\Phi$  – коэффициент формы техногенной залежи;  $B$  – ширина фронта намыва;  $h$  – высота дамбы обвалования для рассматриваемого яруса;  $\eta$  – относительное превышение верха дамбы обвалования над начальной точкой пляжа;  $\alpha$  – угол наклона бортов дамбы обвалования;  $\beta$  – угол наклона пляжа;  $\varphi$  – угол внутреннего трения материала пляжа;  $\Delta h$  – превышение верха дамбы обвалования над начальной точкой пляжа.

Таким образом, материалы, попадающие в техногенные массивы, содержат широкую гамму химических элементов. В силу специфики процессов обогащения, в основе которых находится высокая избирательность, в



Рисунок 4 – Современный алгоритм эксплуатации хранилища отходов



Рисунок 5 – Перспективный алгоритм эксплуатации хранилища отходов

техногенных массивах оказываются большие объемы полезных компонентов, извлечение которых первоначально или не предусматривалось, или нерентабельно, или невозможно из-за ограниченности технологий обогащения [7-11].

Специфика таких месторождений не позволяет применить для их освоения известные технологические решения, а новые методы и технологии, адаптированные с учетом особенностей техногенных россыпей, на сегодня не разработаны.

Существующие хранилища отходов обогащения на комбинатах Кривбасса, которые в настоящее время еще продолжают эксплуатироваться, необходимо отнести к следующим этапам эксплуатации (рис. 4, 5).

**Выводы.** Впервые выделены этапы эксплуатации хранилищ отходов горнорудного производства, в течение которых хранилище может эксплуатироваться как в виде техногенного месторождения или участка технологии переработки, без прерывания процесса складирования. Предложенная классификация этапов эксплуатации позволяет обосновать рациональную технологическую схему отработки хвостохранилищ ГОКов, что увеличивает запасы минерально-сырьевого комплекса за счет вовлечения в разработку техногенных месторождений, сокращает количество заскладированных отходов обогащения. В конечном итоге это продлевает дальнейшую эксплуатацию хранилища, за счет возможности заполнения вновь образованных емкостей новыми отходами обогащения.

---

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Закон України “Про відходи”.-Київ,-1998.-30с.
2. Губин, Г.Г. Уменьшение экологических рисков и снижение энергозатрат при складировании отходов обогащения / Г.Г. Губин, В.Г. Губина // Сборник научных трудов КТУ.- Качество минерального сырья:- Кривой Рог, 2005.- С.351-358.
3. Евтехов, В.Д. Альтернативная минерально-сырьевая база Криворожского железорудного бассейна /В.Д. Евтехов, И.В. Паранько, Е.В. Евтехов // Кривой Рог: Изд. Криворожского технического университета, 1999.– 70 с.
4. Блюсс, Б.А. Совершенствование технологий предобогащения ильменитовых руд [Текст] / Б.А. Блюсс, Н.А. Головач. – Днепропетровск: Полиграфист, 1999. – 126 с.
5. Булат А.Ф., Витушко О.В., Семененко Е.В. Модели элементов гидротехнических систем горных предприятий. – Днепропетровск: Герда, 2010. – 216 с.
6. Блюсс, Б.А. Проблемы гравитационного обогащения титан-цирконового песков / Б.А. Блюсс, А.М. Сокил, О.Г. Гоман. – Днепропетровск: Полиграфист, 1999. – 190 с.
7. Обоснование параметров и режимов работы систем гидротранспорта горных предприятий / Ю.Д. Баранов, Б.А. Блюсс, Е.В. Семененко, В.Д. Шурыгин. – Днепропетровск: Новая идеология, 2006. – 416с.
8. Медведева, О.А. Проблемы дальнейшей эксплуатации хранилищ отходов обогащения Кривбасса и теоретические предпосылки их решения / О.А. Медведева // Геотехническая механика. Межвед. сб. научн. трудов ИГТМ НАН Украины.- Днепропетровск, 2012.-№97.- С. 155-161.
9. Медведева, О.А. Хвостохранилища Кривбасса, проблемы и особенности их эксплуатации / О.А. Медведева // Геотехническая механика. Межвед. сб. научн. трудов ИГТМ НАН Украины.- Днепропетровск, 2012.-№103.- С. 279-285.
10. Ермошкин, В.В. Опыт и проблемы гидроотвалообразования на разрезах Кузбасса [Текст] /

В.В. Ермошкин // Материалы Четвертого съезда гидромеханизаторов России «Гидромеханизация – 2006», Россия, г. Москва, 2006.

11. Евтехов В.Д. Технегнные месторождения: от использования имеющихся – к созданию более совершенных// Геолого-мінералогічний вісник Криворізького технічного університету. – 2003. – №1. – С. 19 – 26.

#### REFERENCES

1. Zakon Ukraini (1998), “*Pro vydkhody*”, [About waste], Kyiv, Ukraine.
2. Gubyn G.G., Gubina V.G., (2005) *Umenshenie ekologicheskikh riskov I snizhenie energozatrat pry skladirovani otkhodov obogashcheniya* [Reduction of environmental risks and decrease in energy consumption when warehousing waste of enrichment], KTU, Kryvoy Rog, pp. 351-358
3. Evtekhov V.D., Pranko I.V. and Evtekhov E.V., (1999) *Alternativnaya mineralno-sirevaya baza Kryvorozhskogo zhelezorudnogo basseyna*, [Alternative mineral resources of the Krivorozhsky iron ore pool], KTU, Kryvoy Rog, Ukraine.
4. Bljuss, B.A., Golovach, N.A., (1999), *Sovershenstvovanie tekhnologiy predobogashcheniya ilmenitovikh rud*, [Improvement of technologies of preenrichment of ilmenite ores], Dnepropetrovsk, Ukraine.
5. Bulat A.F., Vitushko O.V. and Semenenko E.V., (2010), *Modeli elementov hidrotekhnicheskikh system gornikh predpriyatiy* [Models of elements of hydrotechnical systems of the mountain enterprises], Gerda, Dnepropetrovsk, Ukraine.
6. Bljuss, B.A., Sokyl A.M. and Goman O.G., (1999), *Problemi gravitatsionnogo obogashcheniya titan-tirkonovikh peskov*, [Problems of gravitational enrichment titan-tirkonovykh of sand], Polygrafist, Dnepropetrovsk, Ukraine.
7. Baranov Yu.D., Bljuss, B.A., Semenenko E.V. and Shurigin V.D., (2006), *Obosnovanie parametrov I rezhimov raboti system gidrotransporta gornikh predpriyatiy* [Justification of parameters and working hours of systems of hydrotransport of the mining enterprises], Novaya ideologiya, Dnepropetrovsk, Ukraine.
8. Medvedeva, O.A., (2012), *Problemi dalneyshey ekspluatatsii khranilishch otkhodov obogashcheniya Kryvbassa i teoreticheskie predposylki ikh resheniya*, [Problems of further operation of storages of the waste of enrichment of krivbass and theoretical preconditions of their decision], Geotekhnicheskaya Mekhanika [Geo-Technical Mechanics], no. 97, pp. 155-161.
9. Medvedeva, O.A., (2012), *Khvostokhranilishcha Krivbassa, problemy I osobennosti ikh ekspluatatsii*, [Tailings dams of Krivbass, problem and feature of their operation], Geotekhnicheskaya Mekhanika [Geo-Technical Mechanics], no. 103, pp. 279-285.
10. Ermoshkin, V.V., (2006), *Opyut I problemy gidrootvaloobrazovaniya na razrezakh*, [Experience and gidrootvaloobrazovaniye problems on cuts of Kuzbass, Materials of the Fourth congress of hydro-machine operators of Russia "Gidromekhanization – 2006"], Moscow, Russia.
11. Evtekhov V.D., (2003) *Tekhnogennye mestorozhdeniya: ot ispolzovaniya imeyushchihsy - k sozdaniyu bolee sovershennykh* [Tekhnegnny fields: from use of the available – to creation of more perfect], KTU, Kryvoy Rog, pp. 19-26.

---

#### Об авторе

**Медведева Ольга Алексеевна**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник в отделе геодинамических систем и вибрационных технологий, Институт геотехнической механики им. М.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепропетровск, Украина, [olya-1702@yandex.ua](mailto:olya-1702@yandex.ua)

#### About the authors

**Medvedeva Olga Alekseevna**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior Researcher, Senior Researcher in Department of Geodynamic systems and Vibration Technologies, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, [olya-1702@yandex.ua](mailto:olya-1702@yandex.ua)

---

**Анотація.** Сховища відходів переробки мінеральної сировини розташовані в промислово розвинених районах, знаходяться на земній поверхні, гірнича маса переважно дезінтегрована, що значно знижує витрати на їх розробку. Тому розробка таких сховищ дозволить одночасно вирішити цілий ряд економічних, соціальних та екологічних проблем. Сховища відхо-

дів в статті розглянуті як техногенні родовища. Вивчена їх будова. В роботі обґрунтовані етапи експлуатації сховищ відходів гірничо-збагачувальних комбінатів. В результаті досліджень встановлено, що відробка сховищ відходів ГЗК дозволить збільшити запаси мінерально-сировинного комплексу, скоротити кількість складованих відходів збагачення, збільшити строк експлуатації сховища.

**Ключові слова:** сховища відходів збагачення, техногенні родовища.

**Abstract.** Storages of mineral treatment waste are situated in industrialized regions on the ground surface and rock mass in them is mainly disintegrated. This sharply reduces their development cost. Therefore development of such storages will allow simultaneous solution of a whole number of economic, social and environmental problems. Storages of mineral treatment waste are considered as anthropogenic deposits. Their structure is studied. The operational phases of waste storages of ore-dressing and processing enterprises are grounded in the paper. As a result of research it is established that development of waste storages of ore-dressing and processing enterprises will allow increase in resource of mineral-raw complex, decrease in amount of storing cleaning rejects, prolongation of the term of storage operation.

**Keywords:** storages of waste of enrichment, man-caused fields.

*Стаття поступила в редакцію 21.08.2014*

*Рекомендовано к печати д-ром техн. наук Б.А. Блюссом*

УДК622.831.322:532.5.013

**Гаврилов В. И.**, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.  
(ИГТМ НАН Украины)

**ОБОСНОВАНИЕ ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО  
КОЭФФИЦИЕНТА ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ  
НА НАПРЯЖЕННЫЙ ГОРНЫЙ МАССИВ**

**Гаврилов В. І.**, канд. техн. наук, ст. наук. співроб.  
(ИГТМ НАН Украины)

**ОБГРУНТУВАННЯ ГЕОТЕХНОЛОГІЧНОГО  
КОЕФІЦІЕНТУ ГІДРОДИНАМІЧНОЇ ДІЇ  
НА НАПРУЖЕНИЙ ГІРСЬКИЙ МАСИВ**

**Gavrylov V.I.**, Ph.D. (Tech.), Senior Researcher  
(IGTM NAN Ukraine)

**VALIDATION OF GEOTECHNOLOGIC  
COEFFICIENT OF HYDRODYNAMIC IMPACT  
ON PRE-STRESSED ROCK MASSIF**

**Аннотация.** Разгрузка массива, подвергшегося сжатию, невозможна без движения слагающих его частиц. Движение частиц массива и эффективность его разгрузки определяется (при прочих равных условиях) величиной эффективного радиуса разгрузки  $R_{эф}$ . Для определения максимального  $R_{эф}$  необходимо соблюдение баланса напряжений, т. е. вес горных пород полусвода должен быть равен весу горных пород на опору в зоне нетронутого массива на единицу площади опоры. Исходя из этого была получена величина геотехнологического коэффициента для расчета эффективного радиуса разгрузки угольного пласта при гидродинамическом воздействии  $R_{эф}=0,798\sqrt{H}$ , где  $H$  - глубина ведения горных работ. Геотехнологический коэффициент гидродинамического воздействия на напряженный горный массив  $k_{г.т.}=0,798$  позволяет до начала гидродинамического воздействия на угольный пласт, отрабатываемый на определенной глубине, определять максимальный эффективный радиус разгруженной зоны при соблюдении устойчивости боковых пород.

**Ключевые слова:** угольный пласт, выбороопасность, гидродинамическое воздействие, разгруженная зона, эффективный радиус воздействия.

**Введение.** Гидродинамическое воздействие осуществляется путем нагнетания в пласт жидкости под большим давлением через скважину, пробуренную из подземной выработки. Закачиваемая жидкость перемещается вглубь пласта, оттесняя и сжимая метан, находящийся первоначально в порах в сорбированном состоянии. При достижении давлением величины  $0,75\gamma H$ , производится резкий его сброс до 0-0,5 МПа. В результате в массиве происходит динамическое перераспределение напряжений вблизи скважины: уменьшаются радиальные и увеличиваются окружные напряжения [1]. Вследствие неравномерного сжатия угля и сохраняющегося высокого давления воды в порах из них начинают прорастать микротрещины отрыва.