© Т.С. Черчинцева, Т.С. Кузнецова, 2006

УДК 622.831.3

*Т.С. Черчинцева, Т.С. Кузнецова*

# *МЕХАНИЗМ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ФОРМИРОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ В ОТКОСАХ ГОРНЫХ ПОРОД*

**Семинар № 16**

Элементарные силы, действующие в массиве откоса по двум горизонтальным направлениям, $X$ и $Z$ обусловлены упругими свойствами пород. Это является основным фактором формирования трещины отрыва вдоль простирания откоса. Взаимодействие этих сил определяет их равнодействующую $r$ в любой точке любого горизонтального сечения, расположенного на глубине $h$. Рассмотрим взаимодействие боковых сил в условиях предельного состояния откоса по горизонтальному сечению в области растягивающих напряжений, т.е. до глубины $H_{90}$ (рис. 1, сеч. В-В).

Величина и направление равнодействующей $r$ зависит соотношения размеров элементарных сил $X$ и $Z$. Угол наклона равнодействующей к горизонтали вдоль простирания откоса.

$$\delta_i = arctg\frac{x}{z} \quad (1)$$

Площадка, через которую передается растягивающая элементарная сила $r$, является площадкой отрыва с углом наклона $\delta_i^{/}$.

$$\delta_i^{/} = 90° - \delta_i \quad (2)$$

Для схемы на рис. 1 точка $0$ является

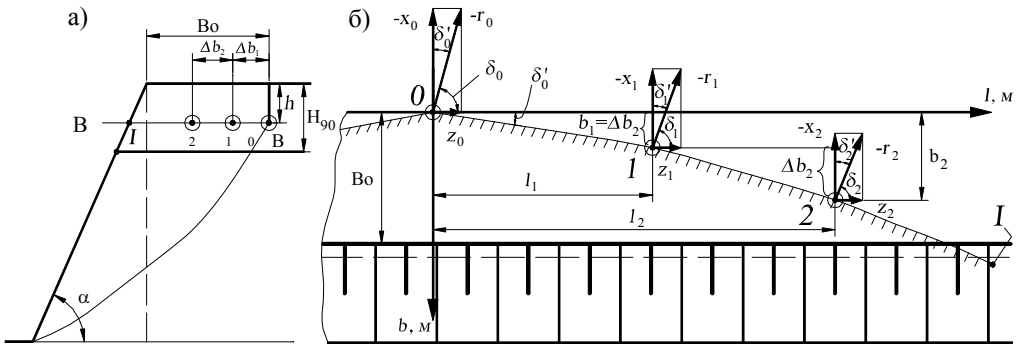



***Рис. 1. Схема формирования трещины отрыва по горизонтальной плоскости при взаимодействии боковых сил*** $X$ ***и*** $Z$***:*** а) поперечное сечение откоса; б) горизонтальная проекция откоса; $H_{90}$ - высота вертикального откоса; $B_o$ - ширина площадки призмы скольжения; $0 - I$ - трещина отрыва на горизонтальной плоскости по сеч. В-В; 0,1,2 – расчетные точки; $\Delta b_i$ - размер приближения расчетной точки к откосу по сравнению с предшествующей точкой

а)

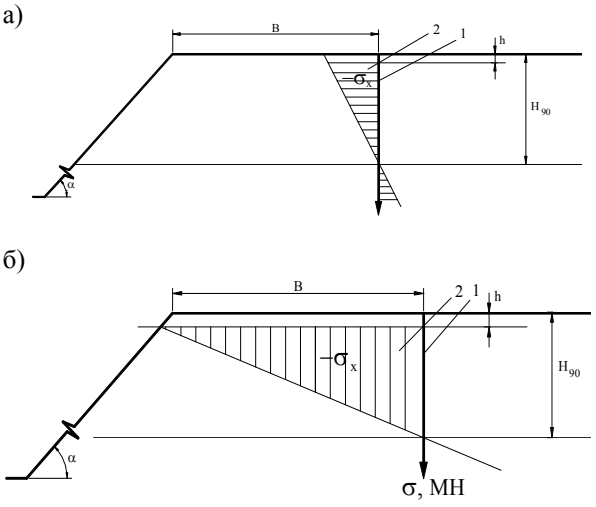



***Рис. 2. Распределение горизонтального напряжения в верхней части откоса:*** а) по вертикальному сечению А-А; б) по горизонтальному сечению В-В на глубине $h$

осевой для призмы скольжения. Точка 1 на расстоянии $\lambda_1$ по горизонтали приближена к откосу на расстояние $\Delta b_1$ и следующая, в соответствии с распределением $\sigma_x$ (рис. 2) по горизонтальному сечению $x_1$ имеет меньшую величину по сравнению с $x_o$.

В общем виде:

$$\Delta b_i = \Delta\lambda_i \cdot tg\delta_i \qquad (3)$$

Горизонтальная элементарная сила (рис. 1, 2):

$$X_i = X_0 - \frac{X_0}{B_0 + h \cdot ctg\alpha} \cdot b_i \qquad (4)$$

где $i$ - номер расчетной точки в направлении развития трещины от осевой линии.

Распределение горизонтальных напряжений $-\sigma_x$ по продольно-вертикальному сечению А-А показано на рис. 2, а. Положение этого сечения соответствует положению трещины отрыва в поперечном осевом сечении откоса.

В точке $0$ этого сечения элементарная сила $X$ на поверхности:

$$X_{пов} = -2C \cdot ctg(45 + \frac{\varphi}{2}) \qquad (5)$$

где $C$ - удельное сцепление пород, Па, $\varphi$ - угол внутреннего трения, град.

На глубине $H_{90}$ элементарная сила $X = 0$, следовательно, в точках пересечения вертикального сечения с любым расчетным горизонтальным:

$$X_0 = X_{пов} - \frac{X_{пов}}{H_{90}} \cdot h$$

(6)

где $h$ - глубина расчетной горизонтальной плоскости, м

На рис. 2, *б* показано распределение горизонтальных напряжений по расчетному горизонтальному сечению В-В на глубине $h$.

На рис. 3 изображено распределение горизонтальных напряжений $\sigma_z$, действующих вдоль простирания откоса по той же горизонтальной плоскости В-В на глубине $h$. По верхней площадке откоса $Z = \nu \cdot \gamma \cdot h$, под откосом снижается до нуля.

В 2004 г. на карьере «Барсучий лог» (Оренбургская обл.) произошел оползень юго-восточного откоса борта, сложенного кварц-серицитизиро-ванными породами. Деформация развивалась в два этапа: на первом деформация захватила часть борта высотой 80 м. По приведенной расчетной схеме была построена трещина отрыва для условий карьера «Барсучий лог»: высота откоса $H$ = 80 м, угол откоса $\alpha$ = 29º, удельное сцепление пород $C$ = 0,044 МПа,

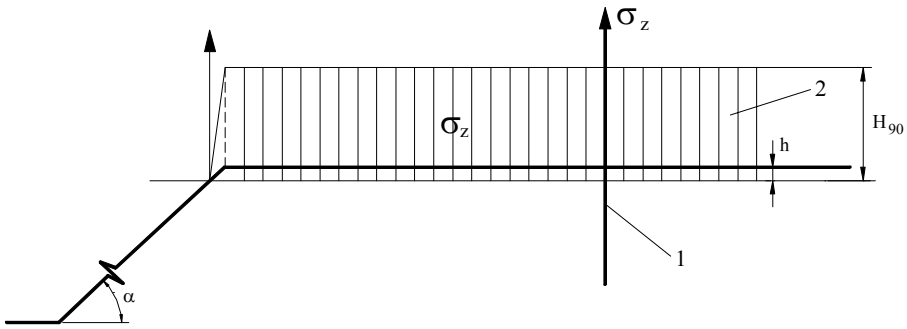



***Рис. 3. Распределение горизонтальных напряжений $\sigma_z$ по горизонтальному сеч. В-В***

удельный вес пород $\gamma$ = 0,022 МН/м$^3$, угол внутреннего трения $\varphi$ = 21º, коэффициент бокового распора $\nu$ = 0,43. При этих условиях глубина трещины отрыва $H_{90}$ = 5,2 м, ширина площадки вероятной призмы скольжения $B_0$ = 23 м, глубина расчетного горизонтального сечения 1 м. Сравнение трещин отрыва, полученной по разработанной расчетной схеме, и реальной деформации откоса показано на рис. 4.

Сходимость параметров реальной трещины отрыва и полученной по разработанной авторами расчетной схеме составляет 6 %.

Приведенная расчетная схема построения трещины отрыва является составной частью общей методики построения сферической поверхности скольжения, которая состоит из двух этапов: 1) построение осевой линии скольжения; 2) построение горизонтальной проекции поверхности скольжения (рис. 5).

При построении осевой линии скольжения используется условие формирования направлений деформаций сдвига без прямолинейного участка. В этом случае высота призмы скольжения, определяемая физико-механическими свойствами и геометрическими параметрами откоса, может быть меньше, больше высоты откоса или равной ей.

Горизонтальная проекция трещины отрыва строится по вышеприведенной расчетной схеме (ф. 1-5).

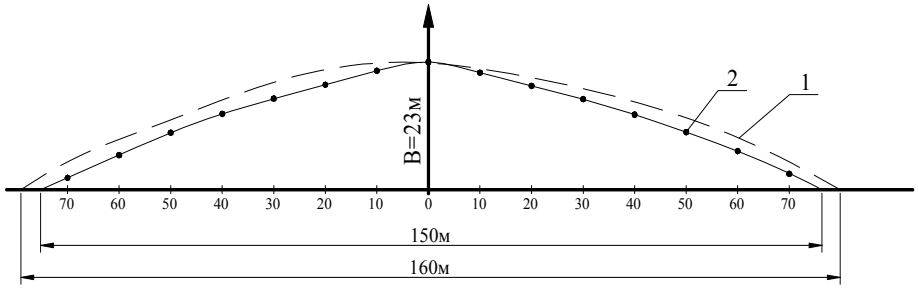



***Рис. 4. Сравнение трещин отрыва, полученной по разработанной расчетной схеме, и реальной деформации откоса:*** *1* – трещина отрыва фактической деформации, *2* – трещина отрыва, полученная по разработанной расчетной схеме

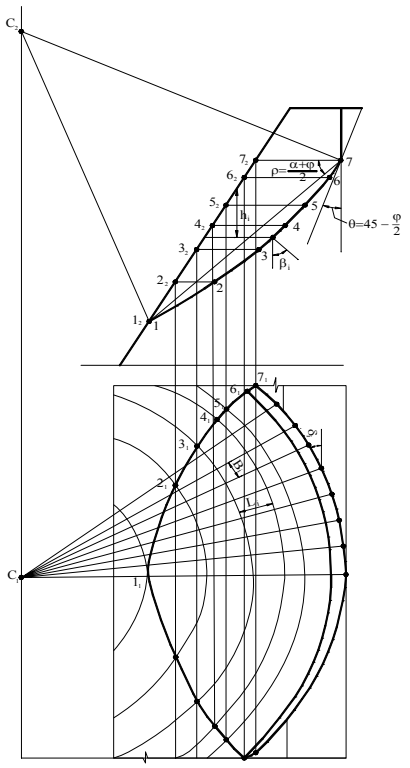


***Рис. 5. Схема построения поверхности скольжения:*** $h_i$ - высота от центра тяжести $i$ -го сектора до дневной поверхности, м; $L_i$ - длина $i$ -го сектора, м; $B_i$ - ширина $i$-го сектора, м; $\delta_i$ - угол отклонения силы $r$ от силы $Z$; $\beta_i$ - угол наклона $i$-го «пояса»

Построение горизонтальной проекции призмы скольжения ниже высоты вертикального обнажения видно на рис. 5. Горизонтальная проекция поверхности скольжения разбита на пояса в соответствие с точками, которыми разделяется осевая линия скольжения. Каждый пояс имеет наклон к горизонтали равный наклону площадки осевой линии скольжения.

Расчет коэффициента запаса устойчивости по сферической поверхности скольжения заключается в следующем: половина горизонтальной проекции поверхности скольжения разбивается на сектора. Для каждого сектора определяются силы трения, сцепления и сдвигающие силы. Для этого замеряются на схеме следующие параметры: угол наклона сектора на фронтальной проекции, длина и ширина сектора на горизонтальной проекции, высота от центра тяжести сектора до поверхности откоса на фронтальной проекции.

Коэффициент запаса устойчивости $K_{з.у.}$, рассчитывается по формуле:

$$K_{з.у.} = \frac{\sum_{i=1}^{k}\left(\sum_{j=1}^{n}(F_{тр} + F_{сц})\right)}{\sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{n}F_{сд}} \qquad (7)$$

где $F_{тр}$ - силы трения, Н; $F_{сц}$ - силы сцепления, Н; $F_{сд}$ - сдвигающие силы, Н; $i$ - номер расчетного «пояса» горизонтальной проекции призмы скольжения; $j$ - номер расчетного сектора $i$ - го «пояса».

Разработанная методика построения сферической поверхности скольжения и соответствующего расчета коэффициента запаса устойчивости позволяют более реально оценить устойчивость откосов уступов и бортов карьера, сложенных изотропными и квазиизотропными породами.

## *Коротко об авторах*

*Черчинцева Т.С.* – доцент, кандидат технических наук,
*Кузнецова Т.С.* – доцент, кандидат технических наук,
ГОУ ВПО МГТУ.

© С.Е. Гавришев, В.Ю. Заляднов, И.А. Пыталев, 2006

УДК 622.002.8.658.567.1

*С.Е. Гавришев, В.Ю. Заляднов, И.А. Пыталев*

# *РАСШИРЕНИЕ ОБЛАСТИ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ГЕОРЕСУРСОВ*

**Семинар № 16**

В настоящее время наблюдается тенденция роста объемов добычи железорудного сырья в России открытым способом. Однако с каждым годом горно-геологические и горнотехнические условия разработки открытым способом усложняются. Средневзвешенная глубина по замкнутому контуру крупных карьеров - Оленегорского, Ковдорского, Костомукшского, Михайловского, Лебединского, Стойленского, Качканарского и Коршуновского ГОКов, на которых добывается 87,5 % от общего объема железной руды в России, составила в 1990 г. – 178, в 1995 г. – 197, в 2001 г. – 259 м, т. е. за 11 лет увеличилась на 81 м [1].

С углублением карьеров возрастает расстояние транспортирования горной массы, увеличивается общий объем складируемых на поверхности земли вскрышных пород. Расширение добычи полезных ископаемых открытым способом сопровождается увеличением глубины и размеров карьеров в плане и приводит к соответствующему увеличению площадей, занимаемых горными выработками и отвалами. За последние 20 лет эта площадь увеличилась на 40 %.

Формируемые в результате открытой разработки месторождений отвалы вскрышных пород и другие техногенные образования являются источником загрязнения поверхностных и подземных вод, атмосферного воздуха.

Увеличение расстояния транспортирования горной массы, количества техногенных образований, площадей, занимаемых карьерами и отвалами, ведет к росту затрат на основные ресурсы, необходимые для ведения горных работ.

В условиях непрерывного роста мирового потребления минерального сырья при одновременном снижении качества добываемых полезных ископаемых повышение степени использования пород отвалов, поверхностей отвалов и выработанного пространства карьеров позволит снизить ресурсоемкость процессов открытой геотехнологии.

Расширение области освоения техногенных образований возможно за счет их формирования в виде новых георесурсов. Однако, в отечественной практике горных работ расширение области использования выработанного пространства карьеров и пород отвалов сдерживается отсутствием методической базы формирования техногенных образований в виде новых георесурсов. Формирование и освоение техногенных георесурсов позволяет значительно увеличить про-дуктивность горного производства и снизить ресурсоемкость освоения месторождений открытым способом разработки.

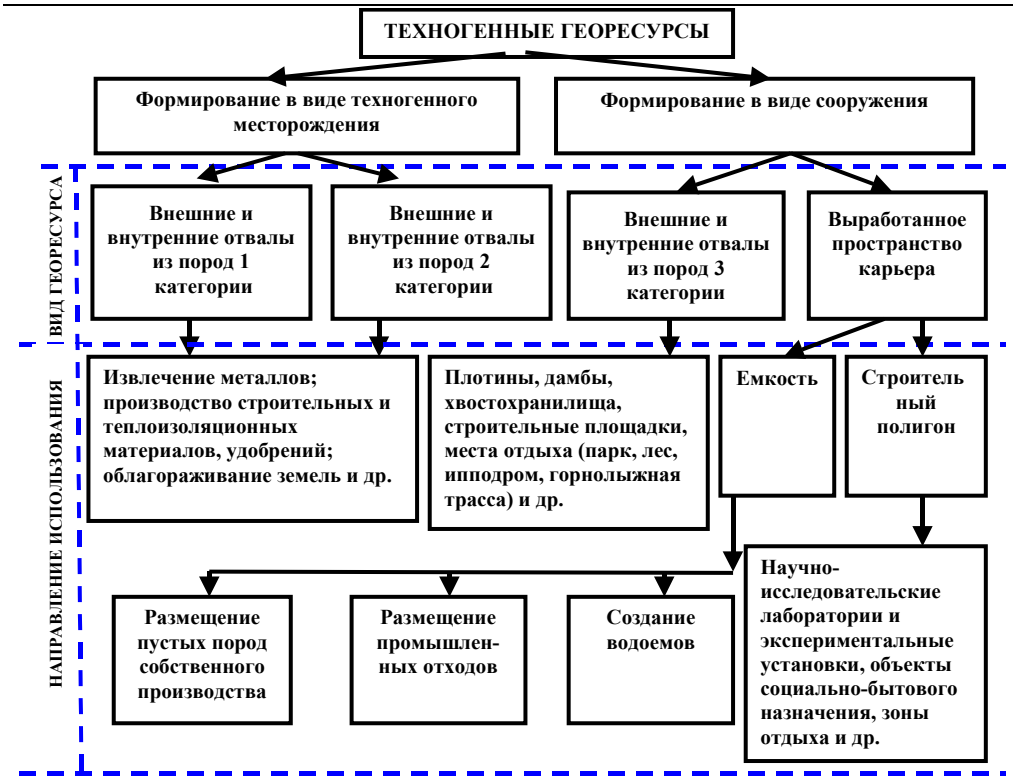



***Рис. 1. Виды и направления использования техногенных георесурсов***

Формирование отвалов горных пород, карьерного пространства с учетом дальнейшего их использования в качестве заменителей некоторых природных и производственных ресурсов позволяет относить их к новым видам продукции горного производства или к новым техногенным георесурсам. Систематизация видов и направлений использования техногенных георесурсов приведена на рис. 1.

Предлагается выделить три категории пород отвалов в зависимости от экономической целесообразности их переработки и возможных направлений дальнейшего их использования:

1. Породы, технология переработки которых известна и в настоящее время экономически целесообразна.

2. Породы, переработка которых с использованием известных технологий в настоящее время экономически нецелесообразна. К этим породам относятся некондиционные руды или металлсодержащие минералы.

3. Породы, технология переработки которых отсутствует и неизвестна возможная сфера их применения.

Использование выработанного пространства действующего карьера с углубочной системой разработки в качестве емкости для складирования отходов возможно:

1) при отработке наклонных (угол падения 8–30$^0$) или пологих (угол падения 0–10$^0$) залежей;

2) при наличии на нерабочих бортах карьера широких площадок, которые образуются после отработки рудных за-

лежей, разбитых на отдельные клиновидные блоки, объем и количество которых соответствуют параметрам кондиции для подсчета запасов;

3) при различной интенсивности отработки участков карьера с засыпкой отработанного участка вскрышей разрабатываемого участка карьера;

4) при укреплении скальной вскрышей верхних горизонтов карьера, сложенных мягкими породами, с целью предотвращения оползней.

Отработанное карьерное пространство как георесурс целесообразно использовать для размещения отвалов вскрышных пород рядом расположенного действующего карьера, либо для размещения других промышленных отходов. Таким образом, отвалы горных пород и выработанное пространство карьеров являются новым видом георесурсов.

Предлагается ввести понятие ***ценности техногенного георесурса,*** *под которым понимается денежное выражение стоимости всех полезных свойств, качеств или компонентов, содержащихся в техногенных объектах, сформированных в результате горных работ, с учетом затрат на использование георесурсов или извлечение из них полезных компонентов.*

Ценность техногенных георесурсов определяется:

- для отвалов горных пород: объемом, расстоянием транспортирования, массовой долей полезных компонентов, физико-техническими характеристиками складируемых пород и способом формирования отвалов;

- для выработанного пространства карьера: объемом, расстоянием транспортирования и классом опасности складируемых отходов, способом формирования карьерного пространства.

Расчет ценности техногенного георесурса производится по следующей методике:

При условии формирования отвала в виде техногенного месторождения, с целью извлечения полезных компонентов ценность отвалов определяется по формуле, руб.

$$Ц_o = (\sum_{i=1}^{n} \alpha_i \varepsilon_i ц_i - c_в - з_{ф.o}) \times Q, \qquad (1)$$

где $\alpha_i$ – содержание i-го полезного компонента в 1 т отвала, %.; $\varepsilon_i$ –извлечение i-го полезного компонента из породной массы, заскладированной в отвале, %; $ц_i$ – цена i-го полезного компонента, руб./т; $c_в$ – себестоимость выемки породы из отвала, руб./т; $з_{ф.o}$ – удельные затраты на формирование отвала, руб./т; n – число извлекаемых компонентов; Q – масса пород в отвале, т.

При условии формирования отвала в виде сооружения, ценность отвала определяется по формуле, руб.

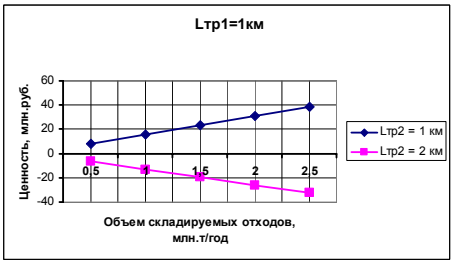
$$Ц_o = Д - С_{ф.c} + С, \qquad (2)$$

где Д – доход от реализации сооружения, руб.; $С_{ф.c}$ – стоимость формирования сооружения, руб.; С – стоимость складирования пород в обычный отвал на поверхности земли, руб.

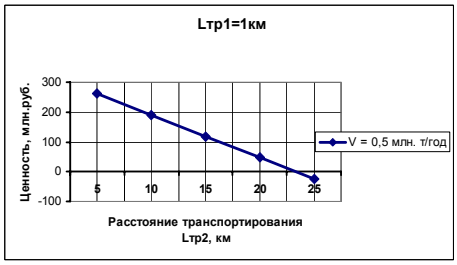
$$C = \sum_{t=1}^{T} [(З_{тр} + З_{ф.o} + З_{зем} + З_{эк}) \times \eta_t], \qquad (3)$$

где $З_{тр}$ – затраты, связанные с транспортированием отходов от источника их образования до места складирования на поверхности земли, руб.; $З_{ф.o}$ – затраты на формирование отвала, руб.; $З_{зем}$ – выплаты за занимаемую землю, руб.; $З_{эк}$ – экологические выплаты за размещение отходов, руб.; t – шаг моделирования, годы (t = 1, 2, ..,T); T – период формирования отвала, лет; $\eta_t$ – коэффициент дискон-тирования.

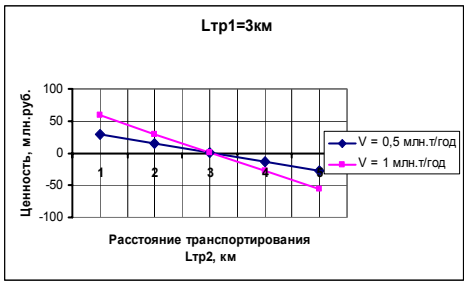
При условии использования выработанного пространства карьера в качестве емкости для размещения отходов его




а) Отходы 5-го класса опасности (электросталеплавильные шлаки)




б) Отходы 4-го класса опасности (доменные шлаки)




в) Отходы 5-го класса опасности (вскрышная порода карьера)

***Рис. 2. Изменение ценности карьерного пространства от объема, расстояния транспортирования и класса опасности отходов:*** $L_{тр1}$, $L_{тр2}$ *–расстояние транспортирования от источника образования отходов до места их складирования соответственно на поверхности земли и в карьере, км;* V *– масса складируемых пород, млн т/год*

ценность определяется разностью затрат на складирование отходов на поверхности земли и затрат на складирование отходов в карьере:

$$Ц = C – C_1, \qquad (4)$$

где $C_1$ – стоимость складирования отходов в карьере, руб.

Складирование отходов на земной поверхности связано с высокими платежами за загрязнение окружающей среды. Размер платы за размещение отходов на поверхности земли зависит от класса опасности складируемых отходов. Складирование отходов в карьерном пространстве исключает экологические выплаты за размещение отходов, а также выплаты за занимаемые земли:

$$C_1 = \sum_{t=1}^{T} [(З^1_{тр} + З^1_{ф.о}) \times \eta_t] \qquad (5)$$

где $З^1_{тр}$ – затраты, связанные с транспортированием отходов от источника их образования до места складирования в карьере, руб.; $З^1_{ф.о}$ – затраты, связанные с формированием отвала, руб.

Однако затраты на транспортирование отходов от источника их образования до места складирования в выработанном пространстве карьера могут быть значительно больше затрат при складировании на поверхности. Так, величина затрат на транспортирование зависит от места расположения карьера относительно предприятия, образующего и размещающего отходы.

С использованием предложенной методики установлены зависимости ценности выработанного пространства карьера от расстояний транспортирования, объемов складирования для различных классов опасности отходов (рис. 2).

В результате расчетов установлено, что при транспортировании отходов 5-го класса опасности на расстояние $L_{тр2}$ =

$L_{тр1}$ = 1 км с увеличением объема складируемых отходов в карьере ценность карьерного пространства увеличивается (рис. 2, *а*). При транспортировании этих же отходов на расстояние $L_{тр2}$ = 2 км, по сравнению с $L_{тр1}$ = 1 км, с увеличением объема складируемых отходов ценность карьерного пространства уменьшается и имеет отрицательное значение.

Ценность выработанного пространства карьера при складировании отходов 4-го класса опасности объемом V = 0,5 млн т/год имеет положительное значение при расстоянии перевозки отходов $L_{тр2}$ до 23 км (рис. 2, *б*).

При складировании в карьерном пространстве собственных вскрышных пород его ценность имеет положительное значение только при расстоянии транспортирования в карьер, меньшем или равном расстоянию до отвала на поверхности (рис. 2, *в*).

При изменении класса опасности складируемых отходов с 5-го на 4-й ценность выработанного пространства карьера возрастает на 95-98 %. Значительное изменение ценности при изменении класса опасности объясняется размерами платы за размещение отходов на поверхности земли, которые составляют 248,4 руб./т за размещение отходов 4-го класса опас-ности; 0,4 руб./т - 5-гокласса опасности добывающей промышленности; 15 руб./м$^3$- 5-го класса опасности перерабатывающей промышленности (в ценах 2003 г.) [2].

Для получения максимального экономического эффекта от использования новых георесурсов необходимо на стадии проектирования карьеров определять возможность и направления дальнейшего использования отвалов и карьерного пространства и с учетом этого выбирать способы формирования повышающие ценность техногенных георесурсов.

На основе выделенных категорий пород обоснованы следующие способы формирования отвалов в виде техногенных георесурсов:

1. Формирование отвалов из пород 1-й категории в виде техногенного георесурса производится селективным складированием пород, фракционированием их по крупности и по составу. Складирование осуществляется на специально подготовленных площадях с возможностью отгрузки пород для последующей переработки или непосредственно потребителю.

2. Формирование отвалов из пород 2-й категории в виде техногенного георесурса производится с консервированием пород и их складированием на площадях, изолированных от поверхности земли, с уклоном, позволяющим собирать и нейтрализовать или перерабатывать кислые стоки. При складировании пород 2-ой категории возможно создание условий полезного взаимодействия исходных компонентов, что позволяет улучшить свойства пород или создать новые виды минерального сырья с минимальными дополнительными затратами.

3. Формирование отвала из пород 3-й категории как техногенного георесурса производится в виде инженерного сооружения. Следует учитывать местонахождение горного предприятия по отношению к населенным пунктам, промышленным предприятиям, так как отвал может быть сформирован как место для отдыха (парк, лес, ипподром, горнолыжная трасса), строительная площадка или емкость.

Обосновано применение следующих способов формирования карьерного пространства в виде нового техногенного георесурса, используемого для внутреннего отвалообразования:

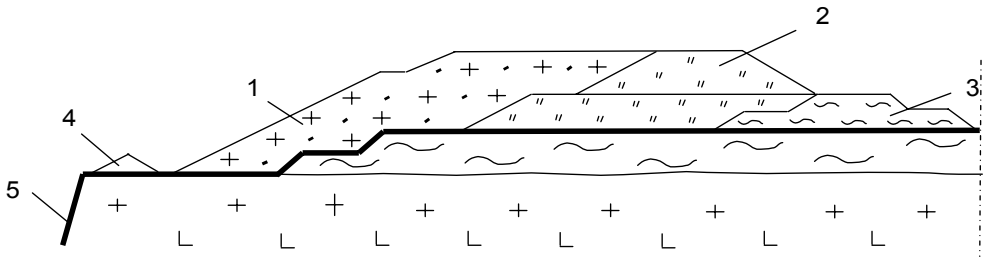



***Рис. 3. Способ формирования техногенных объектов:*** *1* – породы скальной вскрыши; *2* – полускальные породы вскрыши; *3* – глинистые породы; *4* – предохранительный вал; *5* – контур карьера

1. Интенсивная отработка части карьерного поля и использование выработанного пространства с целью засыпки вскрышей другой части карьерного поля при разработке месторождения, имеющего вытянутую форму в плане.

2. Придание дну карьера выпукловогнутого профиля взрыванием его части на выброс для увеличения предельной высоты отвального яруса.

3. Формирование заездов и предохранительных валов на широких площадках бортов карьера, позволяющее исключить просыпание отвальных пород на рабочие горизонты и с минимальными транспортными затратами разместить вскрышу на борту карьера.

С целью максимального использования карьерного пространства в качестве емкости для складирования вскрышных пород предложен способ формирования отвалов на верхних горизонтах, достигших предельного положения в действующем карьере. Предлагаемый способ формирования отвала предусматривает дополнительную выемку части слоя мягких пород, слагающих верхние горизонты карьера, и складирование на освобождаемое место скальной вскрыши. Это позволяет организовать внутренние отвалы в действующем карьере с плавным переходом во внешние отвалы (рис. 3).

Возможность дополнительной выемки мягких пород и отсыпки отвала предлагаемым способом должна рассматриваться на стадии проектирования карьера. Формирование отвала предлагаемым способом осуществляется на борту карьера, имеющем достаточную устойчивость.

Складирование вынимаемого слоя наносов в отвал должно обеспечивать необходимую устойчивость отвальных откосов. Поэтому предлагается совместное складирование различных типов пород, которое при определенных условиях позволяет получить высоту отвала, равную высоте отвала прочных скальных пород. Раздельное складирование пород с различными физико-техническими свойствами в один отвал потребует значительно меньших площадей, чем при размещении этих пород в отдельные отвалы.

Складирование части отвальных пород внутри карьера позволит снизить экологические платежи и сократить среднее расстояние транспортирования пород до отвала.

Таким образом, расширение области использования техногенных георесурсов производится путем выбора направления дальнейшего освоения георесурсов, возможных способов их формирования и расчета ценности формируемых отвалов

и выработанного пространства карьеров. Критерием выбора способа формирования техногенных георесурсов является максимальное значение ценности получаемых георесурсов.

Расширение области использования техногенных георесурсов рассмотрено на примере карьера «Малый Куйбас» ГОП ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

Для повышения эффективности работы карьера «Малый Куйбас» предложено подготовить и использовать широкие площадки восточного нерабочего борта южной части карьера для складирования вскрышных пород, объем которых составит 2476 тыс. м$^3$. Разработаны рекомендации по формированию карьерного пространства, позволяющие увеличить приемную емкость карьера до 3,2 млн м$^3$ и обеспечить безопасность ведения горных работ при размещении вскрышных пород. Повышение ресурсного потенциала карьерного пространства становится возможным при переносе трассы, по которой осуществляется въезд в южную часть карьера. Внедрение предложенных рекомендаций позволит снизить среднее расстояние транспортирования вскрыши на 0,75 км; площадь, занимаемую отвалами, на 9 Га; экологические выплаты на 1,4 млн руб. Экономический эффект при внедрении предложенных рекомендаций составит 28 млн руб. за 4-летний период. Обоснована целесообразность использования выработанного пространства карьера «Малый Куйбас» в качестве емкости для складирования мартеновских и доменных шлаков металлургического комбината. В настоящее время ценность карьерного пространства составляет 7,47 млрд руб., к концу разработки месторождения (2018 г.) она достигнет 26,79 млрд руб.

***СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ***

1. *Сухорученков А.И.* Железорудная база черной металлургии России // Горный журнал. – 2003. №10. С. 55-57.

2. *Постановление* Правительства РФ от 12 июня 2003 г. №344 «О нормативах платы за выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ стационарными и передвижными источниками, сбросы загрязняющих веществ в поверхностные и подземные водные объекты, размещение отходов производства и потребления».

## *Коротко об авторах*

*Гавришев С.Е., Заляднов В.Ю., Пыталев И.А.* – ГОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.

© **А.Г. Шапарь, П.И. Копач,**

УДК 622.271:504.06

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

# *ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА БАЗЕ ШЛАМОХРАНИЛИЩ*

**Семинар № 16**

Технология отработки техногенных месторождений в первую очередь определяется структурой сформированных массивов и физико-механическими свойствами слагающих эти массивы пород. В свою очередь и структура массива и свойства пород зависят от способа их формирования, а также периода времени, происшедшего от момента завершения его складирования и начала освоения техногенного месторождения.

Таким образом, любое техногенное месторождение является инженерным сооружением, которое неоднородно по внутреннему строению. Эта неоднородность обусловлена одновременно и конструкционно и технологически.

Конструкцию техногенного месторождения при его формировании обычно выбирали, руководствуясь принципами обеспечения устойчивости и максимальной приемной способности (емкости). При этом учи-тывались инженерно-геологические особенности основания, свойства складируемых пород (хвостов) и способ их транспортирования и складирования. Техногенные месторождения обычно размещали на непригодных или неудобных для сельскохозяйственного использования землях: на поймах, на болотах, в балках, на обнаженных склонах и т.д. Как правило, на таких территориях требовались особые меры для подготовки основания. Техногенные месторождения могли размещаться в выработанном пространстве функционирующих или отработанных карьеров без каких-либо мер по подготовке основания.

Физическое состояние и консистенция складируемых горно-пород-ных масс и хвостов самые разнообразные. Эти материалы могут иметь вид крупных или мелких твердых обломков, сыпучей массы, мягких комьев, пластичной (тестообразной) массы и пульпы.

Инженерно-геологические характеристики пород и структура массивов техногенных месторождений полностью обусловлены технологией разработки, обогащения и последующего складирования технологических отходов горного производства.

Доставка пород в техногенные месторождения могла осуществляться сухим способом (в транспортных емкостях либо ленточными конвейерами) и гидравлическим способом (по трубам). Складирование этих материалов осуществляется также и сухим, и гидравлическим способами.

По способу формирования выделяются два основных типа техногенных месторождений: 1) формируемые сухим способом (в дальнейшем для краткости они условно называются «сухими»; 2) формируемые гидравлическим способом (в дальнейшем именуются «мокрыми» или гидравлическими).

«Сухие» техногенные месторождения обычно сформированы с помощью имеющегося на карьере горно-транспортного оборудования.

Формирование хвостохранилищ при гидравлической укладке хвостов обогащения производится в искусственных и естественных ёмкостях, образованных в результате выемки горных пород, путём ограждения земной поверхности дамбой обвалования или перегораживания балок и др. По данному признаку ёмкости под хвостохранилища классифицируются на внутрикарьерные (без дамб обвалования), овражные с дамбами обвалования с одной стороны, косогорные, когда дамбы обвалования устраиваются с двух или трёх сторон, и равнинные с дамбой обвалования по всему периметру хвостохранилища. Данные признаки определяют форму в плане будущего техногенного месторождения.

Схемы намыва хвостов (от ограждающей дамбы к вершине хвостохранилища; от вершины хвостохранилища к дамбе; кольцевой намыв; комбинированный намыв) предопределяют разную структуру массива, и обуславливают зонирование площади техногенного месторождения по концентрации полезного компонента. По состоянию обводнённости шламохранилища могут быть осушенными по всей толще шламов, осушенными в поверхностном слое и обводнёнными.

Все эти особенности играют значительную роль в процессе выбора технологической схемы отработки техногенного месторождения.

Что касается осушенных и обводнённых шламохранилищ, то в этом случае практически невозможно найти различий в технологических процессах их отработки по сравнению с производством работ при открытой разработке месторождений по традиционным схемам. Рассматривая частично осушенные шламохранилища, следует отметить, что здесь имеются серьёзные различия в технологических процессах и выборе технологического оборудования.

Таким образом, освоение техногенных месторождений представляет собой многоаспектную и комплексную проблему. Поэтому наиболее обоснованным подходом при её решении является применение метода классификации с целью установления приоритетных задач.

Классификация схем разработки техногенных месторождений приведена в таблице. Анализ классификации по последнему признаку показывает, что методическая база для расчётов основных параметров технологических схем при сухих способах разработки уступа с установкой основного забойного оборудования на нижней площадке уступа разработана в достаточной степени. А вот для этих же способов разработки, но с установкой основного забойного оборудования на верхней площадке уступа методическая база разработана недостаточно полно. Отсутствуют технологические схемы отработки шламохранилищ с повышенной влажностью пород техногенного массива при использовании в качестве основного технологического оборудования экскаваторов-драглайнов.

Гидравлические способы разработки с установкой основного забойного оборудования, как на нижней, так и на верхней площадках уступа методическими материалами обеспечены в достаточной степени. Исключение составляют технологические

схемы работы земснаряда с обрушением техногенного массива, для которых отсутствуют методики расчета параметров отработки подводного, обводненного или частично обводненного массива.

Всё выше изложенное позволило выявить те пробелы в методическом обеспечении технологии разработки техногенных месторождений, которые стали предметом дальнейших исследований.

Как следует из классификации, разработка технологических схем ведения горных работ неразрывно связаны с целым комплексом факторов.

В основе разработки технологических схем, во-первых, должна лежать достоверная информация о свойствах пород, строении и состоянии массы; 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-тех-нического потенциала; в-четвертых – соблюдение экономичности разрабатываемых технологических систем [5].

Разработка технологических систем неразрывно связана с вопросами охраны окружающей среды. Несовершенство технологических схем освоения техногенных месторождений приводит к значительному ущербу природных компонентов окружающей среды.

В практике освоения техногенных месторождений наблюдается, в основном, применение традиционных приемов, оборудования и технологических схем открытой разработки. В то же время условия разработки техногенных месторождений имеют свои существенные особенности, учет которых необходимо осуществлять.

Применение соответствующего серийного оборудования является решающим фактором, поскольку от этого многое зависит в процессах дальнейшего освоения техногенного месторождения.

«Сухой» способ разработки таких шламохранилищ возможен при условии, если обеспечивается достаточная несущая способность основания, на котором работает машина и обеспечивается её проходимость. При работе экскаваторов прямая лопата, погрузчиков с верхним черпанием, также скреперов основание для установки этих машин располагается на глубине равной высоте их черпания, если это позволяет несущая способность пород.

Что касается колёсных машин (автосамосвалов, скреперов, колёсных погрузчиков), то необходимо отметить, что их проходимость дополнительно зависит от атмосферных осадков, когда при дождях разжижается верхний слой основания, что приводит к буксованию машин и потери их работоспособности, хотя машины, оборудованные гусеничным или шагающим ходом, ещё способны работать.

В случае разработки «сухих» техногенных массивов с удовлетворительной проходимостью возможно применение классических технологических схем открытых горных работ, определение параметров которых основано на базе известных методик расчета.

Эксплуатация частично обводненного массива с применением экскаваторного способа разработки требует корректировки технологических схем и их параметров, в зависимости от применяемого оборудования и с учетом состояния массива.

Наиболее перспективная технологическая схема разработки частично «сухого» шламохранилища, верхняя часть массива которого находится в состоянии естественной влажности, а нижняя – повышенной, с применением драглайна.

Эта схема (рис. 1) предусматривает расположение экскаватора на верхней площадке уступа и раздельную экскавацию шламов в зависимости от их обводненности. При отработке первого экскаваторного блока (начало эксплуатации техногенного месторождения) шламы верхнего слоя извлекаются экскаватором по всей ширине заходки и складируются на поверхности в штабель досушки. С целью удаления воды из шламов, расположенных в нижней части забоя, ширина заходки разделяется на две равные части, из первой (прибортовой) формируется подуступ (оставляется целик), а шламы второй половины экскавируются и складируются на этот подуступ.

Для более эффективного дренажа экскаватором проходится дренажная канава, шламы из которой также укладывают на этот же подуступ.

Отличие цикла работ при отработке второго и последующего экскаваторных блоков заключается в экскавации фронтальным забоем шламов штабеля предварительного осушения и подуступа, сформированного при отработке первого блока. Шламы из этого забоя складируются в штабель досушки. По мере осушения эти шламы разрабатываются погрузочными машинами на автотранспорт.

На основе проведенных исследований для этой технологической схе-мы установлены взаимосвязи между ее основными конструктивными и технологическими параметрами, а также разработана методика их расчета. Рассматриваемая технологическая схема предусматривает расположение драглайна на верхней площадке уступа. Экскаваторный блок длиной $L_{Э.Б.}$, ориентирован вдоль продольной оси месторождения с целью увеличения продолжительности его отработки для более полного осушения подуступа и штабеля предварительного осушения посредством дренирования воды в выработанное пространство через плоскости «обнажения» массива:

$$L_{Э.Б.} = L_{Т.М.} = L_{Ф.Р.}$$

где $L_{Э.Б.}$, $L_{Т.М.}$, $L_{Ф.Р.}$ – соответственно длина экскаваторного блока, техногенного месторождения и фронта горных работ.

Экскаваторный блок отрабатывается торцовым забоем. Ширина заходки экскаватора определяется по формуле:

$$A = 1{,}33R_{r.\max} - 0{,}67(Hctg\alpha + l) - 0{,}33B, \quad \text{м}$$

где $R_{r.\max}$ – максимальный радиус черпания экскаватора, м; $H$ – высота уступа, м; $\alpha$ – угол откоса уступа, град; $l$ – технологическое расстояние между отвалом и уступом, включающее ширину предохранительных берм, дороги и дренажной канавы, м; $B$ – ширина штабеля досушки, м.

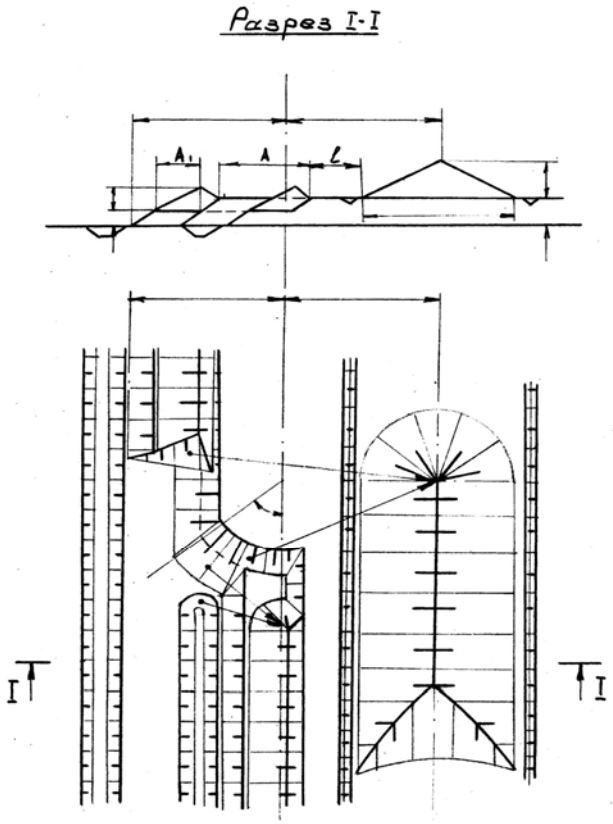
В зависимости от обводненности массива высота уступа Н разделяется на две части: верхнюю, находящуюся в состоянии естественной влажности с высотой, равной:

$$H_{е.в.} = H - H_1, \text{ м}$$

где $H_1$ – нижняя часть уступа с повышенной влажностью, м.

Согласно этой технологической схемы шламы верхнего слоя, высотой $H_{е.в}$, извлекаются экскаватором по всей ширине заходки $A$ и складируются на поверхности в штабель досушки, ширина которого равна:

$$B = \frac{2A \cdot H \cdot k_p}{h_0}, \text{ м}$$




***Технологическая схема разработки шламохранилища с формированием внутреннего склада предварительного осушения шламов***

где $h_0$ – высота штабеля досушки, м; $k_p$ – коэффициент разрыхления шламов.

Высота штабеля досушки шламов $h_0$ определяется по формуле:

$$h_0 = \sqrt{\frac{A \cdot H \cdot k_p}{ctg\beta}}, \text{ м}$$

где $\beta$ - угол откоса штабеля, град.

С целью удаления воды из шламов, расположенных в нижней части забоя, высотой $H_1$ ширина заходки разделяется на две равные части, из первой (прибортовой) формируется подуступ (оставляется целик), высотой $H_1$ и шириной $A_1 = 0{,}5A$, а шламы второй половины экскавируются и складируются на этот подуступ. Для более эффективного дренажа экскаватором проходится дренажная канна ва, шламы из которой также укладывают на этот же подуступ. При этом высота штабеля предварительно осушения будет равна:

$$h_1 = \frac{\left(A_1 \cdot H_1 + h_{д.к.}^2 ctg\alpha\right) k_p}{A_1}$$

, м

где $h_{дк}$ - глубина дренажной канавы, м.

Скорость подвигания экскаваторного забоя определится из выражения:

$$V_з = \frac{P - \Delta}{A \cdot H}, \text{ м/год}$$

где $P$ – нормативная производительность экскаватора, м$^3$/год; $\Delta$ - снижение производительности экскаватора, связанное с экскавацией вязких, водонасыщенных пород, с производимыми работами по укладке пород на подуступ в штабель предварительного осушения, а также с увеличением рабочего цикла при работе во фронтальном забое, м$^3$/год.

Скорость подвигания фронта горных работ составит:

$$V_{ф.р.} = \frac{P - \Delta}{L_{ф.р.} \cdot H}, \text{ м/год.}$$

Время отработки экскаваторного блока $T$ будет равно

$$T = \frac{L_{ф.р.} \cdot A \cdot H}{P - \Delta}, \text{ лет.}$$

Следует отметить, что такие параметры элементов системы разработки

как высота уступа $H$ и подуступа $H_1$ определяются исходя из технических характеристик применяемого экскаваторного оборудования, а необходимые физико-механические характеристики состояния массива необходимо уточнять опытным путем.

В заключение следует отметить важность учёта экологического фактора при освоении техногенных месторождений. При анализе природных и техногенных скоплений минерально-сырьевых ресурсов и оценке первоочередности их освоения (кроме учёта общепринятых факторов и показателей) необходимо исходить из степени их экологической опасности. В этой связи, в существующей экономической и экологической ситуации, первоочередным должно быть освоение техногенных месторождений (как более экологически опасных) и только потом – природных месторождений. При этом безусловным является требование рекультивации территории техногенного месторождения и экологической реабилитации сопредельных территорий.

Таким образом, техногенные месторождения представляют собой новый, широко распространённый на настоящее время доступный источник минерального сырья, образованный в результате неоправданно масштабной горнодобывающей деятельности прошлых лет. Подобные месторождения требуют их детального изучения с привлечением современных аналитических методов, разработки научно обоснованных методов и технологий их освоения, создания механизмов экологического сопровождения их эксплуатации, рекультивации и экологической реабилитации сопредельных территорий.

***СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ***


1. *Экономические* проблемы использования промышленных отходов. Отв. ред. Т.Т. Клияненко. – Киев: Наукова думка, 1983. – 160 с.

2. *Жаворонкова И.П.* Экономические вопросы улучшения использования минерально-сырьевых ресурсов СССР. – М.: Наука, 1973. – 244 с.

3. *Шульгин С.В.* Экологический подход к классификации отходов горнопромышленного комплекса // Достижения и перспективы, 1986. Вып. 47. Природные ресурсы и окружающая среда. - №14. – С. 130-133.

4. *Руманова Е.С., Цыбизов А.Н., Блоха Н.Т. и др.* Техногенные ресурсы минерального сырья. М., Недра, 1991. – 208 с.

5. *Шапарь А.Г., Гулямов Б.С.* Перспективы вовлечения в эксплуатацию техногенных месторождений марганцево-рудного сырья. Ж. «Горный информационный аналитический бюллетень». Из-во Московского горного университета. – М.: 2003. – С. 215-217.


## *Коротко об авторах*


*Шапарь Аркадий Григорьевич* – чл.-корр. НАН Украины, директор Института проблем природопользования и экологии НАН Украины,
*Копач Павел Иванович* – кандидат технических наук, заведующий отделением,
*Якубенко Леонид Викторович* – старший научный сотрудник,
*Гулямов Богдан Святославович* – инженер,

Институт проблем природопользования и экологии НАН Украины.