

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ**

**ГОРНОГО ДЕЛА**



**№ 2 (8)**

**МАГНИТОГОРСК 2019**

## АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГОРНОГО ДЕЛА

№2 (8) ноябрь 2019 г.

Научно-технический журнал

Учредитель: ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный  
технический университет им. Г.И. Носова»

Основан  
в 2016 году

Выходит  
2 раза в год

### О журнале

Научно-технический журнал содержит публикации по результатам теоретических, экспериментальных и научных исследований в разных областях горного дела.

Предназначен для специалистов в области геологии, маркшейдерского дела и геометрии недр, геотехнологии (подземной, открытой, строительной), обогащения полезных ископаемых. Может быть полезен магистрам, аспирантам, студентам старших курсов соответствующих специальностей.

**Основные направления журнала:** горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр, геотехнология (подземная, открытая и строительная), горные машины, обогащение полезных ископаемых.

### Редакционная коллегия

**Гавришев Сергей Евгеньевич** – гл. научный редактор, проф., д-р техн. наук (ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»); г. Магнитогорск, Россия;

**Галиев Сейтгали Жолдасович** – член-корреспондент НАН РК, проф., д-р техн. наук, заместитель председателя Правления АО «Казахстанский институт развития индустрии», г. Караганда, Казахстан;

**Шамшиев Орунбай Шамшиевич** – проф., д-р геол.-минерал. наук, директор КГТУ им. И.Раззакова, г. Кызыл-Кия, Кыргызстан;

**Горбатова Елена Александровна** – доц., д-р геол.-минерал. наук (ФГУ «ВИМС»); г. Москва, Россия;

**Калмыков Вячеслав Николаевич** – проф., д-р техн. наук (ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»); г. Магнитогорск, Россия;

**Голик Владимир Иванович** – проф., д-р техн. наук (ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)»); г. Владикавказ, Россия.

### Контакты

#### Главный редактор:

Емельяненко Елена Алексеевна - доц., канд. техн. наук  
(ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»), тел.: (3519) 29-85-40

#### Заместитель главного редактора:

Романько Елена Александровна – доц., канд. техн. наук  
(ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»), тел.: (3519) 29-85-40

#### Адрес редакции:

455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38. Тел.: (3519) 29-85-40. E-mail: [mdig@magtu.ru](mailto:mdig@magtu.ru)

#### Адрес издателя:

455000, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. К. Маркса, 45/2,  
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», издательский центр

#### Адрес типографии:

455000, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38,  
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», участок оперативной полиграфии

Подписано к печати 28.12.2019. Заказ 185. Тираж 100 экз. Цена свободная.

16+, в соответствии с Федеральным Законом от 29.12.10. №436-ФЗ.

---

## СОДЕРЖАНИЕ

### ГЕОТЕХНОЛОГИЯ (ПОДЗЕМНАЯ, ОТКРЫТАЯ И СТРОИТЕЛЬНАЯ)

<b>Гапонова И.В.</b>	3
Обоснование конструкции уступов верхних горизонтов карьера для формирования техногенного георесурса и реализации его потенциала	
<b>Голик В.И., Дмитрак Ю.В., Габараев О.З., Бурдзиева О.Г.</b>	10
Экологические риски при добыче руд в горах	
<b>Дмитрак Ю.В., Габараев О.З., Стась П.П., Бурдзиева О.Г.</b>	19
Показатели качества разработки рудных месторождений	
<b>Кузьмин С.Л., Салько О.Ю.</b>	26
Обоснование технологии временного внутреннего отвалообразования для регулирования режима горных работ на Качарском карьере АО ССГПО	
<b>Стась Г.В., Дмитрак Ю.В., Габараев Г.О., Бурдзиева О.Г.</b>	34
Природное выщелачивание руд	
<b>Якшина В.В.</b>	41
Способы создания и гидроизоляции техногенной емкости с использованием пород вскрыши	
<b>ГОРНЫЕ МАШИНЫ</b>	
<b>Корнеев П.А., Корнеев В.А.</b>	48
Современное состояние изученности вращательного бурения шпуров в отечественной науке	

УДК 622.882

**ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ УСТУПОВ ВЕРХНИХ ГОРИЗОНТОВ КАРЬЕРА  
ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕХНОГЕННОГО ГЕОРЕСУРСА  
И РЕАЛИЗАЦИИ ЕГО ПОТЕНЦИАЛА****Гапонова И.В.**

*Аннотация.* В статье представлены способы повышения экономической и экологической эффективности использования возобновляемых источников энергии за счет их размещения на верхних горизонтах уступов карьера, целенаправленно формируемых в процессе добычи твердых полезных ископаемых. Произведен анализ состояния откосов верхних горизонтов уступов на карьерах Уральского региона. Для условного месторождения обоснованы места установки фотоэлектрических панелей на верхних горизонтах откосов борта карьера, суммарная мощность которых составит не менее 1,8 МВт.

*Ключевые слова:* борт карьера, рекультивация, уступ, возобновляемый источник энергии.

**Введение**

Открытый способ добычи полезных ископаемых занимает ведущее место при разработке месторождений, на долю которого приходится более 2/3 общего объема добываемых полезных ископаемых в мире. Развитие открытого способа добычи предполагает значительные нарушения земной поверхности, связанные с горными выработками, отвалами вскрышных пород, хвосто- и шламохранилищами, складами полезного ископаемого, транспортными коммуникациями и другими сооружениями, а площадь отведенных под разработку месторождения земель на средних предприятиях исчисляется сотнями гектаров. В процессе разработки месторождений на каждую тонну добытого полезного ископаемого нарушается не более 1,2 га земель, но при этом выполняется только 8 % общепромышленного объема рекультивационных работ [1]. Помимо сокращения продуктивных земельных площадей, используемых под сельскохозяйственные и лесные угодья, в результате изъятия их из народнохозяйственного оборота при эксплуатации карьеров происходит значительное изменение структуры и состава поверхностного слоя. В среднем при добыче 1 млн т топлива отчуждается 765 га земельных угодий, при добыче 1 млн т сланца открытым способом данный показатель достигает 20 га и более, причем эта величина имеет тенденцию к росту с углублением горных работ [2].

С целью компенсации негативных последствий на окружающую среду, в частности от ведения горных работ, возникает необходимость широкого освоения возобновляемых источников энергии (ВИЭ) как в мировой, так и в отечественной практике. Рост масштабов использования установок для получения альтернативной энергии ведет к непрерывному снижению удельной стоимости оборудования ВИЭ, в связи развитием научно-технического прогресса, в то время как удельная стоимость традиционных электрических станций, особенно угольных и АЭС, непрерывно возрастает.

Для размещения установок ВИЭ требуется изъятие значительных площадей земель «промышленности» и водоемов для их размещения. Цена аренды земель «промышленности» на порядок превышает аренду «сельскохозяйственной» или «земли запаса». Общемировая практика свидетельствует об успешном опыте размещения ВИЭ на полях и пастбищах без ущерба для ведения сельского хозяйства. Но касаясь РФ, принятый в 2016 году пункт 4 статьи 78 Земельного кодекса РФ требует для объектов несельскохозяйственного назначения, находящихся на сельскохозяйственных землях, расстояния не менее 30 км от ближайшего сельского населенного пункта, что является нецелесообразным [3].

В связи с этим целенаправленное формирование выработанного пространства карьера с целью размещения на поверхности установок для выработки электрической энергии, без изъятия земель под данное направление, является перспективным. Практическая реализация

данного подхода подтверждается положительным мировым опытом размещения установок для освоения ВИЭ на землях, ранее нарушенных горными работами. Следовательно, вопрос формирования и последующего использования горнотехнических сооружений для производства альтернативной энергии является весьма актуальным.

### Теория, материалы и методы исследования, технические и технологические разработки

Открытые горные работы, несмотря на свои высокие технико-экономические показатели, имеют ряд недостатков. В частности, с целью сокращения капитальных затрат на разработку принимается ряд решений по обеспечению минимального коэффициента вскрыши и, как следствие, уменьшению объемов вскрышных работ, максимального угла откоса и др. В свою очередь, это приводит к деформации бортов карьеров и отвалов в виде оползней, обрушений и обвалов, осыпей и просадок. Как отмечал Г.Л. Фисенко: «Четкой границы между отдельными видами деформаций не существует. Осыпи и обрушения различаются по относительной величине деформирующихся массивов, а обрушения и оползни – по скорости деформации, зависящей от наклона поверхности скольжения и от характера напряженного состояния пород по поверхности скольжения» [4]. В таблице представлены последствия деформаций верхних горизонтов уступов на карьерах Уральского региона.

Анализ состояния откосов верхних горизонтов уступов на карьерах Уральского региона

Месторождение	Горные породы, слагающие верхние слои уступов	Оползень, борт	Угол откоса, град		Примечание
			проектный	фактический	
<i>Сибайское</i>	суглинки	с	47	35	Потеря съезда на северном борту
<i>Коркинское</i>	суглинки	в	49	37	Деформация на южном борту, расселение жильцов поселка Роза
<i>Николаевское</i>	суглинки	с	47	34	Списание запасов
<i>Бурибаевское</i>	суглинки	с	50	38	Угроза нефтебазе, необходимость переноса федеральной автодороги и ЛЭП 10кВт
<i>Березняковское</i>	суглинки	с	48	34	Нарушение границ охранной зоны и перенос магистрального нефтепровода. Запрет ведения горных работ на северном борту
<i>Юбилейное</i>	суглинки	с	46	37	Изменение схемы вскрытия спирально-кольцевой на петлевую
<i>Джусинское</i>	метасоматиты, суглинки	в	48	33	Перенос вскрывающих подземных выработок
<i>Вишневое</i>	суглинки	ю-в	50	34	Остановка добычных работ до момента ликвидации оползня
<i>Барсучий лог</i>	суглинки	в	48	37	Гибель человека. Списание запасов
<i>Гайское</i>	суглинки	с	47	36	Потеря транспортного горизонта +252м

За последнее время большинство развитых стран стало активно финансировать разработку и внедрение прогрессивных технологий в альтернативную энергетику. В частности, с 1980 по 1990 гг. удельные стоимости за 1 кВт установленной мощности и 1 кВт·ч вырабатываемой энергии снизились с 50000 до 20000\$ и с 1,5 до 0,35\$ на солнечных электростанциях и с 3000 до 1750\$ и с 0,25 до 0,07\$ на ветровых электростанциях [5], что определило их конкурентоспособность с традиционной энергетикой.

Основной причиной снижения себестоимости вырабатываемой альтернативными источниками энергии является, с одной стороны, совершенствование технологий производства оборудования, а с другой стороны, использование земель, непригодных для иной хозяйственной деятельности человека. Подавляющее большинство таких земель расположено в инфраструктурно развитых регионах, в которых в достаточном количестве имеются земли, нарушенные горными работами.

Примеры использования возобновляемых источников энергии в ходе реализации геотехнологических процессов в мире представлены в малом количестве, но данное направление является весьма перспективным. В качестве положительных примеров в мире использования выработанного пространства карьеров для размещения установок по выработке электроэнергии являются:

- В городе Беркшир (Великобритания) в 2014 году завершено строительство плавающей электростанции, которая генерирует солнечную энергию без привязки к большим участкам земли (рис.1, а). Фотоэлектрические панели могут быть размещены практически на любых неиспользуемых водоемах – карьерных озерах, хвостохранилищах. Кроме того, плавающие установки способствуют уменьшению испарения воды в водоемах. Подобные системы уже успешно внедрены во Франции и Индии [6].

- Завершено строительство солнечной электростанции мощностью 28 МВт компанией Kyocera TCL Solar LLC, расположенной на месте бывшего карьера по добыче камня в городе Тайва, префектура Мияги, Япония. Солнечная электростанция начала работать на полную мощность в июне 2018 года. Более 100 тысяч солнечных модулей Kyocera будут вырабатывать электричество для 11 тысяч среднего размера домохозяйств в городе Тайва (рис.1, б).

- В посёлке Накын, Республика Саха (Якутия), летом 2016 года на Нюрбинском горно-обогатительном комбинате стартовал эксперимент по использованию солнечных панелей. Проектированием и поставкой оборудования солнечной водонагревательной системы, состоящей из 150 панелей отечественного производителя «Яsolar», занимались специалисты ООО «Новый Полюс». Солнечные коллекторы были установлены на площадке цеха энергоснабжения и автоматизации Нюрбинского ГОК в июле 2016 года. Энергетики Нюрбинского горно-обогатительного комбината (ГОК) включили систему альтернативного теплоснабжения в схему горячего водоснабжения вахтового посёлка на месторождении «Нюрбинская». Мощности солнечных панелей хватает для подогрева воды в летнее время, при этом уже существующая котельная находится в резерве. До внедрения солнечных панелей подогрев воды осуществлялся только жидкотопливным котлом, в качестве источника энергии выступала дорогая привозная нефть. Выброс парниковых газов сокращен на 271 т в CO<sub>2</sub>-эквиваленте. Кроме того, при работе системы не образуются отходы, присущие традиционным источникам энергии.

- В Ле-Бо-де-Прованс (регион Прованс-Альпы-Лазурный берег, департамент Буш-дю-Рон) использован затопленный карьер для строительства плавучей фотоэлектрической станции (рис.1, в). Станция смонтирована из 47000 фотоэлектрических панелей в затопленном карьере. Фотоэлектрические панели, занимающие 17 га водоема, будут генерировать 17 МВт электроэнергии. Ввод станции в эксплуатацию намечен на сентябрь 2019 года [7].

- В каменном карьере, расположенном рядом с деревней Квинтен (Швейцария), прекратившем добычу строительного камня в 2012 году, идет строительство солнечной электростанции мощностью 9 МВт. Солнечные панели на лишенной растительности

отвесной скале площадью 80 000 м<sup>2</sup> планируется использовать в течение 25-30 лет. Благодаря почти вертикальному расположению солнечных панелей их максимальная производительность предположительно придется на весну и осень, когда производительность других солнечных энергетических установок незначительна (рис. 1, г).

Целенаправленный подход к формированию верхних горизонтов уступов с целью размещения солнечных панелей позволит избежать деформационных процессов, за счет выполаживания верхних горизонтов уступов и получения дополнительного источника энергии. Данный подход не противоречит мировым тенденциям в области восстановления земель. В современных технико-экономических условиях горное производство способно поставлять на рынок не только добытое полезное ископаемое, но и горнотехнические сооружения, сформированные с заданными технологическими свойствами.



Рис. 1. Примеры использования выработанного пространства карьеров для размещения установок по выработке электроэнергии

### Результаты исследования и их обсуждение

В результате анализа характеристик горнотехнических сооружений и установок ВИЭ выявлено, что наибольшее распространение получили установки по использованию солнечной энергии.

Поступление солнечной радиации к земной поверхности зависит от многих факторов, таких как: время года и суток; прозрачность атмосферы; широта места; облачность; характер подстилающей поверхности; высота места над уровнем моря; закрытость горизонта. Например, с увеличением высоты над уровнем моря поток прямой солнечной радиации возрастает, что объясняется уменьшением оптической толщины атмосферы. Вследствие этого максимальные значения потока солнечной радиации в горных районах больше, чем на равнинной местности. Таким образом, в процессе добычи и переработки полезных ископаемых необходимо формировать верхние горизонты уступов карьеров с заранее заданными параметрами, которые зависят от географического расположения месторождения полезных ископаемых, климатической характеристики района, а также производительности горнодобывающего предприятия. Критерием эффективности при обосновании параметров карьеров и отвалов является максимальное использование потенциала альтернативных источников энергии при заданной рентабельности предприятия. Данный подход обеспечит сокращение энергозатрат на добычу полезных ископаемых, проведение технического этапа рекультивации, а также возможность эксплуатации альтернативных источников энергии после отработки запасов месторождения.

Для преобразования солнечной энергии предлагается использовать откосы уступов карьера и отвалов для установки на них солнечных панелей, что позволит повысить показатель выработки электроэнергии с  $1 \text{ м}^2$  поверхности Земли. Установлена зависимость мощности выработанной альтернативной энергии солнечными установками от площади поверхности верхних горизонтов уступов карьера и угла откоса для условного месторождения (рис. 2).

Для размещения солнечных установок предполагается формирование верхних уступов, исходя из условия размещения максимального количества солнечных панелей при обеспечении нормативного коэффициента запаса устойчивости откоса уступа и борта карьера в целом. При этом предусматривается постановка уступа в предельное положение подступами высотой равной  $1/3$  проектной высоты и увеличение их угла с оставлением бермы шириной, достаточной для монтажа, обслуживания и эксплуатации солнечных установок (рис.3).

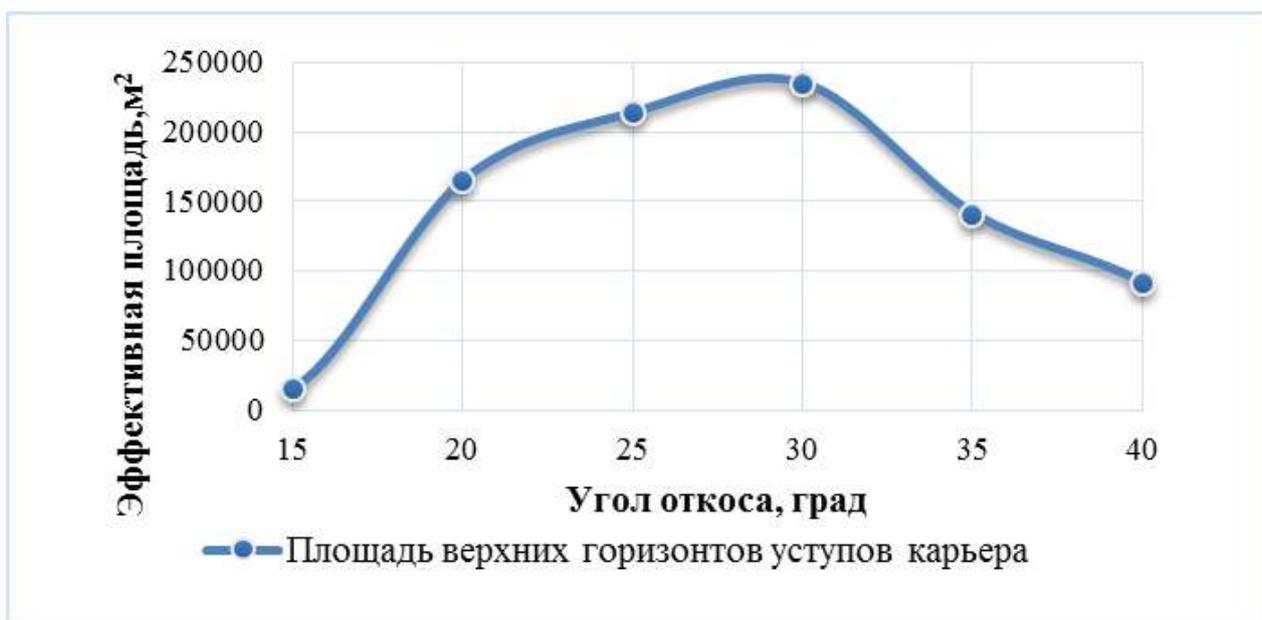


Рис. 2. Зависимость площади поверхности верхних горизонтов уступов от угла откоса борта карьера

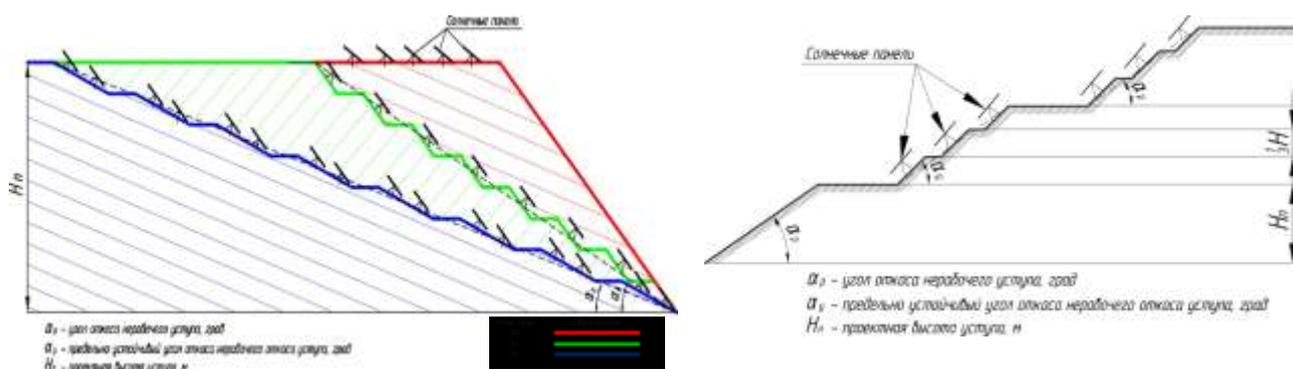


Рис. 3. Размещение солнечных панелей на верхних уступах

Оценка экономической эффективности применения в условиях Белорецкого района республики Башкортостан солнечной электростанции (СЭС), осуществлена с учетом использования фотоэлектрических преобразователей Trunsun TSM–380. Следует отметить, что за время эксплуатации, а это более 20–25 лет, солнечные батареи генерируют электроэнергии в денежном эквиваленте гораздо больше, чем было потрачено на их изготовление и установку, что учтено в расчетах.

В соответствии с методикой расчета [8] для данного населенного пункта характерно сезонное применение СЭС с марта по октябрь. Верхние уступы карьера достигают предельного положения в течение первого года работы карьера. Их площадь на юго-восточном борту составляет 15000 м<sup>2</sup>. В соответствии с конфигурацией борту карьера и параметров солнечных панелей, максимальное их количество, которое может быть размещено в обозначенных условиях, составит 1 200 шт, при единичной мощности 380 Вт каждая. Таким образом, суммарная мощность построенной солнечной электростанции составит 450 кВт. С учетом наибольшей годовой суммарной солнечной радиации при средних условиях облачности на условном месторождении  $E = 4\,941$  кВт·ч/м<sup>2</sup> за год СЭС способна выработать до 1 856 000 кВт·ч электрической энергии. При этом, срок окупаемости составит 5,5 лет.

### **Заключение**

Предложены способы улучшения эффективности СЭС за счет обоснования параметров карьера и формы уступов, способствующих повышению эффективности освоения возобновляемых источников энергии и функционирования горнодобывающего предприятия. Что достигается направленным формированием бортов карьера, откосов с целью их вертикальной планировки для последующего размещения на данных объектах установок ВИЭ.

Альтернативные источники энергии, формируемые на базе горнотехнического сооружения, позволяют горнодобывающему предприятию с первых лет эксплуатации месторождения полезных ископаемых в зависимости от производственной мощности компенсировать до 40 % потребляемой электроэнергии, что значительно снижает себестоимость добычи. По завершению освоения запасов месторождения предусматривается использование созданных горнотехнических сооружений в качестве самостоятельных объектов для получения альтернативной энергии.

### **Список литературы:**

1. Формирование техногенного рельефа нарушенных территорий средствами гидромеханизации: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.15.03. Москва, 1999. 16 с.
2. Рейтер Ф., Кленгель К., Пашек Я. Инженерная геология. М.: Недра, 1983. 528 с.
3. Земельный кодекс Российской Федерации от 25.10.2001 N 136-ФЗ (ред. от 03.08.2018) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.10.2018). М., 2018.
4. Фисенко Г. Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. М: Недра, 1965. 378 с.
5. Mchaina D. M. Environmental Planning Considerations for the Decommissioning, Closure and Reclamation of a Mine Site // International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment. 2016. Vol. 15. P. 163-76.
6. Popel O. Renewable energy: the role and place in contemporary and future energy // Russian chemical journal. 2018. Vol. 6. P. 95-106.
7. Şimşir F., Pamukçu Ç., Özfirat M.K. Mine Reclamation and Restoration of Nature // Dokuz Eylül University Faculty of Engineering Journal of Science and Engineering. 2017. Vol. 9(2). P. 39-49.
8. Reau D., Industrial Energy Conservation: A Handbook for Engineers and Managers. Pergamonpress Oxford, 1979.
9. Пыталев И.А., Гапонова И.В. Анализ способов формирования и рекультивации горнотехнических сооружений, обеспечивающих эффективность их реализации в краткосрочной перспективе. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. № S4-2. С. 39-47.
10. Классификация карьерных выемок по возможности их использования для размещения промышленных отходов / С. Е. Гавришев, И. А. Пыталев, Е. В. Павлова, А. А. Козловский // Черные металлы. 2011. № 56. С. 29-33.

11. Гавришев С.Е., Заляднов В.Ю., Пыталев И.А. Формирование и освоение техногенных георесурсов. Определение параметров карьеров и отвалов Магнитогорск, 2011.160 с. ISBN 978-5-9967-0182-7.

**Сведения об авторе**

**Гапонова Илона Владимировна** – инженер-проектировщик ООО  
«МАГГЕОПРОЕКТ», Магнитогорск, Россия. E-mail: [gaponova.ilona@yandex.ru](mailto:gaponova.ilona@yandex.ru)

УДК 504.55.054:662 (470.6)

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ ПРИ ДОБЫЧЕ РУД В ГОРАХ****Голик В.И., Дмитрак Ю.В., Габараев О.З., Бурдзиева О.Г.**

**Аннотация.** Приведены сведения о роли воды в горном производстве. Охарактеризованы особенности влияния производственных стоков горного производства в условиях Центрального Кавказа. На примере крупнейших Тырныаузского и Садонского месторождений дано количественное подтверждение ведущей роли хвостов обогащения металлических руд в химическом загрязнении горных территорий. Приведены результаты комплексных исследований деградации экосистем окружающей среды под техногенным воздействием. Сформулирован механизм ослабления экологии горных территорий, деградации растительности и ухудшение здоровья населения вследствие механического и химического загрязнения горной среды отходами горного производства. Определены количественные параметры негативного влияния горно-металлургического производства на здоровье населения и дан прогноз перспектив здоровья населения. Показано, что радикальная защита окружающей среды от химического загрязнения промышленными водами возможна только при утилизации отходов. Рекомендованы прогрессивные методы утилизации промышленных стоков.

**Ключевые слова:** вода, экология, горное производство, хвосты обогащения, экосистема, здоровье.

**Введение**

Рудничные стоки - грунтовые, поровые, пластовые или трещинные воды, содержащие растворенные металлы, органические и химические соединения, а также минеральные взвеси. Предприятия горнодобывающего и перерабатывающего производства России выдают на поверхность таких вод более 1,3 млрд м<sup>3</sup> в год.

Многие месторождения в течение длительного времени не разрабатываются из-за обводненности пород. Так, в Лебединском карьере из подземных выработок непрерывно откачивалось 2100—2200 м<sup>3</sup>/ч вод, а из открытых выработок - до 700 м<sup>3</sup>/ч. Рудник средней производительности сбрасывает на рельеф около 1000 м<sup>3</sup>/ч сточных вод. Горные объекты выдают в окружающую среду технологические хвосты обогащения; сливы и фильтрат от сгущения и обезвоживания; шахтные стоки атмосферного и природного происхождения [1-3].

В подавляющем большинстве случаев сточные воды сбрасываются в поверхностные водотоки. Большинство откачиваемых при осушении месторождений вод поступает в реки, изменяя их водные режимы. В горнопромышленных районах формируются обширные региональные депрессии грунтовых вод.

При открытой добыче полезных ископаемых из россыпных месторождений изменение водных режимов является следствием предварительного осушения торфов и песков, осуществляемого при гидравлическом, бульдозерном и экскаваторном способах разработки с помощью руслоотводных и дренажных канав.

Другое направление влияния горных работ на поверхностные и подземные воды — накопление отходов обогащения в хвостохранилищах. Из-за фильтрации воды под хранилищами образуется купол с многократно повышенной минерализацией воды. Отвальные воды содержат медь, железо, серу в концентрациях, соизмеримых с их содержанием в рудах. Радиоэкологическое воздействие на окружающую среду оказывает дренаж дамбовых вод хвостохранилищ, в которых складировать отходы переработки уранового сырья в местах возможных утечек через гидроизоляции фильтрационных вод. Наиболее значимым фактором является химическое загрязнение отвальных вод сульфатами, нитратами, марганцем, молибденом и др.

При малых объемах горных работ сточные воды не оказывают существенного влияния на загрязнение водоемов и водотоков, а распределяются на поверхности, увлажняя почвенный слой и испаряясь.

Основными компонентами стоков горнодобывающих предприятий являются шахтные воды, а также загрязненные в отвалах атмосферные воды. При геотехнологических методах разработки к загрязнителям относятся химические ингредиенты в недрах, и водные отходы переработки выдаваемых на поверхность рассолов. Загрязнение водной среды во много раз превышает предельно допустимые концентрации [4-6].

Загрязненные воды активно участвуют в бытовом и сельскохозяйственном обороте, воздействуя на флору, фауну и человека. Наиболее серьезными последствиями изменения гидрогеологического и теплового режимов является ухудшение гидробиологической обстановки в морях и озерах, куда впадают реки.

Экологическая напряженность в зоне деятельности горнопромышленных объектов достигла критического уровня по степени загрязнения территории тяжелыми металлами, поэтому мониторинг состояния здоровья жителей данного региона является одной из приоритетных задач охраны природы.

В реакции организма на воздействие экотоксикантов, в том числе тяжелых металлов, важное место занимает образование активных форм кислорода, интенсификацию перекисного окисления липидов, деструкцию мембран, повреждение ДНК, что стимулирует развитие канцерогенеза, кардио-васкулярных заболеваний, нейро-дегенеративных расстройств, а также мутагенеза.

Поэтому вопросы минимизации темпов химического загрязнения окружающей среды формируют проблему глобального значения. Предметом исследования являются крупные разделы промышленного производства, к которым относится эксплуатация месторождений полезных ископаемых в одной из наиболее ранимых сфер – горных регионах [7-10].

#### **Предмет, задачи и методы**

Работа посвящена проблеме ограничения экологических рисков при добыче руд в горах Центрального Кавказа. Исследуются механизм и результаты химического загрязнения экосистем окружающей среды продуктами взаимодействия ингредиентов хвостов обогащения полиметаллических руд в массиве хранилищ.

Оценка влияния хранилища на экологию выполняется комплексным методом, включающим опробование хвостов обогащения, почв и воды в лабораториях с использованием рентгено-флюоресцентной спектрометрии, нейтронно-активационного анализа и масс-спектрометра.

Опробование хвостохранилища произведено для того, чтобы получить информацию о содержании в этом материале элементов-токсикантов. Для оценки степени негативного воздействия отходов и шахтных вод осуществлен отбор проб в реках.

#### **Результаты исследования и обсуждение**

Наиболее опасно воздействие горного производства в условиях гор, которые характеризуются разнообразием ландшафтных условий, сильно расчлененным рельефом и большими амплитудами абсолютных высот, контролирующими и усиливающими процессы химизации природной среды [11-13].

Реки Центрального Кавказа – одновременно и источники пресной чистой воды, и транспортеры загрязняющих продуктов антропогенной деятельности. Водные артерии питаются ледниковыми, подземными и грунтовыми водами, состав которых подвержен сезонным колебаниям. С увеличением площади заселенных горных территорий происходит усиление техногенной нагрузки с загрязнением водных потоков, с которым природа справляется не всегда, поэтому вопросы охраны водных объектов от загрязнения становятся актуальнее. Основными коллекторами техногенного загрязнения Центрального Кавказа являются реки Баксан и Ардон, собирающие стоки горнодобывающих предприятий.



Рис. 1. Орография участка Центрального Кавказа

Баксан истекает из-под ледникового панциря г. Эльбрус и принимает воды более 15 притоков, в том числе рек Чегем и Черек. В долине р. Баксан расположены города Тырнауз, Баксан, Прохладный и многие населенные пункты. Воды носят нейтральный и слабощелочной характер, рН в зимний период изменяется в пределах 7,5-8,0 ед., летом – 8,0-8,1.

Антропогенное воздействие на воды Баксана максимально выражено на участке расположения Тырнаузского вольфрамово-молибденового комбината.

Старое хвостохранилище хвостов обогащения расположено в 2-х км ниже города и представляет собой насыпь высотой 15-20 м со склонами крутизной  $3^{\circ}$ - $6^{\circ}$ , засыпанную слоем грунта в 10-15 см с растительностью. Основное «хвостохранилище» на 55-м км реки у п. Былым включает пруд-отстойник площадью 70 га при 2 км емкостью 220 млн м<sup>3</sup>, ограниченный земляной плотиной высотой 110 м.

В водах Баксана ПДК, например, меди превышает в 20-30 раз. На участках рудника Молибден и хвостохранилища концентрация меди  $>50$  ПДК.

Постоянное загрязнение вод Баксана происходит за счет стока вод хвостохранилища. Систематическое загрязнение воды металлами прослеживается от 40 до 70 км (см. таблицу).

Хвостохранилище позиционируется как экологически опасный объект, так как в случае наводнения или землетрясения угрожает разрушением отводящего воды р. Гижгита туннеля. Река Гижгит вернется к естественному руслу, переполнит пруд-отстойник, разрушит дамбы и вынесет хвосты обогащения в русло Баксана вплоть до р. Терек.

Поскольку на территории загрязненного участка реки установлено аномальное содержание металлов в овощной и зерновой продукции, а население пользуется водой для хозяйственно-бытовых нужд, избыточное содержание металлов угрожает необратимым нарушением обмена веществ.

#### Концентрация металлов в р. Баксан в пиковые фазы

Интервал р. Баксан	Металлы	Концентрация, мкг/л					
		минимальная		максимальная		средняя	
		Зима	лето	Зима	лето	зима	лето
40 км	Хром	0,2	0,95	0,8	5,98	0,45	2,96
	Никель	0,45	0,72	1,06	3,22	0,82	1,55
	Молибден	0,47	0,91	8,35	8,37	2,77	4,03
	Свинец	0,27	0,2	0,49	3,62	0,38	1,12
	Цинк	1,5	1,5	2,51	11,76	1,75	4,89
55 км	Хром	0,2	0,74	0,47	4,2	0,29	1,83
	Никель	0,9	0,7	0,97	1,91	0,56	1,28
	Молибден	2,5	0,92	7,40	16,4	2,89	5,71
	Свинец	0,2	0,33	0,53	1,93	0,37	0,96
	Цинк	1,5	1,5	1,5	8,13	1,5	4,01
70 км	Хром	0,2	0,39	0,38	8,8	0,28	3,65
	Никель	0,2	0,4	0,68	3,58	0,52	1,88
	Молибден	1,34	0,2	6,38	12,03	3,28	4,76
	Свинец	0,2	0,2	0,57	2,64	0,31	0,98
	Цинк	1,31	1,3	7,06	5,51	3,72	3,15

Аналогичен механизм влияния и предприятий Садонского свинцово-цинкового комбината. Добываемые из нескольких месторождений руды с 1929 г. обогащались на фабрике в пос. Мизур. В свое время фабрика перерабатывала до 20 тыс. т руды в сутки, а полученные селективной флотацией концентраты содержали: Pb, Bi, Sb, Ag, Au, Cu, Zn, Co, As и другие металлы. Хвосты до 1984 г. складировали в узкой боковой долине левого притока р. Ардон, расположенного над пос. Мизур. С 1929 по 1984 г. Хвосты обогащения сбрасывали в р. Ардон, что сильно загрязнило ее металлами на всем протяжении. Поэтому в 1984 г. было построено новое хвостохранилище. Хвостохранилища Садонских рудников располагаются в поймах рек (рис.2).



Рис. 2. Хвостохранилища Садонского СЦК

Река Ардон принимает неочищенные стоки рудников и хвостохранилища (рис.3).

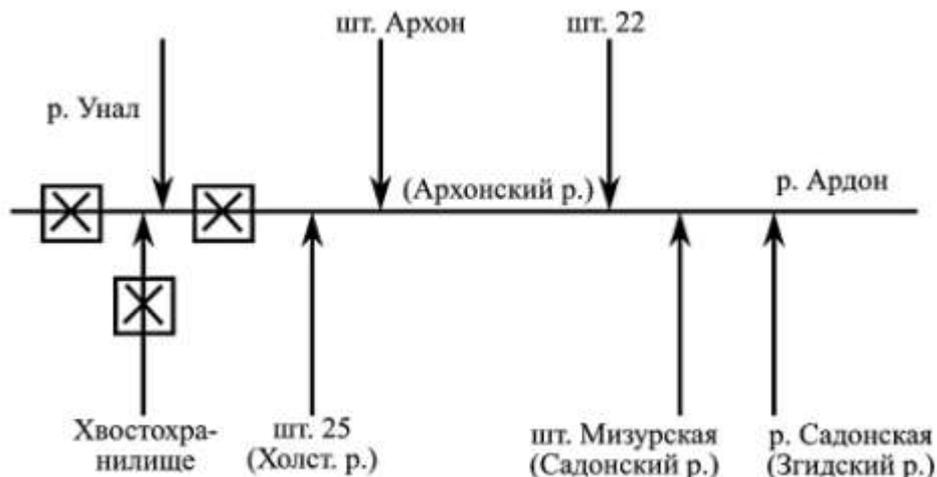


Рис. 3. Гидрографическая схема загрязнения вод реки Ардон

Хвостохранилище размером 150×280 м с высотой насыпной дамбы до 30 м находится в долине р. Ардон в густонаселенном районе (рис 4).



Рис. 4. Расположение Унальского хвостохранилища

Прямой сток из хвостохранилища имеет сильнощелочное значение рН (11,2), а общая его минерализация резко отличается от остальных проб и составляет 10746 мг/л. Значения рН природных вод близки к нейтральным и варьируются от 6,9 до 7,4. Пробы выше хвостохранилища наиболее близки между собой и относятся к гидрокарбонатно-сульфатным натриево-кальциевым водам. Это подтверждает наличие синергетических процессов в массиве хранилища.

Тонкодисперсная фракция хвостов обогащения в виде при сильном ветре загрязняет почву пастбищ, сельхозугодий, воду р. Ардон и негативно влияет на здоровье населения. При сравнении с фоновой пробой в воде р. Садонка в окрестностях хвостохранилища отмечена концентрация, раз: мышьяка – 25; урана – 14; сурьмы, теллура, молибдена – 6; вольфрама, свинец, ванадий – в 4; других металлов 2-3 раза.

При сравнении с фоновой пробой в воде защитного озера хвостохранилища установлены anomalно повышенные концентрации металлов, разы: мышьяк – в 41430; теллур – в 17720; сурьма – в 10430; селен – в 10230; вольфрам – в 1520; свинец – в 930; молибден – в 390; ванадий – в 105; германий – в 70; олово – в 50; др. металлы 2-26.

Эксплуатация металлических месторождений горных территорий сопровождается загрязнением горной среды, ростом отходов производства, деградацией растительности и ухудшением здоровья населения урбанизированных территорий.

В одном из крупных городов Северо-Кавказского федерального округа – Владикавказе изучены показатели взрослого и детского населения города, которые показали рост заболеваемости, в том числе новообразований, болезней крови, мочеполовой, нервной и эндокринной системы, глаза, уха и органов дыхания, вызванные техногенным воздействием продуктов добычи и переработки руд.

Была изучена заболеваемость новообразованиями населения города Владикавказа по принципу поклинического районирования с последующим нанесением на карту города. Заболеваемость зависела от удаления от металлургических предприятий в северо-восточной части города. Ореол рассеивания тяжелых металлов выявлен на площади около 40км<sup>2</sup>, в пределах которой содержание металлов на порядок превышает среднюю концентрацию (рис.5).

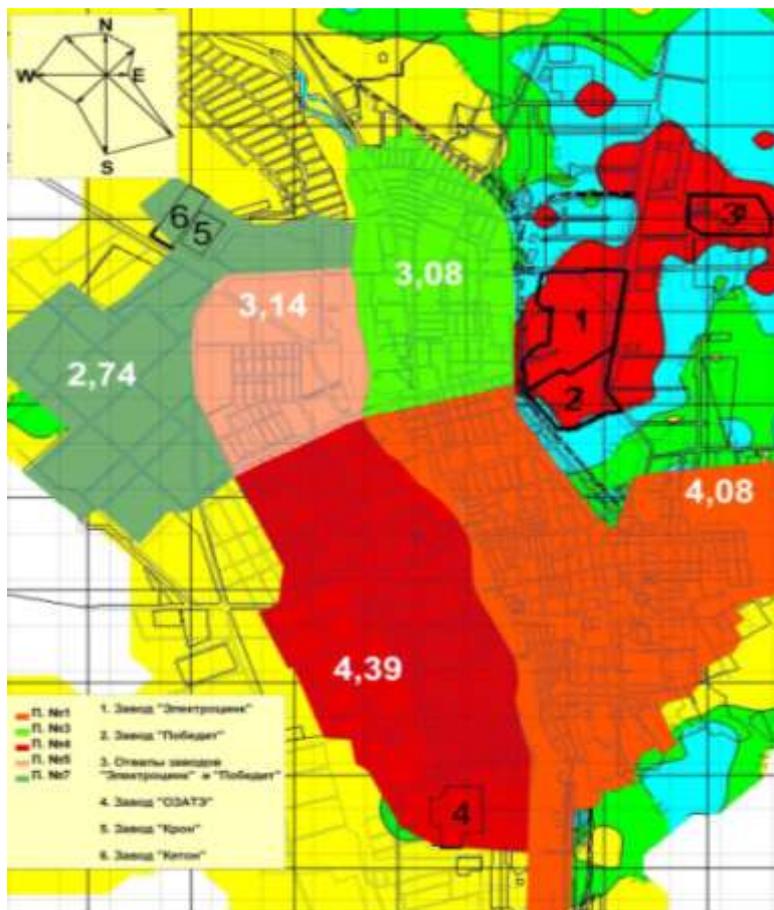


Рис. 5. Схема заболеваемости новообразованиями

Выявлено, что с увеличением расстояния до промышленных объектов число заболеваний на единицу площади уменьшается. Определены количественные параметры негативного влияния горно-металлургического производства на здоровье населения. Прогрессирующая урбанизация, в том числе горных территорий, ведет к очевидным негативным последствиям: загрязнению горной среды, неконтролируемому росту отходов производства, деградации растительности и как следствие – ухудшение здоровья населения (рис.6).

Приоритетное воздействие находящихся в хранилищах обогатительных фабрик промышленных отходов на экологию прилегающей территории проявляется в загрязнении тяжелыми металлами вод горных рек с переносом загрязнителей в почвы [14-17].

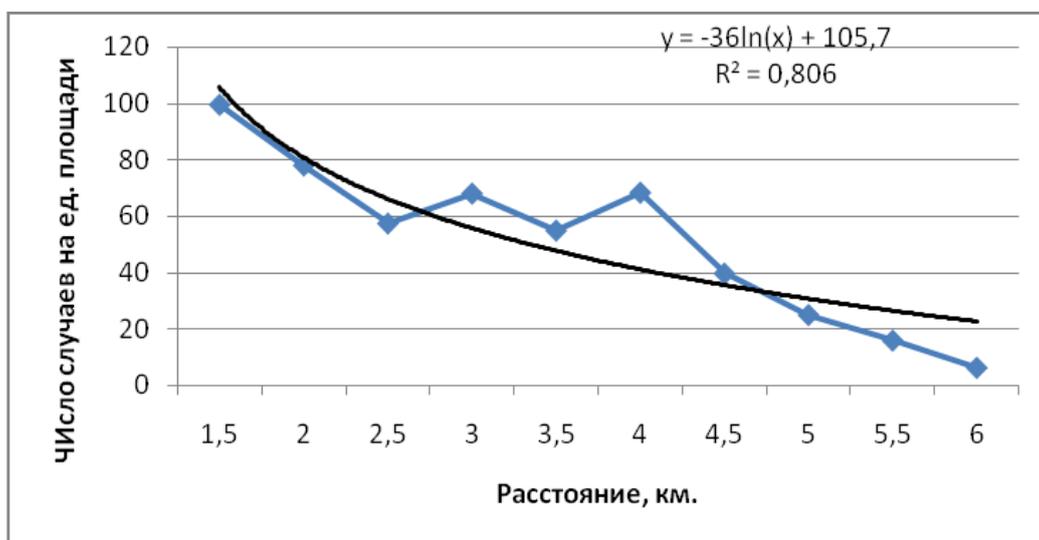


Рис. 6. Зависимость числа случаев онкологических заболеваний от расстояния до промышленных объектов

Анализ концепций минимизации негативного влияния горного производства на гидросферу показывает, что безопасных методов хранения хвостов переработки руд не существует. Радикальная защита вод окружающей среды от химически загрязненных вод возможна только при утилизации этих промышленных отходов.

Загрязненные стоки попадают в окружающую среду в результате истечения по горным выработкам, или откачки насосами на поверхность или транспортирования с хвостами переработки в хранилища. В зависимости от этого возможны варианты радикального воздействия на химизацию региона:

- извлечение металлов и солей из природно–техногенных растворов;

- извлечение металлов и солей из твердых хвостов с неограниченной по санитарным условиям утилизацией в смежных отраслях.

В качестве метода утилизации хвостов обогащения может быть востребована, например, термо-гидрометаллургической технология переработки упорных руд и пиритных огарков. Активность процессов утилизации твердых хвостов повышается механохимической обработкой в дезинтеграторах и другими методами.

Безопасным считается захоронение жидких отходов в глубокие водоносные горизонты артезианских бассейнов. Известны технологии очистки промышленных стоков перед их сбросом в окружающую среду, из которых наиболее распространены простые и дешевые реагентные способы: известкование и хлорирование, опасные для окружающей среды побочными эффектами. Электрохимические, сорбционные и другие технологии позволяют очищать стоки до норм рыбного хозяйства, но отличаются повышенными затратами, поэтому не имеют широкого распространения при массовой очистке шахтных стоков.

Результаты клинико-биохимического обследования жителей вмещающего горное производство района, испытывающих действие химически активных водных потоков, связанных с загрязнением тяжелыми металлами в результате деятельности свинцово-цинкового комбината, показали грубое нарушение антиоксидантного статуса и развитие окислительного стресса у населения.

Нарушение баланса системы прооксиданты↔антиоксиданты в крови жителей может рассматриваться как проявление металл-индуцированной токсичности, что способствует снижению резистентности организма обследованных к действию повреждающих факторов среды и развитию тяжелых, практически неизлечимых, патологических процессов.

Утилизация хранимых хвостов обогащения позволит не только снизить негативную нагрузку на экологию горнопромышленных районов и получить необходимые народному хозяйству металлы, стройматериалы, но и уменьшить степень риска заболеваемости

населения и возникновения техногенных катастроф, связанных с возможным прорывом насыпной дамбы хвостохранилища и иными действиями водных потоков[18-20].

### **Выводы и обсуждение**

Исследование особенностей влияния промышленных стоков горного производства на экологию горных регионов позволяет сделать выводы:

- влияние отходов добычи и переработки полезных ископаемых оценивается с учетом миграции вредных ингредиентов отходов добычи и переработки;
- в комплексе средств негативного воздействия горного производства на экологию горного производства в условиях гор приоритетна роль рудничных стоков;
- инструментом химического загрязнения природно-техногенной среды жидких ингредиентов являются жидкие ингредиенты – транспортирующая среда для растворенных металлов и солей;
- радикальная защита окружающей среды обеспечивается при извлечении опасных ингредиентов из минеральных отходов до санитарных норм с утилизацией вторичного сырья.

### **Список литературы:**

1. Борщевский С.В., Голик В.И., Качурин Н.М., Бурдзиева О.Г. Перспективы извлечения металлов из рудничных стоков // Устойчивое развитие горных территорий. Владикавказ, 2017. №1. С.81-92.
2. Chen H. L. (2014). Brief analysis of the technical points about the tailing spond environmental impact assessment. *Advanced Materials Research*. Vol. 955–959. P. 1685–1689.
3. Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Khasheva Z. (2015). The effectiveness of combining the stages of ore fields development. *Metallurgical and Mining Industry*. Т. 7. № 5. P. 401-405.
4. Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Irina G. (2015). Improving the effectiveness of explosive breaking on the bade of new methods of borehole charges initiation in quarries. *Metallurgical and Mining Industry*. Т. 7. № 7. P. 383-387.
5. Golik V.I., Razorenov Yu.I., Ignatov V.N., Khasheva Z.M. (2016). The history of Russian Caucasus ore deposit development. *Journal of the Social Sciences*. Т. 11. № 15. С. 3742-3746.
6. Golik V.I., Stradanchenko S.G., Maslennikov S.A. Experimental study of non-waste recycling tailings ferruginous quartzite (2015). *International Journal of Applied Engineering Research*. Т. 10. № 15. P. 35410-35416.
7. Голик В.И. Извлечение металлов из хвостов обогащения комбинированными методами активации // Обогащение руд. 2010. № 5. С. 38-40.
8. Экологические проблемы разработки рудных месторождений КМА/ .Голик В.И., Полухин О.Н., Петин А.Н., Комащенко В.И.// Горный журнал.2013. № 4. С. 91-94.
9. Голик В.И., Разоренов Ю.И., Каргинов К.Г. Основа устойчивого развития РСО-Алания – горнодобывающая отрасль // Устойчивое развитие горных территорий. Владикавказ. 2017. №2(32). С.163-172.
10. Дмитрак Ю.В., Камнев Е.Н. АО «Ведущий проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт промышленной технологии». Путь длиной в 65 лет. //Горный журнал.2016. № 3. С. 6-12.
11. Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В., Радченко Д.Н. Проблема использования возобновляемых источников энергии в ходе разработки месторождений твердых полезных ископаемых //Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2015. №1. С. 88-96.
12. Комащенко В.И. Эколога-экономическая целесообразность утилизации горнопромышленных отходов с целью их переработки // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле.2015. № 4. С. 23-30.

13. Ляшенко В.И., Стусь В.П. Охрана окружающей среды в зоне влияния уранового производства. ООО «Новые технологии» // Безопасность жизнедеятельности. 2015. № 3. С.37-44.
14. Рыльникова М.В., Радченко Д.Н. Методологические аспекты проектирования системы управления минерально-сырьевыми потоками в полном цикле комплексного освоения рудных месторождений // Рациональное освоение недр. 2016. №3.С. 36-41.
15. Rachwa M., Magiera T., Wawer M. (2015). Coke industry and steel metallurgy as the source of soil contamination by technogenic magnetic particles, heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons. Chemosphere. No. 138. P. 863–873.
16. Schaaf W., Bens O., Fischer A., Gerke H. H., Gerwin W., Grunewald U., Winter S., Huttli R. F. (2011). Patterns and processes of initial terrestrial-ecosystem development. Journal of Plant Nutrition and Soil Sci., Vol. 174. P. 229–239.
17. Предельная загрязненность технологической воды при разработке россыпных месторождений золота / Стась Г.В., Качурин Н.М., Корчагина Т.В., Змеев М.В. //Изв. ТулГУ. Науки о Земле. 2017. Вып. 3. С. 209-216.
18. Геоэкологическая оценка эффективности защиты окружающей среды и природоохранительных мероприятий при подземной добыче угля./ Стась Г.В., Качурин Н.М., Калаева С.З., Корчагина Т.В. // Изв. ТулГУ. Науки о Земле. 2016. Вып. 3. С. 62-79.
19. Хашева З.М. Факторы формирования кризисных ситуаций в региональной экономической системе // Социально-экономические проблемы развития Южного макрорегиона: сб. науч. трудов. Краснодар, 2011. С. 94-103.
20. Xiao Li-ping. (2007). Study on Pollution Laws of Coal Gangue Leaching Solution to Groundwater System. Fuxin :Liaoning Technical University. P.345-356.

#### **Сведения об авторах**

Голик Владимир Иванович, д-р. техн. наук, профессор, главный научный сотрудник Геофизического института Владикавказского научного центра РАН, профессор кафедры «Горное дело» Северо-Кавказского государственного технологического университета, Владикавказ, Россия.

Дмитрак Юрий Витальевич, д-р. техн. наук, профессор, ректор Северо-Кавказский государственный технологический университет, Владикавказ, Россия.

Габараев Олег Знаурович, д-р. техн. наук, профессор, зав. кафедрой Северо-Кавказский государственный технологический университет, Владикавказ, Россия.

Бурдзиева Ольга Германовна, канд. геогр. наук, зав. лаб., ФГБУН Геофизический институт Владикавказского научного центра РАН, Владикавказ, Россия.

УДК 622.2

**ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА РАЗРАБОТКИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Дмитрак Ю.В., Габараев О.З., Стась П.П., Бурдзиева О.Г.

**Аннотация.** Нахождение оптимального режима работы горнодобывающего предприятия представляет собой задачу математического программирования с целевыми функциями, решаемую экономико-математическим моделированием на основе статистических методов исследования, методов математического программирования и методов поиска оптимальных решений с построением динамической модели управления предприятием. Для альтернативных вариантов, различающихся способом управления состоянием массива, создана экономико-математическая модель. Определены технико-экономические показатели вариантов разработки, интерполированные средствами информационных технологий на случай объектов большой размерности. Для граничных условий независимых переменных построены модели сравниваемых технологий. Дана оценка перспектив комбинирования технологий, различающихся количеством и качеством добываемых запасов при традиционной разработке и при выщелачивании металлов. Построена модель экономической эффективности комбинирования технологий на этапах разработки месторождения.

**Ключевые слова:** подземная разработка, рудное месторождение, твердеющая смесь, оптимизация, комплексное использование, математическое программирование.

**Цель работы**

Наиболее крупные месторождения металлических руд сложены залежами мощностью в первые десятки и сотни метров, выходящими на земную поверхность. Большинство запасов богатых железных руд до глубины 200 м разрабатывают открытым способом. Но основные запасы с увеличением глубины месторождений предстоит добывать подземным способом [1-3].

Критическим звеном технологий подземной разработки становится обеспечение сырьем для изготовления твердеющих смесей. Добыча природных компонентов осуществляется горными работами с отчуждением земель.

Массовому использованию хвостов обогащения в составе твердеющих смесей препятствует наличие неизвлеченных металлов. Перспективным направлением извлечения металлов из хвостов обогащения считается механохимическая активация процессов выщелачивания с извлечением до 80% металлов от исходного содержания в хвостах.

Комплексный подход к повышению полноты использования недр включает в себя многокритериальное моделирование с целью оптимизации параметров технологии по критерию оптимальности в виде группы показателей, характеризующих экономичность применяемого варианта технологии. Нахождение оптимального режима работы горнодобывающего предприятия представляет собой задачу математического программирования с целевыми функциями, определяющими экономические, экологические и социальные факторы производства [4-6].

Целью настоящего исследования является оптимизация показателей комплексного использования запасов при разработке металлического месторождения.

**Полученные результаты**

Варианты подземной разработки месторождений металлических руд принципиально различаются способами управления массивом: без заполнения пустот (вариант 1) и с заполнением пустот (вариант 2).

Моделирование заключается в исследовании зависимости себестоимости добычи руды от параметров потерь и разубоживания при сравниваемых вариантах:

$$n_{\text{т}} = \left[ \gamma_{T_{\text{мк}}} \cdot \left( 1 - \frac{Q_{\text{н}}^{\text{с}} + Q_{\text{г}}^{\text{с}}}{Q_{\text{г}}} \right) + \frac{\gamma_{\text{ж}}}{\rho} \left( 1 + \frac{Q_{\text{н}}^{\text{н}} - Q_{\text{г}}^{\text{с}}}{Q_{\text{г}}} \right) + \gamma_{T_{\text{н}}} \cdot \frac{Q_{\text{н}}^{\text{с}} + Q_{\text{н}}^{\text{н}}}{Q_{\text{г}}} + \gamma_{T_{\text{п}}} \cdot \frac{Q_{\text{н}}^{\text{с}} + Q_{\text{н}}^{\text{н}}}{Q_{\text{г}}} \right] -$$

$$\Delta \gamma_{T_{\text{т}}} \cdot \gamma_{T_{\text{ат}}} - \frac{R_{\text{с}}}{(1 - R_{\text{с}})P} \left[ \left( \gamma_{T_{\text{мк}}} + \frac{\gamma_{\text{ж}}}{\rho} \right) + (1 - \Delta \gamma_{T_{\text{т}}}) \cdot \gamma_{T_{\text{рс}}} \right] - \frac{(1 - P)}{P}$$

$$\left[ \gamma_{T_{\text{зб}}} - e \left( \gamma_{T_{\text{мк}}} + \frac{\gamma_{\text{ж}}}{\rho} \right) \right] + \frac{(1 - P)(1 - B)(1 - \% \alpha)}{P} (1 - \Delta \gamma_{T_{\text{т}}}) \gamma_{T_{\text{рс}}}$$

где  $C_{T_{\text{Ба}}}$  – ценность добытой руды, руб.;  $C_{T_{\text{Бат}}}$  – ценность теряемой руды с содержанием металла  $\alpha_{T_{\text{т}}}$ , руб.;  $Z_{T_{\text{ок}}}$  – затраты на отбойку, выпуск и транспортировку руды, руб.;  $Z_{T_{\text{н}}}$  – затраты на нарезные работы, руб.;  $Z_{T_{\text{п}}}$  – то же на подготовительные работы, руб.;  $Z_{\text{зк}}$  – то же на закладку, руб./м<sup>3</sup>;  $Q_{\text{б}}$  – объем руды, пород и забалансовой руды в границах тела, м<sup>3</sup>;  $Q_{\text{н}}^{\text{н}}$  – объем нарезных работ по руде, м<sup>3</sup>;  $Q_{\text{н}}^{\text{с}}$  – то же по породе, м<sup>3</sup>;  $Q_{\text{п}}^{\text{н}}$  – объем подготовительных работ по руде, м<sup>3</sup>;  $Q_{\text{п}}^{\text{с}}$  – то же по породе, м<sup>3</sup>;  $\rho$  – объемный вес руды, т/м<sup>3</sup>;  $\gamma_{T_{\text{рс}}}$  – ущерб от переработки 1 т разубоживающей массы, руб.

Экономическое сравнение вариантов разработки проводится по данным отработки месторождений сравнением значений точек оптимума для соответствующих целевых функций и выбором значений параметров, соответствующих точке оптимума по конечной продукции (табл.1) [7-8].

Таблица 1

Технико-экономические показатели вариантов разработки

Показатели	Единицы	Вариант 1	Вариант 2
Удельный вес технологии	%	100	100
Объем очистной выемки на 1 т запасов	м <sup>3</sup> /т	0,63	0,52
Расход ГПР на 1 т запасов	м <sup>3</sup> /т	0,09	0,06
Потери	%	15	5
Разубоживание	%	30	15
Доля руды, поступающей на РОФ	%	50	50
Средний выход хвостов обогащения	%	21	21
Месячная производительность блока	тыс./м <sup>3</sup>	1,6	1,8
Годовая производительность блока	тыс./м <sup>3</sup>	18,8	21,2
Трудоемкость очистной выемки	чел.см/м <sup>3</sup>	0,11	0,98
Отрабатываемые балансовые запасы	%	100	100
Выход руды на 1 т балансовых запасов	т/т	1,2	1,8
Количество добытой горной массы	%	105	100
Качество добытой руды	%	90	100
Извлечение металла	%	91	100
Затраты на выемку 1 м <sup>3</sup> горной массы	руб./м <sup>3</sup>	16,3	21,2
Прибыль на 1 т балансовых запасов	руб./т	52,2	57,2
Экономический эффект на 1 т запасов	руб./т	- 4,5	-
Годовой экономический эффект(ущерб)	тыс.руб.	- 1700	-

Характер изменения прибыли предприятия в зависимости от величины потерь и разубоживания по конечному продукту устанавливается моделированием значений полученных параметров.

На основе экспериментальных и расчётных данных создан симметричный план Бокса В<sub>4</sub> в период работы предприятия до кризиса 1990 г. Определены граничные условия независимых переменных для вариантов 1 и 2 (табл.2-3).

Таблица 2

Граничные условия независимых переменных для варианта 1

Уровни	Нижний, (-1)	Средний, (0)	Верхний, (+1)	Интервал, (Δ)
Потери руды, %	10	20	30	10
Разубоживание породами, %	20	40	60	20
Извлечение металла	60	70	80	10
Прибыль на 1 т запасов	-40	-50	-60	10

Таблица 3

Граничные условия независимых переменных для варианта 2

Уровни	Нижний, (-1)	Средний, (0)	Верхний, (+1)	Интервал, (Δ)
Потери руды, %	3	6	9	3
Разубоживание породами, %	5	10	15	5
Извлечение металла	70	80	90	10
Прибыль на 1 т запасов	+20	+35	+50	15

Для граничных условий независимых переменных построены модели технологий по вариантам (табл.4).

Таблица 4

Граничные условия независимых переменных

Уровни	Нижний, (-1)	Средний, (0)	Верхний, (+1)	Интервал, (Δ)
Затраты на добычу руды, руб. (Z)	200	300	400	100
Добыча руды, тыс. т (X <sub>1</sub> )	80	100	120	20
Содержание металлов, % (X <sub>2</sub> )	2	4	6	2
Потери руды, тыс. т (X <sub>3</sub> )	5	15	20	5
Разубоживание, %(X <sub>4</sub> )	20	40	60	20

С использованием метода планирования эксперимента построена математическая модель зависимости результативного признака Z – затрат на добычу руды от факторов X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub>, X<sub>4</sub>, Матрица планирования выбрана в форме плана Бокса. Расчет модели произведен в Maple. Независимые переменные X<sub>i</sub> приведены в кодовом масштабе. Модель затрат на добычу руды с независимыми переменными имеет вид

$$Z = -1,572 X_1 - 0,6014 X_2 + 1,3897 X_3 - 17,037 X_4 + 0,3073 X_1^2 + 0,5159 X_2^2 - 0,2123 X_3^2 + 35,402 X_4^2 - 1,8129 X_1 X_2 + 2,1476 X_1 X_3 - 0,2259 X_1 X_4 - 1,6698 X_2 X_3 - 1,8389 X_2 X_4 + 0,3533 X_3 X_4.$$

где Z – суммарные затраты; X<sub>1</sub> – добыча руды; X<sub>2</sub> – содержание металлов в руде; X<sub>3</sub> – потери руды; X<sub>4</sub> – разубоживание руды породами.

Гипотеза о зависимости проверена по критерию Фишера на уровне значимости 5% и принята в качестве правдоподобной, что позволяет рассматривать зависимость в качестве модельной для рассматриваемой задачи определения затрат предприятия на добычу руды.

Доля разубоживания составляет 65 – 67 %, что позволяет использовать этот показатель в качестве основного критерия оптимизации. Значения независимых переменных, обеспечивающие минимальные затраты на добычу:  $X_1 = -1$ ,  $X_2 = +1$ ,  $X_3 = -1$ ,  $X_4 = +1$ .

Коэффициенты перед выражениями  $X_4$  и  $X_4^2$  по модулю на порядок больше остальных коэффициентов. Это указывает на то, что фактор  $X_4$  (разубоживание руды породами) в качестве основного критерия оптимизации выбран правильно.

В переводе на натуральный масштаб основные параметры оптимизационной задачи составляют: добыча руды - 200 тыс. т/год; содержание металлов в руде - 5 %; потери - 6 %; разубоживание - 25 %. Значение затрат в точке оптимума составляет 280 руб./т в ценах 1990 г.

Суммарные затраты на производство концентратов, руб./т

$$Z_{np} = 36,65 - 7,70 X_1 + 0,0058 X_2 + 0,305 X_3 + \\ + 1,47 X_1^2 + 0,03 X_2^2 + 0,58 X_3^2 - 0,01 X_1 X_2,$$

где  $X_1$  – затраты на отбойку;  $X_2$  – затраты на транспортировку;  $X_3$  – затраты на обогащение.

Моделированием подтверждается, что наиболее сильное влияние на затраты оказывает обогащение руд или компенсация разубоживания на этапе горного передела [9-10].

Перспективным направлением модернизации технологий подземной разработки месторождений является их комбинирование. Экономическая эффективность комбинирования технологий, различающихся количеством и качеством добываемых запасов, определяется сравнением затрат при добыче кондиционных руд с извлечением металлов на фабрике (традиционный метод) и при подземном выщелачивании (инновационный метод) металла, в том числе, из забалансовых руд и хвостов.

Показатели комбинированной разработки определены для золоторудного месторождения с условиями:

- глубина горных работ до 400 м;
- на этапе 1 в течение года добывается и перерабатывается на заводе 40000 т балансовых руд с содержанием 7 г/т;
- на этапе 2 перерабатывается 60000 т балансовых руд с содержанием 3 г/т подземным выщелачиванием;
- на этапе 3в штабелях и в дезинтеграторах с механохимической активацией выщелачиваются 40000 т хвостов обогащения с содержанием 0,5 г/т (табл.5).

Модель экономической эффективности комбинирования технологий на этапах разработки месторождения с независимыми переменными в безразмерном масштабе имеет вид

$$W = -0.365 \cdot X_1 + 68288.391 \cdot X_2 + 0.437 \cdot X_3 + 2215.482 \cdot X_4,$$

где  $W$  – прибыль;  $X_1$  – количество горной массы;  $X_2$  – содержание золота в руде;  $X_3$  – извлечение золота из руды;  $X_4$  – рудничная себестоимость.

Коэффициент детерминации равен:  $R^2 = 0,9991$ . Расчетное значение критерия Фишера:  $F_{расч} = 1662,35$ . Табличное значение критерия Фишера:

$F_{табл} (5\%; 4; 2) = 19,25$ . Так как  $F_{расч} > F_{табл}$ , зависимость принимается как правдоподобная.

Таблица 5

Показатели комбинированного извлечения золота на этапах добычи

Показатели	Этап 1	Этап 2	Этап 3	Всего
Горно-капитальные работы, \$/т	1,9	1,15	-	-
Горно-подготовительные работы, \$/т	3,8	5,0	-	-
Очистные работы, \$/т	3,2	4,0	-	-
Горные работы (всего), \$/т	8,9	10,15	-	-
Закладочные работы, \$/т	2,7	-	-	-
Подземный транспорт, \$/т	0,5	0,39	-	-
Подъем и сортировка, \$/т	0,73	0,18	-	-
Проветривание, \$/т	1,2	0,31	-	-
Водоотлив(перекачка растворов), \$/т	0,3	1,17	-	-
Оборудование кучного выщелачивания, \$/т	-	-	1,0	-
Выщелачивание хвостов, \$/т	-	-	1,0	-
Общерудничные расходы, \$/т	3,85	2,45	-	-
Рудничная себестоимость, \$/т	18,3	14,9	2,0	-
Количество горной массы, т	40000	60000	40000	140000
Содержание золота, г/т	7	3	0,5	-
Количество золота в горной массе, г	280000	180000	20000	480000
Извлечение золота, %	90	60	60	77
Добыто золота, г	252000	108000	12000	372000
Продажная цена, \$/г	10	10	10	10
Рыночная цена, \$/г	12	12	12	12
Прибыль, \$	504000	216000	24000	744000
Эффективность, %	100	-	-	148

Условия опытов в кодовом и натуральном масштабе приведены в табл.6.

Таблица 6

Граничные условия независимых переменных

Уровни	Нижний, - 1	Средний, 0	Верхний, +1	Интервал, Δ
Количество горной массы, тыс.т ( $X_1$ )	40	90	140	50
Содержание золота в руде, г/т ( $X_2$ )	0,5	3.75	7	3.25
Извлечение золота из руды, % ( $X_3$ )	60	75	90	15
Рудничная себестоимость, \$/т ( $X_4$ )	2,0	10.15	18,3	8,15

Независимые переменные приведены в реальном масштабе. Так как коэффициенты при  $X_1$  и  $X_3$  во много раз меньше коэффициентов при  $X_2$  и  $X_4$ , то факторы  $X_1$  и  $X_3$  практически не оказывают влияние на показатель прибыли. Влияние фактора  $X_2$  больше, чем фактора  $X_4$ , поскольку коэффициент при  $X_2$  на порядок больше. Наиболее сильное влияние на резульативный показатель прибыли оказывает фактор содержания золота в руде (табл.7).

Математическая модель зависимости между факторами  $X_1, X_2, X_3, X_4$

$$X_4 = 23,092 - 0,005X_1^2 + 3,657X_2^2 + 0,015X_1 - 0,423X_1X_2 + 17,768X_2.$$

Модель указывает на наиболее тесную связь между факторами  $X_2$  и  $X_4$ , так как коэффициент при  $X_2$  на порядок больше остальных коэффициентов.

## Граничные условия независимых переменных

Уровни	Этап 1		Этап 2		Этап 3		Всего	
	мин.	макс.	мин.	макс.	мин.	макс.	мин.	макс.
Количество руды, тыс.т ( $X_1$ )	20	60	40	80	20	60	80	200
Содержание золота, г/т ( $X_2$ )	5	9	2	5	1	3	1	9
Извлечение золота, % ( $X_3$ )	70	90	60	70	50	60	50	90
Рудничная себестоимость, \$/т ( $X_4$ )	19	12	10	19	5	15	5	19

Извлекаемая ценность руды повышается после ее обогатительного и металлургического передела, поэтому процесс оптимизации производства металлов должен осуществляться способом компромиссного оптимума нахождением такой точки, в которой значение целевой функции близко к оптимальному по каждому из переделов в отдельности [11-12]. При этом важен расход энергии на подготовку сырья для переработки [13-15].

**Заключение**

Основным условием повышения эффективности является уменьшение потерь и разубоживания руд и утилизация выданного на поверхность некондиционного минерального сырья.

Инструментом решения задачи комплексного использования запасов и охраны природных ресурсов может быть экономико-математическое моделирование с поиском удовлетворяющего сочетанию компромиссного оптимума критериев в рамках динамической модели управления производственными процессами.

**Список литературы**

- Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В., Радченко Д.Н. Научно-методические основы проектирования экологически сбалансированного цикла комплексного освоения и сохранения недр Земли // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № 4 (спец. вып. № 15). С. 5–11.
- Haifeng Wang, Yaqun He, Chenlong Duan, Yuemin Zhao, Youjun Tao, Cuiling Ye. Development of Mineral Processing Engineering Education in China University of Mining and Technology // Advances in Computer Science and Engineering. AISC 141. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2012. P. 77–83.
- Голик В.И., Разоренов Ю.И., Лукьянов В.Г. Эколого-экономические аспекты ресурсосбережения при разработке месторождений полезных ископаемых // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2017. Т. 328. № 6. С. 18-27.
- Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Irina G. Improving the effectiveness of explosive breaking on the bade of new methods of borehole charges initiation in quarries // Metallurgical and Mining Industry. 2015. Vol. 7. No 7. P. 383-387.
- Куранов А. Д. Применение численного моделирования для выбора безопасных параметров систем разработки рудных месторождений в высоконапряженных массивах // Записки Горного института. 2013. Т. 206. С. 60–64.
- Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Burdzieva O. Metal deposits combined development experience // Metallurgical and Mining Industry. 2015. Т. 7. № 6. С. 591-594.
- Голик В.И., Лукьянов В.Г., Хашева З.М. Обоснование возможности и целесообразности использования хвостов обогащения руд для изготовления твердеющих смесей // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2015. Т. 326. № 5. С. 6-14.
- Matthews T. Dilution and ore loss projections: Strategies and considerations //SME Annual Conference and Expo and CMA 117th National Western Mining Conference–Mining: Navigating the Global Waters. Denver, United States. 2015. P.529–532.

9. Ляшенко В.И. Природоохранные технологии освоения сложноструктурных месторождений полезных ископаемых // Маркшейдерский вестник. 2015. № 1. С.10-15.
10. Юн А.Б., Рыльникова М.В., Терентьева И.В. О перспективах и стратегии освоения Жезказганского месторождения // Горный журнал. 2015. № 5. С. 44–49.
11. Golik V.I., Razorenov Yu.I., Ignatov V.N., Khasheva Z.M. The history of Russian Caucasus ore deposit development // Journal of the Social Sciences. 2016. Vol. 11. No. 15. P. 3742-3746.
12. Голик В.И., Комащенко В.И. Практика выщелачивания металлов из отходов переработки руд // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2016. № 3. С. 13-23.
13. Дмитрак Ю.В. Теория движения мелющей загрузки и повышение эффективности оборудования для тонкого измельчения горных пород: автореф. дис. д-ра техн. наук / Московский государственный горный университет. Москва, 2000.
14. Дмитрак Ю.В., Вержанский А.П. Тенденции применения оборудования для тонкого измельчения горных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2000. № 6. С. 184-188.
15. Дмитрак Ю.В., Логачева В.М., Подколзин А.А. Геофизическое прогнозирование нарушенности и обводненности массива горных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2006. № 11. С. 35-36.

*Сведения об авторах*

**Дмитрак Юрий Витальевич**, д-р техн. наук, профессор, ректор, Северо-Кавказский государственный технологический университет, Владикавказ, Россия.

**Габараев Олег Знаурович**, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой Северо-Кавказский государственный технологический университет, Владикавказ, Россия.

**Габараев Георгий Олегович**, аспирант, Северо-Кавказский государственный технологический университет, Владикавказ, Россия.

**Стась Павел Павлович**, аспирант, Тульский государственный технический университет, Тула, Россия.

УДК 622.2

**ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВРЕМЕННОГО ВНУТРЕННЕГО  
ОТВАЛООБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ РЕЖИМА  
ГОРНЫХ РАБОТ НА КАЧАРСКОМ КАРЬЕРЕ АО ССГПО****Кузьмин С.Л., Салько О.Ю.**

Из анализа современной технологии ведения открытых горных работ на крупных карьерах, многие из которых находятся на этапах доработки, прослеживается тенденция постоянного усложнения горнотехнических условий их эксплуатации. Наряду с техническими сложностями, связанными с формированием сложной транспортной схемы на базе комбинированного транспорта, необходимостью поддержания требуемой длины вскрышного и добычного фронта при условии его закономерного сокращения, планового объема готовых к выемке запасов руды, обеспечения проектных параметров и показателей системы разработки, есть дополнительные проблемы, связанные с экономическими условиями. При эксплуатации больших карьеров со сложной инфраструктурой экономические проблемы связаны как с внутренними, так и внешними факторами.

Внутренними проблемами являются необходимость обновления транспортного, добычного оборудования, изменения его типоразмера, связанного с увеличением плеча транспортирования, иногда и технологии разработки, вследствие изменяющихся горно-геологических условий, связанные с этим изыскательские и проектные работы.

На фоне этого присутствуют внешние экономические факторы, которые в условиях рыночной экономики определяют уровень цен на продукцию горных предприятий и спрос на нее. Нестабильность внешних экономических показателей вносит свои коррективы в показатели горных предприятий, в календарный план горных работ.

При высокой цене на продукцию предприятие старается извлекать больше руды для получения максимальной прибыли от реализации, при этом управляющие компании в погоне за прибылью снижают план на отработку вскрыши, в результате чего впоследствии происходит отставание по вскрышным работам, что требует дополнительных затрат в будущем, иногда через значительное время.

Снижение цены и падение спроса приводит к ситуациям, когда предприятия работают на грани себестоимости и для сохранения минимальной прибыли также вынуждены корректировать календарный план отработки вскрышных пород в сторону сокращения текущих объемов, что впоследствии приводит к необходимости работать с повышенным текущим коэффициентом вскрыши [1].

Долгое время применявшаяся технология временно нерабочих бортов, которая успешно себя зарекомендовала для регулирования режима горных работ, во многих карьерах не может быть применена, так как на настоящий момент имеет место большое отставание вскрышных работ, исчисляемое десятками тысяч кубических метров и более. Предлагаемая технология должна позволить в процессе эксплуатации больших и средних карьеров более гибко перераспределять оперативные объемы вскрыши с возможностью относительно быстрого возврата в работу останавливаемой части борта и возвращение карьера к нормальному режиму эксплуатации.

Применение внутренних временных отвалов с целью сокращения текущих расходов на фоне неблагоприятной рыночной ситуации еще не имело практической реализации и требует научного исследования. При этом:

1. Производится подготовка готовых к выемке запасов руды с извлечением породы во временный внутренний отвал с минимальным перемещением.

2. После стабилизации цены временные объемы перевозятся во внешние отвалы.

Эта идея имеет следующие преимущества:

- снижение себестоимости добычи руды на период низкой цены на продукцию за счет снижения затрат на перевозку вскрыши;
- временный отказ от организации громоздкого вскрышного перегрузочного склада в стесненной рабочей зоне.

Однако основной недостаток состоит в том, что вскрыша подвергается двойной перевалке и, по сути, двойному отвалообразованию – сначала бульдозерному, затем экскаваторному. Поэтому необходимо провести исследования и выявить возможность организации временных внутренних отвалов в рабочей зоне карьера. Для технико-экономического обоснования технологии применения временных внутренних отвалов и построения модели оценки экономической эффективности технологии рассмотрены горнотехнологические условия Качарского карьера.

Качарский карьер сегодня характеризуется довольно сложными горнотехническими условиями. Отставание по вскрышным работам, узкие транспортные бермы, наличие сложных автомобильных транспортных схем, связанных со стесненными условиями, с большим количеством петлевых разворотов, снижает скорость движения и производительность автомобильного транспорта. Железнодорожные коммуникации «кольцом» сдерживают развитие горных работ из-за необходимости перестройки постоянных коммуникаций. Верхние горизонты до отметки «0» (глубина около 200 м) представляют собой рыхлые породы.

Западная часть карьера в настоящее время поставлена в конечное положение до отметки –120 м. Проектная глубина карьера – около 750 – 800 м. Работы ведутся преимущественно на Западном борту ниже отметки –120 м, Южном и Восточном бортах карьера. На сегодняшний день фактически достигнутая глубина карьера составляет около 460 м.

Постоянные железнодорожные коммуникации заходят с северо-востока до отметки +75 м и с северо-запада до отметки +100 м. Горизонты ниже расположения железнодорожных коммуникаций преимущественно представляют рабочую зону и могут рассматриваться, как потенциально пригодные для расположения внутреннего отвала. Располагать внутренний отвал на горизонтах выше нерационально, учитывая уже имеющееся отставание по вскрыше и низкую несущую способность рыхлых грунтов.

Таким образом, зона расположения внутреннего отвала ограничивается горизонтами ниже отметки «0» и ниже расположения «кольца» железнодорожных транспортных коммуникаций.

Необходимо отметить, что местом временного отвалообразования являются участки постоянного борта или участки рабочего борта с низкой интенсивностью горных работ.

При расположении отвалов на постоянном борту карьера возникает необходимость обеспечения возможности доступа транспорта к месту разгрузки и обратно к забоям. При этом может возникнуть необходимость оставления на борту вместо предохранительных берм транспортных берм, поскольку обычно предохранительные бермы имеют ширину меньше транспортных. Для решения этого требования необходимо сравнить параметры предохранительных и транспортных берм, которые будут оставлены на борту карьера с учетом известных значений: предельного по устойчивости борта карьера  $\beta_y$ , откоса уступов  $\alpha$ , высоты уступов  $H_y$  и ширины транспортной бермы  $B_T$ .

Как уже отмечалось, постоянный борт является важнейшим элементом карьера. Его устойчивость и конструкция в значительной степени определяют безопасность персонала предприятия, возможности вскрытия рабочих уступов карьера, систему вскрывающих выработок и схему путевого развития. Это, в свою очередь, определяет условия работы транспорта. Параметры борта карьера также непосредственно влияют на глубину карьера, объем полезного ископаемого в контурах карьера, его производственную мощность, срок эксплуатации и экономические показатели работы горного предприятия. Устойчивость борта карьера зависит от угла его наклона  $\beta$ . От значения этого параметра зависит соотношение сдвигающих  $\sum F_C$  и удерживающих  $\sum F_y$  борт карьера сил.

Устойчивость борта сохраняется при равенстве этих сил, но это неустойчивое равновесие, поскольку в этом случае достаточно незначительного уменьшения удерживающих сил и борт обрушится. Поэтому для обеспечения длительной устойчивости борта в течение десятков лет борт отстраивают с запасом устойчивости, то есть удерживающие силы должны значительно превосходить сдвигающие. Соотношение этих сил определяется коэффициентом запаса устойчивости борта  $K_v$ , ед., который рассчитывается по формуле [2]

$$K_v = \frac{\sum F_y}{\sum F_c}. \quad (1)$$

При сроке существования борта до 5 лет  $K_v \geq 1,3$ , для более длительных сроков  $K_v \geq 1,5$ .

Научно-исследовательскими и проектными организациями выдаются рекомендуемые значения предельных по устойчивости углов наклона бортов карьеров  $\beta_v$  для разных участков борта с учётом необходимого запаса устойчивости борта карьера.

При известных значениях предельного по устойчивости угла наклона борта  $\beta_v$  необходимо обеспечить заданный наклон борта при его строительстве путем соблюдения расчётных параметров его элементов. Но для этого необходимо предварительно рассчитать значения этих параметров.

Поскольку угол наклона откоса уступа  $\alpha$  и соответствующее ему заложение откоса определяются физико-механическими свойствами горных пород, слагающих прибортовой массив, то получить заданный угол наклона борта карьера можно только за счет регулирования ширины предохранительных берм. Значение этого параметра можно определить на участке борта высотой в один уступ  $H_y$ .

На рис. 1 отображена схема постоянного борта карьера с предохранительными бермами.

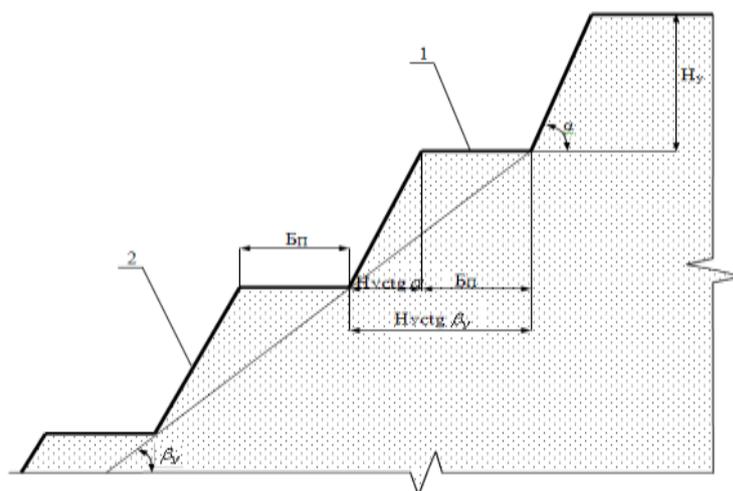


Рис. 1. Схема постоянного борта карьера:

1 – предохранительная берма; 2 – откос уступа;  $H_y$  – высота уступа;  $B_p$  – ширина предохранительной бермы;  $\alpha$  – угол наклона откоса уступа;  $\beta_v$  – предельный по устойчивости угол наклона постоянного борта карьера

Поскольку угол наклона откоса уступа  $\alpha$  и соответствующее ему заложение откоса определяются физико-механическими свойствами горных пород, слагающих прибортовой массив, то получить заданный угол наклона борта карьера можно только за счет

регулирования ширины предохранительных берм [3]. Значение этого параметра можно определить на участке борта высотой в один уступ  $H_v$ .

Заложение откоса борта на этом участке складывается из заложения откоса уступа и ширины предохранительной бермы.

В этом случае ширина предохранительной бермы  $B_{II}$ , м, обеспечивающая заданный угол наклона постоянного борта карьера, определяется по формуле

$$B_{II} = H_v(\operatorname{ctg}(\beta_v) - \operatorname{ctg}(\alpha)), \quad (2)$$

где  $H_v$  – высота уступа, м;

$\beta_v$  – предельный по устойчивости угол наклона борта карьера, град;

$\alpha$  – угол наклона откоса уступа, град.

Из анализа параметров предохранительных и транспортных берм следует, что для отсыпки вскрышных пород во временные отвалы необходимо обеспечить наличие на участке борта, по которому будет транспортироваться вскрыша берм с параметрами, позволяющими переоборудовать предохранительные бермы в транспортные. Кроме того, на месте формирования участка временного борта ширина бермы должна быть увеличена до возможности осуществления автотранспортом маневров перед разгрузкой автомобиля перед откосом уступа. Если такой возможности нет и на бортах только предохранительные бермы, то местом временного отвалообразования могут быть только участки рабочего борта с низкой интенсивностью горных работ. На рис. 2 отображена отсыпка временного отвала в карьерном пространстве.

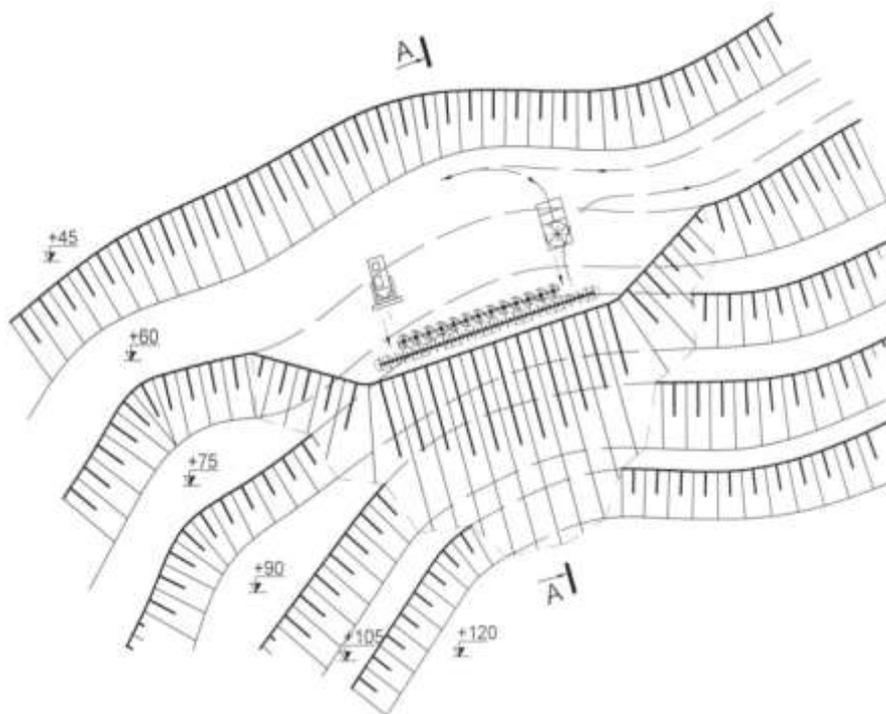


Рис. 2. Отсыпка многоярусного временного отвала в карьерном пространстве

Для построения и оптимизации календарного графика отработки месторождения и в последующем определения экономического эффекта от применения технологии временного внутреннего отвалообразования был выполнен горно-геометрический анализ на примере разреза Качарского железорудного месторождения (рис. 3). Разрез является характерными по центральной части карьера с наиболее мощной зоной оруденения.

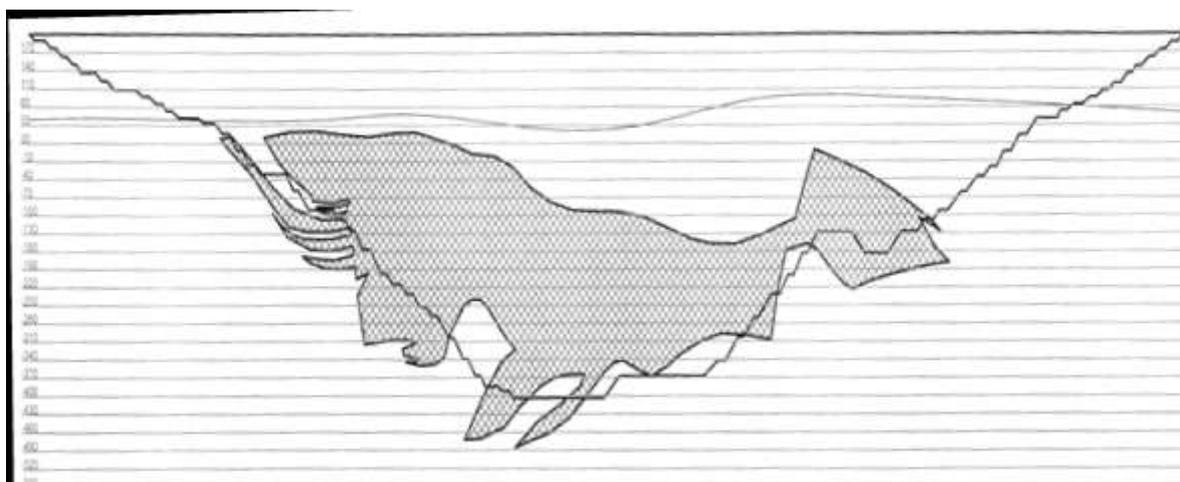


Рис. 3. Разрез по линии XXIII

При построении календарного графика отработки месторождения с учетом усреднения можно наблюдать следующую картину распределения объемов на рассматриваемом разрезе: для обеспечения планомерной отработки вскрышных пород в середине срока эксплуатации требуется отработка значительного объема пустых пород (рис. 4), составляющего 5,6 млн м<sup>3</sup> для разреза XXIII.

Концептуально использование технологии внутреннего отвалообразования для регулирования режима горных работ будет выглядеть следующим образом. При более детальном анализе календарного графика отработки месторождения можно определить моменты значительного роста производительности и соответственно необходимости применения технологии внутреннего отвалообразования. Для удобства календарный график был наложен на срок эксплуатации в годах при средней скорости углубки 10 м/год (рис. 4). Как видно, значительный перелом производительности наблюдается на 39 году эксплуатации при глубине карьера около 400 м и продолжается до 52-го года в течение 13 лет.

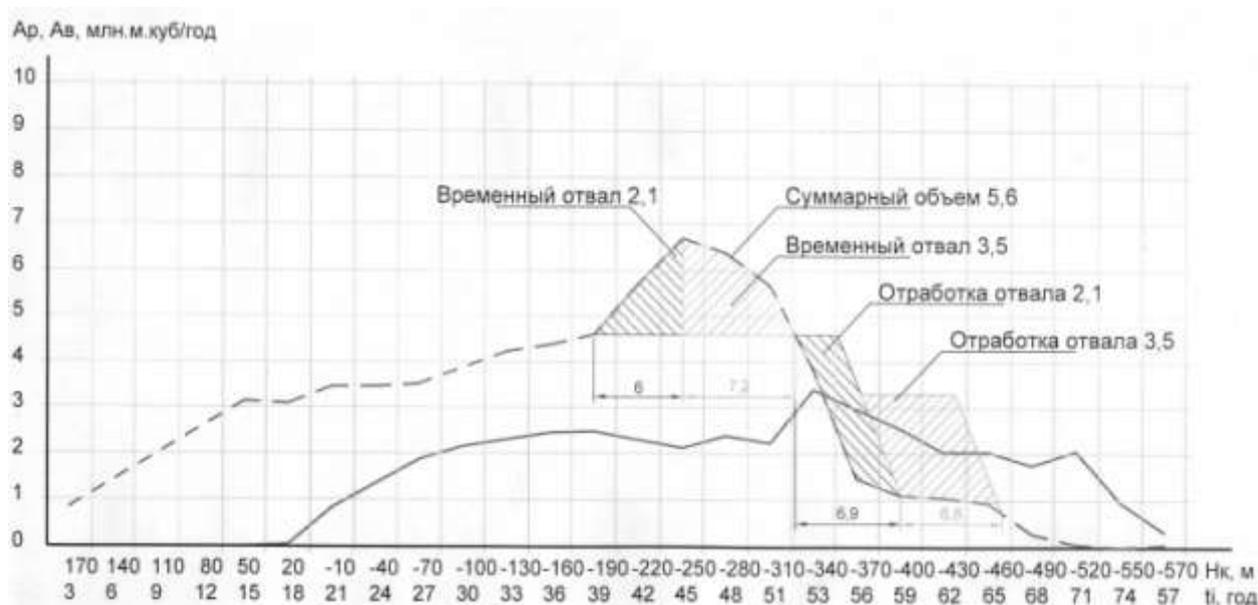


Рис. 4. Календарный график распределения объемов горной массы с периодами формирования и отработки внутреннего отвала

Объем пород, который необходимо расположить во временном внутреннем отвале, в соответствии с графиком составляет 5,6 млн м<sup>3</sup>. Так как это довольно большой объем, размещение которого в одном отвале в пределах карьерного пространства будет проблематично, необходимо либо его уменьшение, либо деление на очереди. В данном

случае, например, можно выделить 2 этапа: 6 лет с объемом складирования  $2,1 \text{ млн м}^3$ , и 7,2 года с объемом  $3,5 \text{ млн м}^3$ . Отработка в этот период ведется с последовательной отсыпкой внутренних отвалов с минимально возможным плечом откатки и минимальной себестоимостью. После 52-го года с началом снижения объемов вскрыши и текущего коэффициента возможна отработка временного отвала: первого за 6,9 лет, второго за 6,6 года.

Методика разработки режима отсыпки внутренних отвалов схожа с методикой формирования временно нерабочих бортов. Необходимость разработки технологии отсыпки временных внутренних отвалов связана с возникновением в определенных экономических условиях необходимости оперативно сократить затраты на производство при сохранении производственной мощности по полезному ископаемому.

Широко известные технологии отстройки в карьере временно нерабочих бортов (ВНБ) и поэтапной отработки месторождений при всей их эффективности, а именно возможности переноса сроков отработки значительных объемов вскрышных работ и, соответственно, существенного снижения затрат на отработку вскрыши, тем не менее не способны именно оперативно, то есть за короткое время значительно снизить себестоимость продукции. Отсутствие такой возможности в технологии ВНБ и поэтапной отработки месторождений обусловлено характером, а точнее, способом снижения затрат на разработку месторождения.

При технологии ВНБ снижение текущих затрат на отработку вскрыши происходит по мере остановки отработки вскрыши на очередном уступе, который достиг границы ВНБ, и затраты на отработку вскрыши не производятся в течение периода «консервации» вскрыши на этом уступе [4]. Это позволяет значительно снизить текущие затраты на период консервации вскрыши по ВНБ. Но сам характер снижения затрат носит достаточно «плавный», постепенный характер.

Технология отсыпки временных отвалов к карьере рассматривается, как способ именно резкого, может и не того значительного в итоге сокращения затрат, снижения себестоимости продукции за счет сокращения затрат на транспортирование горной массы. Возможность резкого снижения затрат на производство за счет сокращения затрат на транспортирование обусловлена тем, что в общей смете затрат затраты на транспортирование горной массы составляют 40-70 % себестоимости продукции. Поэтому, если сократить расстояние транспортирования вскрыши или не транспортировать значительную часть вскрыши, то себестоимость добычи руды в этот период резко снизится. Кроме того, кроме основного снижения затрат на транспортирование в крупных карьерах с применением комбинированного автомобильного и железнодорожного транспорта применение временного внутреннего отвала позволяет на значительное время исключить дорогостоящие перегрузки на перегрузочных складах. В современных крупных карьерах, таких как, например, Качарский карьер АО «ССГПО», в рабочей зоне для обеспечения производительности постоянно действуют 6-7 перегрузочных складов. Работу по перегрузке при автомобильно-железнодорожном транспорте обычно обеспечивают экскаваторы емкостью  $8-15 \text{ м}^3$  (ЭКГ-8, ЭКГ-10, ЭКГ-12,5, ЭКГ-15, RH-12), применение более высокопроизводительных экскаваторов ограничивается емкостью железнодорожных думпкаров, обычно это 2BC-105, для BC-180 уже требуется сооружение усиленного дорожного строения. Применение таких экскаваторов обеспечивает производительность перегрузочного склада порядка  $2-3 \text{ млн м}^3$  в год. Таким образом, при формировании внутреннего отвала емкостью около  $2-4 \text{ млн м}^3$  в течение года можно на это время высвободить одну или две единицы оборудования. Освободившийся резерв может быть перераспределен на добычные или вскрышные работы на других участках карьера, ликвидацию отставания вскрышных работ при необходимости подготовки добычного фронта в ближней перспективе. При отсутствии необходимости использования высвободившегося оборудования оно может быть законсервировано, при этом в сумму снижения себестоимости включатся затраты на электроэнергию, оплату труда, ремонт и обслуживание этих экскаваторов. При возможности формирования внутреннего отвала большей емкости может быть рассмотрена возможность ликвидации одного из

складов, что может способствовать увеличению добычных площадей на данном участке работ.

Такой способ сокращения затрат на производство продукции по аналогии с технологией ВНБ позволяет получить экономический эффект от переноса затрат на более позднее время. В технологии ВНБ переносятся затраты на отработку «консервируемой» вскрыши, а в технологии с отсыпкой временных отвалов в карьере за счет переноса части затрат на транспортирование и переэкскавацию вскрышных пород – на более позднее время.

При отсыпке временных отвалов в карьере с единицы объема вскрышных пород, транспортируемых во временный отвал, получается экономия затрат ниже, чем в технологии отстройки ВНБ из-за того, что в первом случае отсутствуют затраты на все технологические процессы: подготовку к выемке, выемку, транспортирование и отвалообразование, а в предлагаемой технологии затраты на подготовку горных пород к выемке, выемку и частичное транспортирование уже присутствуют при отработке каждой единицы объема вскрышных работ. Экономия средств получается за счет сокращения затрат на транспортирование горной массы, отвалообразование и срока нахождения вскрышных пород во временном отвале. Преимущество этой технологии заключается в оперативности её применения без каких-либо предварительных продолжительных операций.

Ограниченность получаемого эффекта от единицы объема вскрыши, отсыпаемой во временные отвалы, требует минимизировать затраты на транспортирование вскрыши во внутренние отвалы и обеспечить возможность более длительного хранения вскрышных пород во временном отвале. Необходимо, по возможности, сократить производимые по этой технологии затраты.

Для решения этой задачи целесообразно принять определенные принципы, которые необходимо соблюдать при поиске эффективных решений задачи.

Первый принцип – минимальное расстояние транспортирования вскрыши во временный отвал. Очевидно, что необходимо минимизировать расстояние, на которое транспортируется вскрыша перед ее отсыпкой во внутренний отвал. Этому принципу соответствует выбор ближайшего в плане участка борта карьера с минимальной интенсивностью горных работ.

Второй принцип – исключение подъема вскрыши при транспортировании к месту отсыпки в отвал. Соблюдение этого принципа позволит исключить затраты энергии на подъем вскрыши на вышележащие уступы, то есть сократить затраты энергии на эту работу, а следовательно, финансовые затраты. Для соблюдения этого принципа целесообразно транспортировать вскрышу по горизонтальным бермам к месту разгрузки во временном отвале. В этом случае затраты энергии и топлива на транспортирование будут минимальными, что снизит общие затраты на этом цикле работ.

Третий принцип – обеспечение максимально возможного хранения вскрыши во временном отвале с целью увеличения интервала времени между разгрузкой породы во временном отвале и ее повторной погрузкой и транспортированием вскрыши во внешний постоянный отвал. Увлечение этого временного интервала, то есть смещения времени затрат на транспортирование во внешние отвалы, увеличивает экономический эффект от предлагаемой технологии.

Четвертый принцип – поиск возможности исключения выемки части подготовленных к выемке вскрышных пород, расположенных на контакте с конечным контуром карьера. В этом случае экономическая эффективность технологии будет максимальной, поскольку транспортирование вскрыши временно вообще исключается. Затраты в этом случае будут связаны только с подготовкой пород к выемке.

Пятый принцип – в определенных условиях может быть развит до оставления на предохранительных и неиспользуемых транспортных бермах в конце отработки карьера части объемов вскрыши навсегда.

Препятствием для организации постоянного складирования объемов вскрыши на предохранительных и транспортных бермах постоянных бортов карьера может быть

предположение, что эта пригрузка постоянного борта карьера может снизить его устойчивость. Необходимо рассмотреть влияние этого фактора на устойчивость прибортового массива.

При оценке устойчивости прибортового массива горных пород в случае отсыпки на бермах временных отвалов необходимо рассмотреть влияние этого фактора на устойчивость как отдельных уступов, так и всего борта в целом.

При отсыпке временного отвала на предохранительной или транспортной берме слоя вскрышных пород устойчивость уступа не станет предельной, поскольку высота навала не превысит высоту уступа и угол наклона откоса насыпи меньше, чем угол естественного откоса разрушенных скальных пород.

Кроме того, в частных случаях может возникнуть ситуация, при которой оставление внутреннего отвала целиком без последующей отработки может быть выгоднее, чем его отработка. Такая ситуация может возникнуть при его отсыпке в приконтурной зоне карьера, где балансовые запасы, блокируемые отвалом, невелики, в случае, если потери от нереализации оставляемых запасов ниже, чем затраты на его отработку и перемещение. Такая ситуация может возникнуть при складировании значительных объемов вскрышных пород и незначительном сроке существования отвала.

***Сведения об авторах:***

**Кузьмин С.Л., Салько О.Ю.** Рудненский индустриальный институт, Республика Казахстан

***Список литературы:***

1 Сысоев А. А., Шачиев И.О. Условие эффективности временных отвалов // Вестник Кузбасского ГТУ. 2005. № 1. С. 47-48.

2 Проектирование карьеров / Трубецкой К.Н., Краснянский Г.Д., Хронин В.В., Коваленко В.С. М.: Высшая школа, 2009. 694 с.

3 Ржевский В.В. Открытые горные работы. Технология и комплексная механизация. М.: Либроком, 2014. 552 с.

4 Ракишев Б.Р., Молдабаев С.К. Ресурсосберегающие технологии на открытых горных работах: учеб. пособие. Алматы: КазНТУ, 2015. 152 с.

УДК 504.55.054:662 (470.6)

**ПРИРОДНОЕ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ РУД**

Стась Г.В., Дмитрак Ю.В., Габараев Г.О., Бурдзиева О.Г.

**Аннотация.** Приведены сведения о качестве шахтных промышленных стоков металлодобывающих предприятий. На примере многолетней практики рудников Садонской группы месторождений детализирован механизм воздействия технологий добычи и переработки на окружающую среду. Даны результаты экспериментального выщелачивания металлов из минеральных частиц водой. Сформулированы закономерности перевода металлов в раствор путем воздействия шахтных вод на потерянную в выработанном пространстве руды. Рассмотрены аспекты сброса стоков горнодобывающего предприятия с жидкими продуктами природного выщелачивания в элементы гидросферы.

**Ключевые слова:** природное выщелачивание, металл, потерянные руды, окружающая среда, стоки, вода.

**Введение**

В результате извлечения из недр минеральных ресурсов возникают зоны деформации элементов литосферы с нарушением равновесия элементов гидросферы и изменением режима обращения подземных и поверхностных вод, в том числе, их загрязнения и засорения. Зоны становятся активными проводниками газов и воды, окисляющих потерянные в выработанном пространстве руды [1,3,6].

Шахтные воды представляют собой растворы различного состава, изменяющиеся при растворении различных веществ, среди которых важное место занимают шахтные или рудничные стоки с жидкими продуктами природного выщелачивания металлов.

К территориям с высоким сырьевым потенциалом, обладающим разнообразными природными ресурсами и значительными мощностями по их переработке, относится Северный Кавказ. Здесь решение связанных с функционированием минерально-сырьевого комплекса проблем приобретает приоритетное значение среди прочих региональных проблем. Это значение еще более усиливается наличием ущелий и горных массивов, препятствующих самоочищению гидросреды до безопасных для биоты размеров [12,13,15].

Эти особенности при добыче и переработке руд, а также в процессе хранения промышленных отходов способствуют развитию процессов миграции, преобразования в подвижные формы и аккумуляции техногенных элементов в ландшафтах региона, в особенности в окрестностях хранилища промышленных отходов горно-обогатительных фабрик. Жидкие стоки определяют концентрацию микрокомпонентов и величину водородного показателя в поверхностных водотоках, как в близости от хвостохранилища, так и далее на территориях бассейнов рек Ардон и Терек, вплоть до Каспийского моря.

Источник химического загрязнения расположен в среднегорной части Горной Осетии на территории Садонского рудного района, горно-долинные ландшафты которой относятся к экологически наиболее уязвимым системам. Основным источником загрязнения тяжелыми металлами почв данного района являются отходы Мизурской обогатительной фабрики, которая действует с конца 19 века и специализируется на обогащении свинцово-цинковых руд Садонского месторождения. Растворы химических элементов трансформируются в подвижные фазы и депонируются в экосистемы окружающей природной среды путем ветрового пыления и прямого стока в гидросеть.

**Методы**

Целью настоящей статьи является уточнение механизма и уменьшение масштаба влияния природного выщелачивания руд на окружающую среду. Она достигается решением ряда задач:

– исследование химических реакций природных реагентов с минералами;

– изменение окружающей среды под влиянием природного выщелачивания руд.

Для достижения цели исследования используется комплексный метод: анализ опыта, эксперимент, моделирование и экспертная оценка. В результате исследований устанавливаются закономерности управления процессами природного выщелачивания путем технологического воздействия, положенные в основу химико-математической модели управления системой «минерал - окружающая среда», создаваемой с применением математической статистики Шеффе. Полученные технологические решения рекомендуются для практической реализации управленческой модели с получением технико-экономических преимуществ[2,8,14].

#### Результаты исследования и обсуждение

При разработке месторождений полезных ископаемых России из горных выработок откачивается 2,5 млрд км<sup>3</sup>/год промышленных стоков, не пригодных даже в качестве технической воды. Шахтные стоки содержат металлы в концентрации, соизмеримой и даже превышающей концентрацию этих металлов в рудах. Например, воды принимающего стоки рудника Комсомольский АО комбината «Норильский никель» озера Кыллах-Кюэль содержат медь, никель и кобальт с превышением ПДК соответственно в 1600, 3000 и 600 раз.

Горные предприятия России сбрасывают в гидросферу около 18 Мт/год растворов химических веществ (см. таблицу).

Загрязненность промышленных стоков, мг/л

Загрязнители	Металлы			
	Вольфрам и молибден	Медь, сурьма и ртуть	Цинк и свинец	Никель и кобальт
Сухой остаток	2000-13000	2600-3800	460-5400	360-2000
Ионы кальция	160-200	160-950	16-230	10-140
Ионы магния	-	26-60	5-30	8-40
Ионы хлоридов	140-740	200-4500	5-170	10-300
Ионы сульфатов	250-5900	400-4500	40-1500	20-400
Ионы сульфидов	0-1000	0-5	-	-
Ионы меди	0-50	0-0,2	0,3-10	0,02-1,8
Ионы свинца	0,4-17	-	0,2-0,8	-
Ионы цинка	0,3-1	0,09-10	0,3-1800	-
Ионы никеля	-	-	-	0,02-0,13
Ионы железа	0,3-1,4	0,2-0,3	-	0,07-13
Цианиды, роданиды	0-0,8	-	0-30	0-21
Мышьяк	0,1-6	0-0,05	0-0,1	-
Сурьма	0,61-25	-	-	-
Молибден	0-740	-	-	-

В процессе горных работ часть отделенной от массива руды остается в пустотах, формируя техногенные месторождения потерянных руд.

Наиболее представительными в этом отношении старейшие рудники Садонской группы месторождений, возраст которых превышает 180 лет. Состав руд, %: галенит-1,5, сфалерит-5,5, халькопирит-0,5, пирит-12-15, карбонаты-4,0-6,0, пирротин-1,0-2,0. Руды содержат, %: 55 -SiO<sub>2</sub>; 5,0-CaO; 10-FeO; 7% S и другие компоненты.

С 1942 г. осуществляется разработка верхних горизонтов месторождения, в ходе которой извлечено до половины потерянных руд с балансовым содержанием металлов. Однако большая часть руд вновь осталась в пустотах месторождения, так как переработка их уже в то время была не рентабельна.

В пустотах рудников протекают окислительные процессы, катализатором которых является углекислота шахтной атмосферы. Окисление является следствием электрохимических и физических процессов, протекающих между кристаллами или минеральными зёрнами. Анодные участки окисляются и растворяются вследствие возникновения ЭДС из-за разности потенциалов частиц. ЭДС ускоряют растворение минералов с отрицательным электродным потенциалом у галенита, сфалерита и замедляет растворение минералов с положительным электродным потенциалом у пирита и халькопирита. Склонность руд к выщелачиванию зависит от наличия пирротина, которое на участках месторождения различается с уменьшением сверху вниз (рис.1).

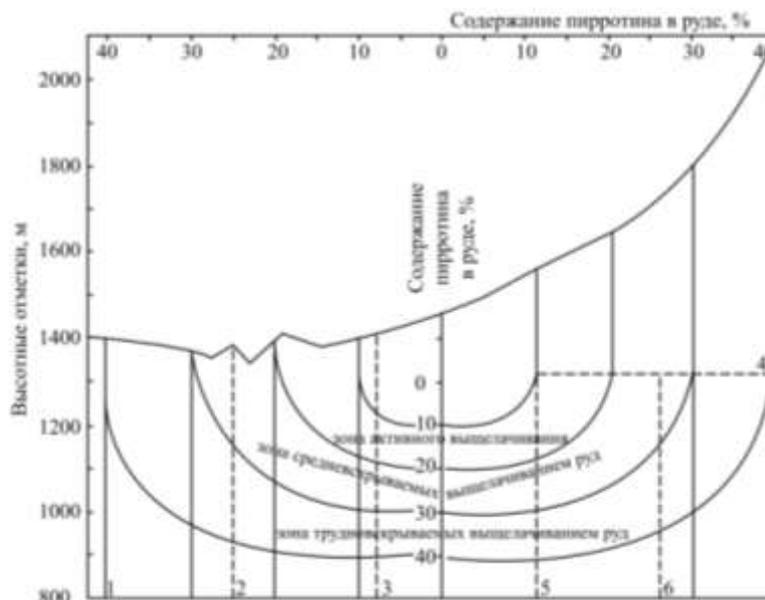


Рис. 1. Активность выщелачивания в зависимости от наличия пирротина

Металлосодержащие стоки выносятся металлы на поверхность по штольням и попадают в одну из главных водных артерий региона – реку Ардон (рис.2).

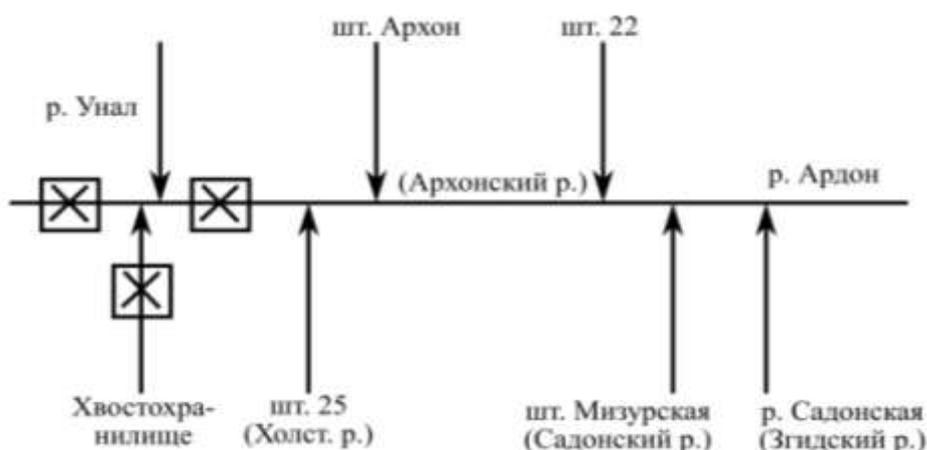


Рис. 2. Схема загрязнения реки продуктами природного выщелачивания

При полном окислении руд 20% вещества переходит в углекислые соединения, а 80% находится в сульфатной форме. Темпы процесса снижаются при наличии кальцита, который нейтрализует кислоту.

В верховьях протекающей по территории Садона реки Ардон вода характеризуется как «чистая» с ИЗВ 0,6. Ниже по течению качество воды ухудшается с повышением содержания

меди, железа и цинка. Вода оценивается как «умеренно загрязненная», а ИЗВ меняется от 1,2 до 1,63 (рис. 3).

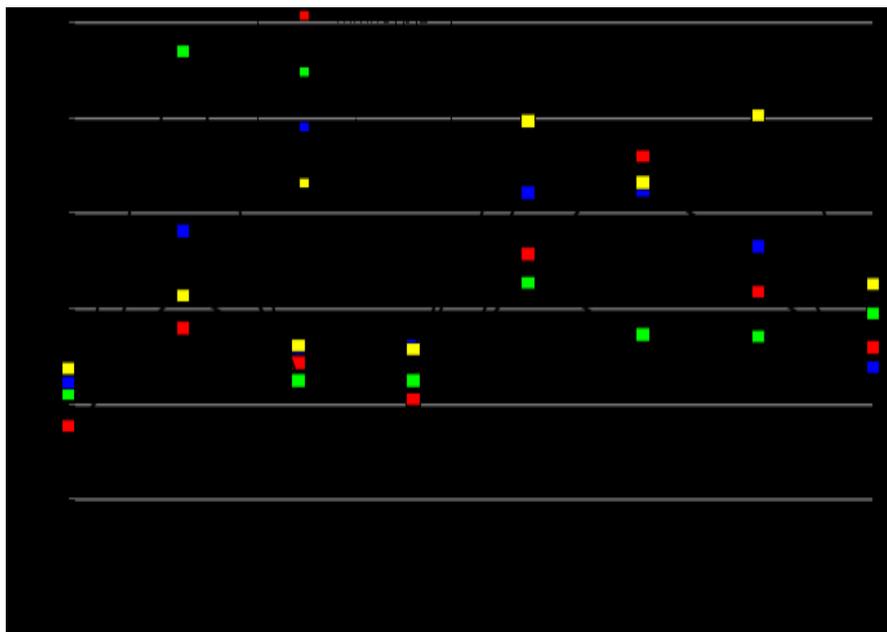


Рис. 3. Динамика изменения ИЗВ в р. Ардон в годы эксплуатации месторождения

На Дегтярском руднике медь из потеранных руд выщелачивали водой, которую подавали в количестве  $600 \text{ м}^3/\text{ч}$  в течение 15 дней. Концентрация меди в растворе достигала  $14 \text{ г/л}$  течение суток. При подкислении воды содержание в растворе увеличилось.

На руднике Майами (США) медьсодержащие породы водой выщелачивают более 80 лет, получая содержание меди в растворе  $0,3\%$ .

При разработке Урупского месторождения медно-колчеданных руд в потерях оказались руды с содержанием меди до  $1\%$ , цинка до  $0,5\%$  и др. металлами. Воды реки Уруп, проникающие в выработки в количестве до  $350 \text{ м}^3/\text{сут}$ , при фильтрации сквозь породы приобретают рН 4-5 и выносят в течение года более 20 т меди, 30 т цинка и др. металлы.

Стоки Тырныаузского вольфрамово-молибденового месторождения выносят в реку Баксан растворы, превышающие ПДК в разы: вольфрама - 160, молибдена - 460, цинка 8, меди 7 и т.д. Растворы природного выщелачивания содержат  $4 \text{ мл/л}$  молибдена,  $2 \text{ мл/л}$  вольфрама и  $0,5 \text{ мг/л}$  меди.

При исходном содержании в рудах Какадур-Ханикомского месторождения (PCO-A), %: галенита -3; сфалерита -3; халькопирита -0,5; пирротина -5,0; пирита -10; кальцита -5, в сточных водах с рН 5-6 концентрация цинка достигает  $80\text{-}600 \text{ г/м}^3$ , увеличиваясь во время дождей до  $250 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

В пустотах Архонского месторождения (PCO-A) концентрация свинца в стоках с рН - 1,0-5,0 изменяется в пределах  $1,0 - 7,3 \text{ г/дм}^3$  и характеризуется величиной  $60 \text{ мг/дм}^3$  цинка и  $7,0 \text{ мг/дм}^3$  свинца.

Закономерности выщелачивания металлов из минеральных частиц водой установлены экспериментально. Применен метод математической статистики Шеффе для многокомпонентных смесей.

От проб отобрано по 10 кг, которые помещены в 5 полиэтиленовых колонн диаметром 100 мм, высотой 1,2 м. Скорость фильтрации  $1,5\text{-}2 \text{ дм}^3/\text{ч}$ . Каждые  $10 \text{ дм}^3$  раствора отстаивались в течение 2-3 ч и опробовались. Твердый остаток промывали до рН=7,0, высушивали, взвешивали и определяли извлечение железа и меди титриметрическим и фотометрическим хроматным методом.

На окисление 1г железа расходуется 1,14 г кислорода. Теоретическая растворимость кислорода воздуха в воде при  $t=19^{\circ}\text{C}$  и давлении 760 мм рт. ст. - 3,1 мг/дм<sup>3</sup>. Максимальное количество кислорода, которое может поступить с 50 дм<sup>3</sup> воды, 455 мг. В 10 кг пробы содержится около 450 г пирита, при его окислении по реакции



образуется 367,5 г серной кислоты.

На реакцию с карбонатами израсходуется



225,4 г кислоты.

Для поддержания кислотности воды и других процессов останется 142,1 г, или 2,8 г/дм<sup>3</sup>.

Для поддержания кислотности раствора на уровне  $\text{pH}=4$  необходимо 0,13 г/дм<sup>3</sup> серной кислоты. При окислении 1г пирита образуется 1,63 г серной кислоты. При взаимодействии с карбонатами 1 молекула кислоты реагирует с одной молекулой карбоната или 0,98 г с 1 г.

Для развития окислительных процессов необходимо соблюдение неравенства  $\text{FeS}_2 > \text{CaCO}_3$ .

Опыт 1. Выщелачивание металлов водой ( $\text{pH}=6,4$ ) из крупных рудных частиц. Среднее содержание железа по пяти циклам составило 5,8 мг/дм<sup>3</sup>, меди - 15,9 мг/дм<sup>3</sup>. В каждой колонне в среднем получено 0,3 г железа и 0,8 г меди. Остаток после выщелачивания 896,0 г, содержание свинца 18,6 г и цинка 27,1 г, что соответствует извлечению по твердым остаткам по свинцу 7,0%, цинку - 9,7%.

Опыт 2. Выщелачивание металлов водой с  $\text{pH}=6,4$  из частиц средней крупности. Через каждую из 5 колонн, в которой находилось 10 кг пыли, содержащей 6 г свинца, 11 г цинка, пропущено 50 дм<sup>3</sup> воды со скоростью 1.5 дм<sup>3</sup> в час. Среднее содержание свинца по 5 циклам составило 3,75 мг/дм<sup>3</sup>, цинка - 10,5 мг/дм<sup>3</sup>. В каждой колонне в среднем получено 0,188 г свинца и 0,525 г цинка. Остаток после выщелачивания 987,0 г, содержание свинца 5,6 г и цинка 10,3 г, что соответствует извлечению по твердым остаткам по свинцу 5,9 %, цинку - 6,8 %.

Опыт 3. Выщелачивание металлов водой ( $\text{pH}=6,4$ ) из мелких частиц. Через каждую из 5 колонн, в которой находилось 10 кг пыли, содержащей 6 г свинца, 11 г цинка, пропущено 50 дм<sup>3</sup> воды со скоростью 1.5 дм<sup>3</sup> в час.

Среднее содержание свинца по 5 циклам составило 3,75 мг/дм<sup>3</sup>, цинка - 10,5 мг/дм<sup>3</sup>. После выщелачивания пробы в каждой колонне в среднем получено 0,2 г свинца и 0,5 г цинка. Остаток после выщелачивания 987,0 г, содержание свинца 5,6 г и цинка 10,3 г, что соответствует извлечению по твердым остаткам по свинцу 5,9 %, цинку - 6,8 %.

Стоки рудников горных предприятий содержат металлы, для извлечения которых пригодны электрофизические процессы, например гальванохимический на основе микрогальванопары [7,9,11,16].

Выдаваемые на поверхность шахтные воды подразделяют на органические, механические и химические. По отношению к органическим загрязнениям природные воды способны к естественному самоочищению путем превращения органических примесей в соединения углерода и азота работой микроорганизмов и бактерий.

Радикальное сокращение негативного воздействия промышленных стоков на экосистемы прилегающей территории возможно при утилизации их с нейтрализацией химического потенциала эффективными технологиями, что позволит получить товарные продукты и снизить негативную нагрузку на экологическую обстановку региона. Применение технологий ставит задачу поиска эффективных способов подготовки минерального сырья с раскрытием их технологических качеств [4,5,10].

### Выводы

Промышленные стоки металлдобывающих предприятий, генерируемые процессами добычи и переработки, являются фактором мощного негативного воздействия на окружающую среду. Выщелачивание металлов из руд осуществляется природными водами, усиливаясь наличием в составе руд пирротина.

Минимизация вредного влияния природного выщелачивания возможна путем усиления окислительного потенциала природных растворителей добавлением промышленных окислителей с извлечением металлов и солей перед сбросом стоков горнодобывающего предприятия в гидросферу.

#### Список литературы:

1. Голик В.И., Комащенко В.И. Практика выщелачивания металлов из отходов переработки руд // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2016. № 3. С. 13-23.
2. Голик В.И., Лукьянов В.Г., Хашева З.М. Обоснование возможности и целесообразности использования хвостов обогащения руд для изготовления твердеющих смесей // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2015. Т. 326. № 5. С. 6-14.
3. Голик В.И., Разоренов Ю.И., Лукьянов В.Г. Эколого-экономические аспекты ресурсосбережения при разработке месторождений полезных ископаемых // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2017. Т. 328. № 6. С. 18-27.
4. Дмитрак Ю.В., Вержанский А.П. Тенденции применения оборудования для тонкого измельчения горных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2000. № 6. С. 184-188.
5. Дмитрак Ю.В., Логачева В.М., Подколзин А.А. Геофизическое прогнозирование нарушенности и обводненности массива горных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2006. № 11. С. 35-36.
6. Емельяненко Е.А., Самойлова А.С., Строкань А.М. Особенности фильтрации подземных вод в горных породах при формировании медьсодержащих техногенных гидроресурсов // Горный информационно – аналитический бюллетень. 2006. № 6. С. 31-33.
7. Каплунов Д. Р., Рыльникова М. В., Радченко Д. Н. Научно-методические основы проектирования экологически сбалансированного цикла комплексного освоения и сохранения недр Земли // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № 4 (спец. вып. № 15). С. 5–11.
8. Комащенко В.И. Эколого-экономическая целесообразность утилизации горнопромышленных отходов с целью их переработки // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2015. № 4. С. 23-30.
9. Ляшенко В.И. Природоохранные технологии освоения сложноструктурных месторождений полезных ископаемых // Маркшейдерский вестник. 2015. № 1. С. 10-15.
10. Стась Г.В., Титов Д.Ю. Выделение радона из шахтных подземных вод // Известия вузов. Горный журнал. 2005. Вып. 2. С. 31-32.
11. Broder J. Merkel, Britta Planner-Freidrich. (2005). Groundwater Geochemistry-A practical guide to modeling of natural and contaminated aquatic systems. Springer, Berlin. P.230-238.
12. Burdzieva O.G., Zaalishvili V.B., Beriev O.G., Kanukov A.S., Maisuradze M.V. Mining impact on environment on the North Ossetian territory // International Journal of GEOMATE. 2016. Vol. 10. No 1. P. 1693-1697.
13. Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Burdzieva O. Metal deposits combined development experience // Metallurgical and Mining Industry. 2015. Vol. 7. No 6. P. 591-594.
14. Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Irina G. Improving the effectiveness of explosive breaking on the bade of new methods of borehole charges initiation in quarries // Metallurgical and Mining Industry. 2015. Vol. 7. No 7. P. 383-387.
15. Golik V.I., Razorenov Yu.I., Ignatov V.N., Khasheva Z.M. The history of Russian Caucasus ore deposit development // Journal of the Social Sciences. 2016. Vol. 11. No15. P. 3742-3746.

16.Molev M. D., Stradanchenko S.G.,Maslennikov S.A. Theoretical and experimental substantiation of construction regional security monitoring systems technospheric //ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2015. Vol.10, No.16. P. 6787-6792.

**Сведения об авторах**

**Стась Галина Викторовна**, д-р техн. наук, доцент, Тульский государственный университет, Тула, Россия.

**Дмитрак Юрий Витальевич**, д-р техн. наук, ректор Северо-Кавказского государственного технологического университета, Владикавказ, Россия.

**Габараев Георгий Олегович**, аспирант, Северо-Кавказский государственный технологический университет, Владикавказ, Россия.

**Бурдзиева Ольга Германовна**, канд. геогр. наук, зав. лаб., ФГБУН Геофизический институт Владикавказского научного центра РАН. Владикавказ, Россия.

## СПОСОБЫ СОЗДАНИЯ И ГИДРОИЗОЛЯЦИИ ТЕХНОГЕННОЙ ЕМКОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОРОД ВСКРЫШИ

Якшина В.В.

**Аннотация.** В статье рассмотрен вариант использования текущих пород вскрыши для создания техногенных пространств и их гидроизоляции с целью размещения хвостов обогащения. Представлена технология формирования ограждающих дамб с одновременным строительством гидроизоляционного экрана из пород вскрыши непосредственно в процессе добычи полезного ископаемого.

**Ключевые слова:** техногенное пространство, хвостохранилище, карьер, хвосты обогащения, ограждающая дамба, ядро, рыхлые породы, противofильтрационный экран.

### **Введение**

В связи с общемировой тенденцией снижения природного качества полезного ископаемого и увеличения коэффициента вскрыши горно-добывающая отрасль характеризуется неизбежным увеличением объемов добычи и переработки полезного ископаемого.

Решение задач, связанных с повышением эффективности функционирования горнодобывающего предприятия в условиях ужесточения экологических требований и увеличения себестоимости, требует комплексного подхода и своевременной проработки вопроса размещения отходов добычи и переработки минерального сырья.

По состоянию на 2017 г. доля отходов горной промышленности РФ, в частности и отходов обогатительных фабрик, составила 93% от общего количества отходов [5].

Для размещения хвостов обогатительной фабрики предусматривается формирование хвостохранилищ. При строительстве и эксплуатации хвостохранилища действующие нормативные документы регламентируют основные положения, которые призваны обеспечить:

- безопасность и надежность сооружений на всех стадиях их строительства и эксплуатации;
- максимально возможную экономическую эффективность строительства;
- постоянный контроль за состоянием гидротехнического сооружения и вмещающего массива горных пород, а также природными и техногенными воздействиями на них;
- подготовку ложа хвостохранилища;
- состояние ограждающих устройств, превышение гребня ограждений над уровнем хвостов обогащения;
- систему перехвата и отвода дождевых и талых вод;
- противofильтрационные устройства (экраны, стенки, пленки и др.).

Предъявляемые требования в настоящее время обеспечиваются, как правило, за счет использования соответствующих материалов при создании и эксплуатации хвостохранилища. В ряде случаев требуется разработка специальных карьеров для добычи строительных материалов для формирования хвостохранилища, что в свою очередь негативно сказывается на экологических и экономических показателях горнодобывающих предприятий. Поэтому поиск решений, обеспечивающих использование текущих пород вскрыши для создания техногенных емкостей и их гидроизоляцию, является актуальной научно-практической задачей.

### Формирование гидроизоляции техногенного пространства

Строительство любого хвостохранилища предполагает совмещение требований к созданию техногенной емкости необходимого объема, соблюдению условий охраны окружающей среды и промышленной безопасности при их эксплуатации. Данные требования могут быть обеспечены непосредственно в процессе ведения добычных работ за счет использования материалов вскрышных пород, отвечающих требованиям по физико-механическим свойствам и гранулометрическому составу. Сырьем для строительства ограждающей дамбы, обеспечивающим ее несущую способность, являются скальные породы вскрыши, вынимаемые непосредственно при разработке месторождения. В качестве материала для изготовления гидроизоляционного экрана с целью обеспечения предотвращения проникновения загрязняющих веществ в почву и грунтовые воды целесообразно применять рыхлые породы вскрыши, а также мелкодисперсные фракции, в том числе лежалые хвосты обогащения[1].

Создание системы инженерной защиты является одной из первоочередных задач при строительстве хвостохранилища для размещения отходов различного класса опасности горного производства с целью исключения миграции загрязняющих веществ в почву и грунтовые воды, а также исключения гидродинамической аварии. Гидроизоляция включает покрытие ложа и внутреннего откоса ограждающей дамбы водонепроницаемым материалом.

В настоящее время существует множество различных материалов и технологий формирования гидроизоляционных экранов, которые обеспечивают высокую эффективность и долговечность. Основные способы гидроизоляционной защиты реализованы в виде экранов различных конструкций: гидроизоляционный завес, дренажные устройства, покрытие геомембраной. Схемы обеспечения гидроизоляции откосов ограждающей дамбы представлены на рис. 1.

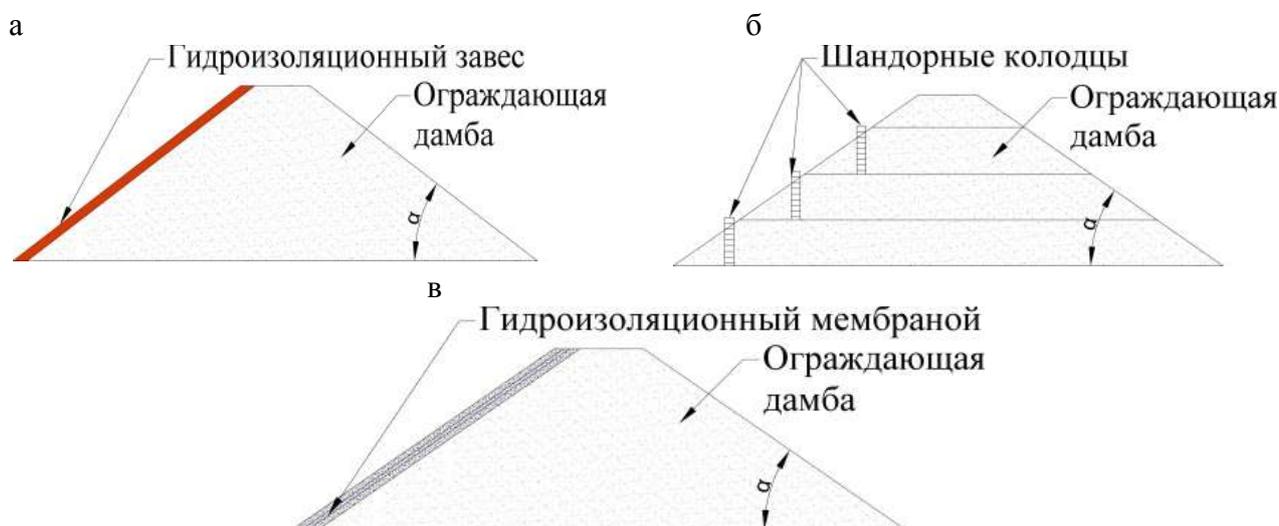


Рис. 1. Схемы гидроизоляционных экранов ограждающих дамб:

а - гидроизоляционный завес; б - шандорные колодцы; в - покрытие мембраной

На практике известны два способа гидроизоляции промышленных отходов при их размещении в техногенном пространстве [3]:

- конструкционный – использование различных специальных материалов и способов их укладки. Материалы для создания противодиффузионного экрана не являются попутно-добываемыми компонентами при разработке месторождения полезных ископаемых;

- технологический – использование материалов, добываемых непосредственно при разработке карьера и обладающих необходимыми противодиффузионными свойствами. Формирование противодиффузионных экранов осуществляется одновременно с ведением

горных работ, то есть с применением пород непосредственно из забоя или из пород отвалов, ранее селективно складированных.

Перечень и порядок выполнений мероприятий по формированию как самой техногенной емкости, так и гидроизоляции ложа и ее внутреннего откоса ограждающей дамбы зависит от класса опасности размещаемых отходов, от физико-механических свойств вскрышных пород, из которых формируется ограждающая дамба, а также наличия материала для создания гидроизоляции.

В результате анализа физико-механических характеристик рыхлых пород на ряде месторождений Урала установлено, что рыхлые породы вскрыши могут быть использованы в качестве гидроизоляционного материала (табл.1).

Таблица 1

Характеристики глинистых пород на ряде месторождений Урала

Месторождение	Наименование породы	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Влажность, %	Пористость, г/см <sup>2</sup>	Коэффициент фильтрации, м/сут
Шарлотинское	Липовая	1,91	30,5	0	$2,1 \cdot 10^{-6}$
	Корговецкая	2,02	27,4	6,0	$7,05 \cdot 10^{-7}$
	Суглинок местный	2,02	27,4	0	$0,95 \cdot 10^{-5}$
	Суглинок	2,02	27,4	6,0	$8,18 \cdot 10^{-7}$
Рудник «Качинский»	Липовая местная	1,88	20,3	0,28	$1,73 \cdot 10^{-2}$
	Суглинок	1,96	21,0	0,59	$1,16 \cdot 10^{-5}$
	Липовая местная	1,95	21,7	0,44	$1,65 \cdot 10^{-5}$
	Суглинок местная	2,01	24,2	1,61	$0,28 \cdot 10^{-5}$
Октябрьское (Хайбуллинский район)	Липовая вязкая	1,99	1,91	1,59	$0,25 \cdot 10^{-5}$
	Суглинок местная	1,99	13,2	4,5	$0,79 \cdot 10^{-5}$
	Суглинок	1,98	9,9	1,8	$2,19 \cdot 10^{-5}$
	Суглинок местный	2,01	21,5	0,46	$1,5 \cdot 10^{-5}$
Дергамовское (Хайбуллинский район)	Суглинок местная	2,02	17,5	8,08	$0,49 \cdot 10^{-5}$
	Суглинок	2,01	18,2	8,80	$1,12 \cdot 10^{-5}$
	Суглинок местная	2,15	19,0	4,1	$1,51 \cdot 10^{-5}$
Дергамовское (Хайбуллинский район)	Липовая местная	1,69	36,5	3,5	$1,17 \cdot 10^{-5}$
	Липовая вязкая	1,74	43,5	3,5	$5,61 \cdot 10^{-6}$

При создании гидроизоляции хвостохранилища используют глину в качестве противофильтрационного материала с коэффициентом фильтрации  $K_{фил}$  не менее 0,001 м/сут. Её переводят в пастообразное состояние путем перемешивания с добавлением воды до достижения необходимого коэффициента фильтрации.

В связи со значительной площадью хвостохранилищ в мировой практике в качестве способа гидроизоляции используются глиняные экраны.

Материалом для создания гидроизоляционных экранов целесообразно применять вскрышные породы, представленные слабопроницаемыми грунтами: глиной и суглинками, мелкозернистыми песчаниками, лежалыми хвостами обогащения, а также негрунтовыми материалами, такими как бетон, железобетон, сталь, полимерные, битумные материалы и др.

Наиболее распространенным способом гидроизоляции хвостохранилища является применение глиняных однослойных экранов.

Изоляция отходов с использованием глиняных экранов нашла большое распространение в практике, вследствие относительно небольших временных и финансовых затрат на их сооружение, а также простоты и надежности конструкции.

Из анализа конструкций хвостохранилищ предложена схема гидроизоляции с применением глиняных экранов, формируемых с использованием текущих рыхлых пород вскрыши (рис. 2).

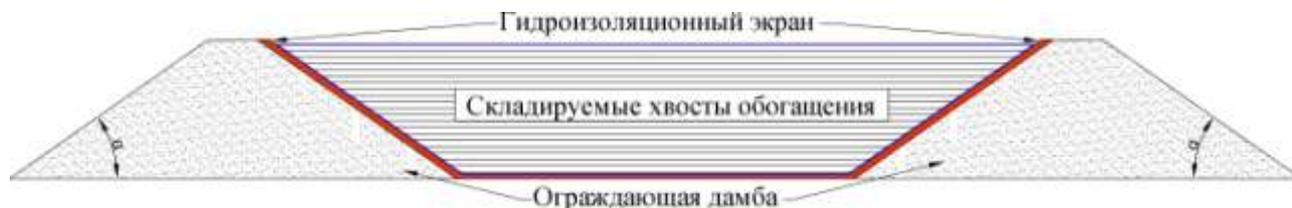


Рис. 2. Схема гидроизоляции с однослойным глиняным экраном

Технологическая схема формирования дамбы из скальных пород и создание на ее внутреннем откосе гидроизоляционного экрана из глиняных пород представлена на рис. 3.

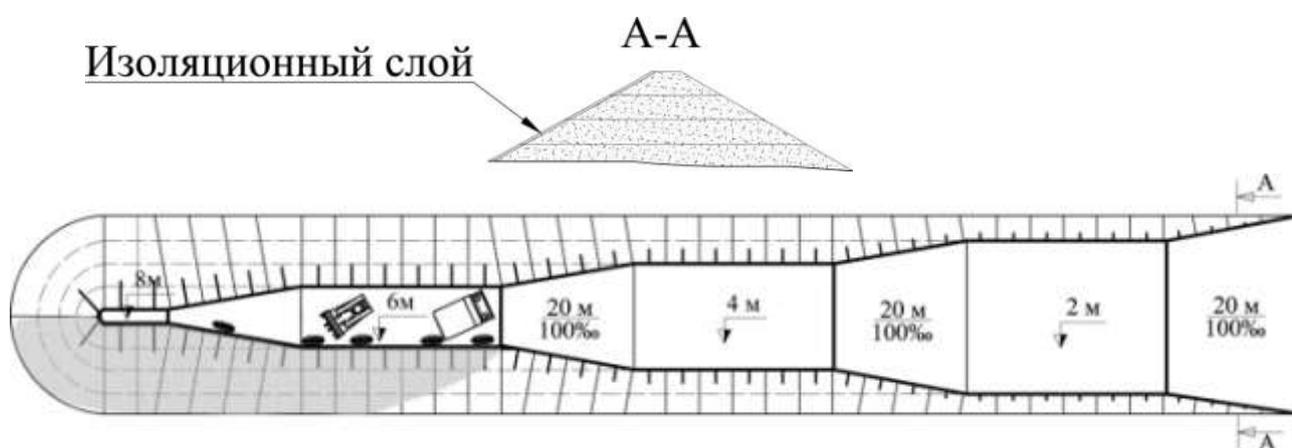


Рис. 3. Схема создания ограждающей дамбы с одновременным строительством изоляционного экрана на внутреннем откосе

Обеспечение прочностных характеристик и их сохранение в процессе эксплуатации в плотинах достигается их гидроизоляцией. Толщина экрана для изоляции внутреннего откоса ограждающей дамбы обосновано расчетами, исходя из критического среднего градиента напора  $J_{cr,m}$  (табл. 2).

Таблица 2

Грунт плотины	Критический средний градиент напора	
	Критический средний градиент напора $J_{cr,m}$ для ядра и экрана	тела и призмы дамбы
Глина	12	2-8
Суглинок	8	1,5 – 4
Супесь	2	1-2
Песок:		
средний		1
мелкий		0,75

Для ядра или экрана дамбы средний градиент  $J_{cr,m}$  определяют по формуле

$$J_{cr.m} = \frac{H'}{t_{cp}},$$

где  $H'$  - напор на ядре или экране, определяемый в результате фильтрационного расчета;

$t_{cp}$  - средняя толщина экрана или ядра.

Наиболее эффективными являются глиняные экраны двухслойные, однако в практике их формирование требует дополнительного объема материалов. В условиях действующего карьера данный материал присутствует в избытке. Их использование возможно после соответствующей подготовки с применением мобильных дробильно-сортировочных установок с целью получения материала требуемой фракции.

В случае необходимости увеличения гидроизоляционных свойств инженерной системы защиты хвостохранилища применяют двухслойные глиняные экраны. Они представляют собой два слоя глины, каждый толщиной не менее 0,5 м. Между слоями глины устраивается дренажный слой из гравия, скальной породы толщиной 40–60 см. Поверхность экрана планируется таким образом, чтобы дренажные воды между слоями глины поступали в трубчатые дренажи, которые возводят по мере наращивания дамб хвостохранилища, и с помощью насосной станции вновь откачиваются в пруд-накопитель. Эффект двухслойного экрана заключается в том, что на нижний слой действует напор воды, равный глубине ее в дренажном слое.

Альтернативным способом гидроизоляции, который может быть реализован с использованием вскрышных пород, является противофильтрационный завес по типу «грунт в стене». Схема формирования гидроизоляции представлена на рис. 4.

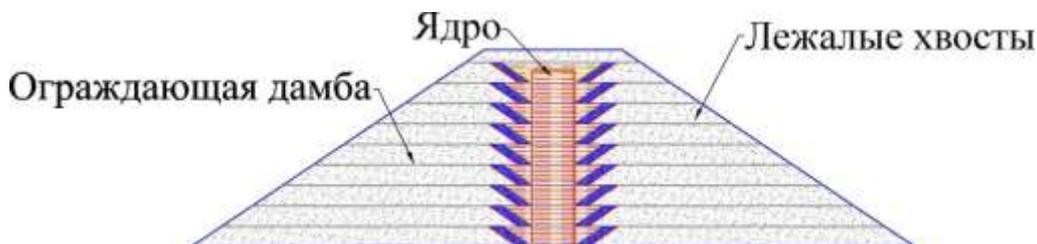


Рис. 4. Схема формирования ограждающих дамб по типу «грунт в стене»

Материалом тела дамбы являются вскрышные породы, ядром – глина, суглинок, уплотненный вибрационным грунтовым катком. С целью предотвращения выдавливания материала ядра в тело отвала предусматривается создание переходного слоя из глины или лежалых хвостов обогащения. Формирование осуществляется слоями. Отсыпается скальная порода, по центру создается буфер, где глину укладывают мощностью до 0,5 м и укатывают катком. По мере продвижения по направлению формирования дамбы происходит ее наращивание [4]. Технологическая схема формирования хвостохранилища представлена на рис. 5.

**Вывод:** Таким образом, использование вскрышных пород, дифференцированных по физико-механическим, фильтрационным и прочностным характеристикам, обеспечивает возможность создания техногенных емкостей и их гидроизоляции непосредственно в процессе освоения запасов участка недр. Применительно к условиям Урала, практически на каждом месторождении представлены рыхлые и скальные породы, использование которых обеспечивает несущую способность ограждающих дамб. Их использование позволяет обеспечить экологические требования относительно предотвращения загрязнения окружающей среды и промышленной безопасности с точки зрения устойчивости конструкции, в том числе исключает разупрочнение пород и снижение физико-механических характеристик за счет насыщения их водой.

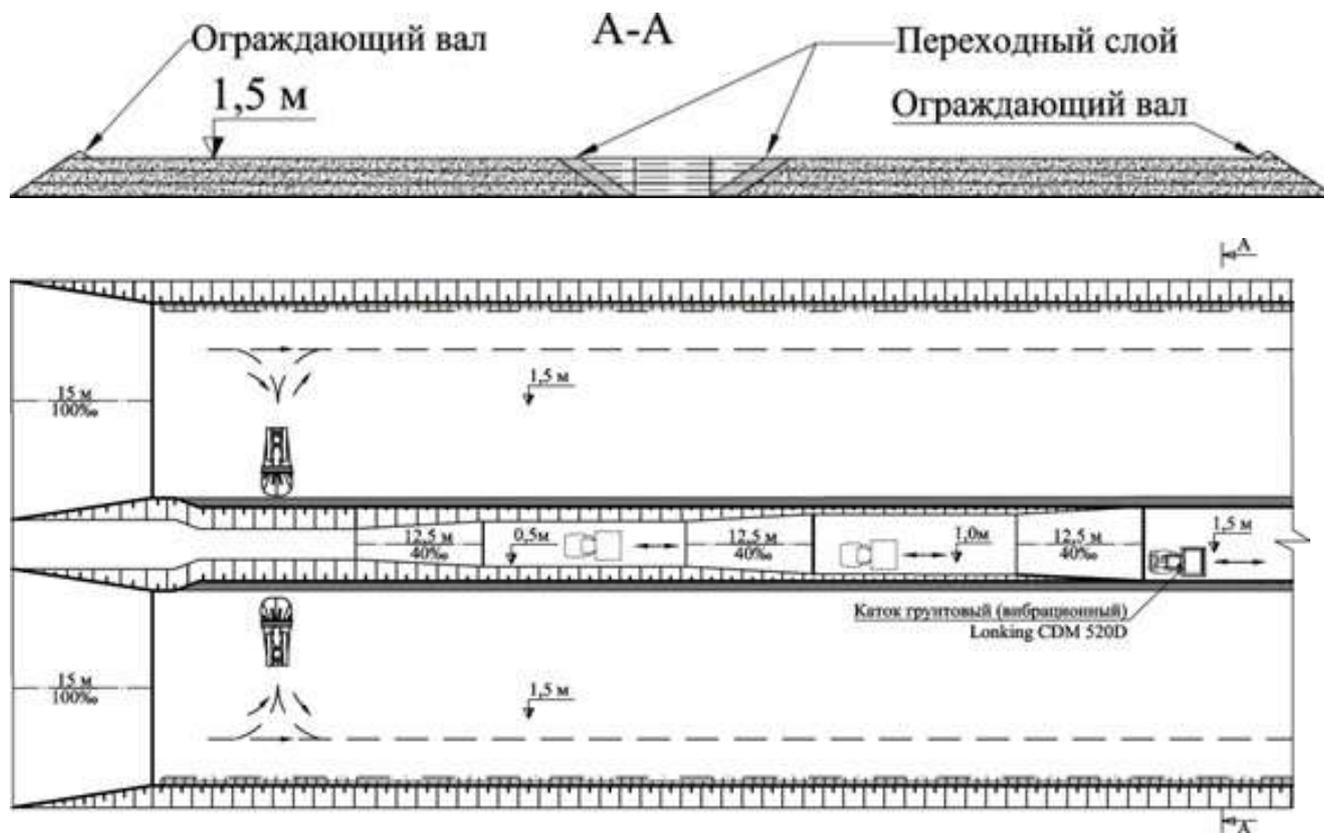


Рис. 5. Схема формирования хвостохранилища

**Список литературы:**

1. Гавришев С.Е., Заляднов В.Ю., Пыталев И.А. Формирование и освоение техногенных георесурсов. Определение параметров карьеров и отвалов. Магнитогорск, 2011.
2. Классификация карьерных выемок по возможности их использования для размещения промышленных отходов / Гавришев С.Е., Пыталев И.А., Павлова Е.В., Козловский А.А. // Черные металлы. 2011. № 6-8. С. 29-33.
3. Козловский А.А. Обоснование параметров технологических схем размещения промышленных отходов в отвалах и выработанном пространстве карьеров: дис. ... канд. техн. наук / Козловский А.А. Магнитогорск, 2011.
4. Пыталев И.А. Обоснование параметров открытой геотехнологии комплексного освоения крутопадающих месторождений для устойчивого развития горнотехнических систем: дис. ... д-ра. техн. наук / Пыталев И.А. Магнитогорск, 2019.
5. Государственный доклад « О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году» / Министерство природных ресурсов и экологии РФ. М., 2017.
6. СП 103.13330.2012. Защита горных выработок от подземных и поверхностных вод. Актуализированная редакция.
7. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности. «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых». Зарегистрировано в Минюсте России 02.07.2014 №32935. М., 2014.
8. Рекультивация карьера «Учалинский» с использованием сгущенных отходов обогащения / Калмыков В.Н., Зубков А.А., Гоготин А.А., Зубков А.Е., Ахмедьянов И.Х., Бондаренко Д.А. // Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений: сборник докладов. Екатеринбург, 2012. С. 74-76.

**Сведения об авторе**

**Якшина Виктория Владимировна**, аспирант ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: [v.v.yakshina@inbox.ru](mailto:v.v.yakshina@inbox.ru).

УДК 622.233.4/.6

**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ВРАЩАТЕЛЬНОГО БУРЕНИЯ ШПУРОВ В ОТЕЧЕСТВЕННОЙ НАУКЕ****Корнеев П.А., Корнеев В.А.**

**Аннотация.** В статье приведено современное состояние изученности вращательного способа бурения шпуров в отечественной науке. Обозначены периоды проведения исследований вращательного бурения шпуров с выделением характеристик каждого периода. Приведены исследователи вращательного бурения шпуров на каждом периоде.

**Ключевые слова:** шпур, вращательное бурение, горная выработка, буровой резец, конструкция бурового резца.

Российская Федерация является одним из мировых лидеров в области добычи угля. Добыча угля ведется как открытым, так и подземным способом. Одним из основных процессов при добыче полезных ископаемых подземным способом является крепление горных выработок, которое осуществляется в основном с использованием сталеполлимерных и механических анкеров. Крепление горных выработок сопровождается бурением шпуров. По данным авторов этой статьи, в настоящее время анкерное крепление горных выработок составляет примерно 93 % от всего крепления. Остальная часть – 7 % приходится на использование арочной крепи. По оценке авторов [1], в среднем, в месяц, потребность угольных шахт в буровых резцах в России составляет около 40-50 тыс. шт. для бурения шпуров под анкерное крепление и около 2000 шт. резцов диаметром 42 мм для проведения буровзрывных работ. Стоит отметить, что бурение шпуров для буровзрывных работ производится крайне редко ввиду снижения общего объема этих работ при переходе на комбайновую проходку горных выработок.

Угольные месторождения разнообразны по условиям залегания и по физико-механическим свойствам горных пород, ввиду этого глубина буримых шпуров под анкерную крепь колеблется в пределах от 1,5 м (при креплении бортов) и до величины порядка 10 м (при креплении кровли канатными анкерами). Диаметр шпуров составляет до 43 мм.

Одним из основных преимуществ вращательного способа бурения является непрерывность подачи энергии на разрушение горной породы [2]. При современной буровой технике и конструкциях буровых резцов применение вращательного способа бурения эффективно лишь в горных породах с коэффициентом крепости  $f \leq 10$  по шкале проф. М.М. Протодеяконова (рис. 1) [3]. В остальных же случаях применяется вращательно-ударный и ударно-поворотный способы бурения.

Распространение бурения вращательным способом на горные породы с коэффициентом крепости  $f > 10$  является актуальной задачей горного производства. В настоящее время делаются попытки ее решения посредством повышения прочности лезвий бурового инструмента за счет армирования новыми материалами, например техническими алмазами.

Современная теория вращательного бурения шпуров была создана в результате объемных теоретических и экспериментальных исследований. У истоков изучения механизма вращательного бурения шпуров стояли такие исследователи, как: Дерягин А.В., Асикритов М.Д., Островский А.П., Родионов Г.В., Володченко В.И., Эпштейн Е.Ф., Суханов А.Ф., Михайлов В.Г., Дворников Л.Т. и др.

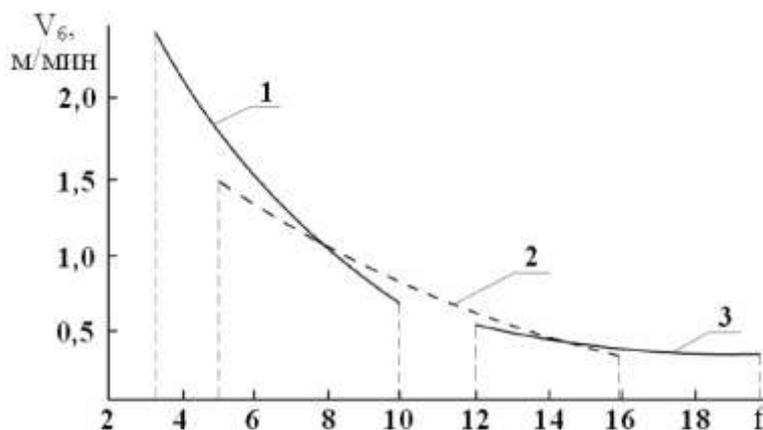


Рис. 1. Влияние крепости горной породы  $f$  на скорость бурения  $V_6$  при различных способах:

1 – вращательный, 2 – вращательно-ударный, 3 – ударно-поворотный

Процесс развития представлений о физических основах вращательного бурения может быть условно представлен в виде последовательных периодов, характеризующихся различной направленностью исследований (см. таблицу). Так, исследователи в 30-е годы 20 века ставили своей целью решение сугубо практической задачи по оценке эффективности работы электросверл для бурения шпуров в различных условиях.

К началу 50-х годов стало очевидно, что исследование процесса вращательного бурения должно носить более глубокий характер. В результате проведенных научных изысканий различными исследователями к концу 60-х годов 20 века был накоплен обширный экспериментальный материал. Его обобщение и анализ позволили выявить основные коренные зависимости, описывающие процесс бурения.

Были установлены нелинейные связи между главными параметрами процесса вращательного бурения шпуров. Введены понятия оптимальной частоты вращения рабочего инструмента, оптимального усилия подачи, оптимальной подачи инструмента на оборот [4].

Конец 20 века ознаменовался началом широкого использования новых типов бурильных машин значительной мощности. Помимо этого, практика ведения горных работ потребовала бурения шпуров малого диаметра, порядка 30 мм, для проведения анкерного крепления. Все это способствовало дальнейшим исследованиям, направленным на повышение эффективности вращательного бурения и создание новых конструкций буровых резцов.

Успехи науки в области создания сверхтвердых материалов способствовали разработке конструкций буровых резцов на их основе. Использование такого инструмента способно расширить границы вращательного бурения на горные породы с коэффициентом крепости  $f > 10$ .

В настоящее время разработка и внедрение новых конструкций буровых резцов на основе сверхтвердых композиционных материалов является современным трендом развития технологии вращательного бурения шпуров. Решением этих задач также занимаются авторы настоящей статьи [25].

## Исследования процесса вращательного бурения шпуров

Период проведения исследований	Характеристика исследований	Исследователи
1935 – 1939 гг.	Апробация электросверл в условиях шахт; определение главных параметров, характеризующих процесс вращательного бурения (скорость бурения, осевое усилие, мощность), и сравнение по ним эффективности использования электросверл в различных условиях	А.В. Дерягин, М.Д. Асикритов, А.П. Островский, Г.В. Родионов, В.И. Володченко [4] и др.
1940 – 1949 гг.	Анализ режимов работы электросверл в лабораторных условиях; выявление взаимосвязей между главными параметрами процесса бурения	Е.Ф. Эпштейн [5], А.Ф. Суханов, В.Г. Михайлов [4] и др.
1950 – 1962 гг.	Обоснование физических основ процессов разрушения горных пород при вращательном бурении. Попытки установления рациональных соотношений между параметрами процесса бурения и широкие лабораторные исследования режимов вращательного бурения шпуров	Л.А. Шрейнер [6], А.Д. Имас [7], В.В. Царицын, М.К. Цехин, Ю.К. Аликин [4], Г.Н. Покровский [8], Г.П. Верескунов [9], А.Н. Волков, Е.И. Рудаковский, П.Н. Июдин [4] и др.
1963 – 1966 гг.	Попытки обобщений результатов исследований главных параметров в зависимости от механических свойств горных пород	Л.Т. Дворников [10], Е.Н. Чайковский, В.Г. Загороднюк, В.А. Яцкевич [4] и др.
1967 – 1979 гг.	Поиск коренных зависимостей, описывающих процесс бурения	А.П. Таран [11], П.М. Алабужев, Б.А. Шеховцов, С.Ф. Воротников, Г.М. Маслюк, Г.И. Яковлев, Л.М. Васильев [4], Г.И. Карпенко [12], М.Г. Крапивин [13], В.И. Ивин [14], Л.Т. Дворников [15], А.И. Шубный [16], Е.И. Суслов [17] и др.
1980 – 1997 гг.	Дальнейшие исследования закономерностей механического разрушения горных пород при бурении. Разработка новых конструкций буровых резцов	Н.Н. Буренков [18], М.Г. Крапивин, Е.И. Суслов [19], В.В. Ленченко [20], Н.И. Сысоев, И.Я. Раков [21] и др.
1998 – 2013 гг.	Поиск путей повышения эффективности вращательного бурения. Исследования, направленные на расширение границ использования вращательного бурения на горные породы повышенной крепости и абразивности	С.Г. Мирный [22], Н.И. Сысоев [23], Ю.Ф. Литкевич [24] и др.
2014 г. – и позже	Использование средств компьютерного моделирования для исследования процесса вращательного бурения шпуров. Дальнейшие исследования, направленные на разработку новых конструкций буровых резцов	Л.Т. Дворников [25], Д.А. Гринько, Н.И. Сысоев [26], Н.Н. Буренков [27] и др.

**Список литературы:**

1. Дворников Л.Т., Корнеев В.А., Корнеев П.А. Экспериментальная оценка ресурса и энергоемкости процесса разрушения горных пород при использовании новых конструкций буровых резцов, оснащенных вставками из сверхтвердых композиционных материалов //

Научно-технические технологии разработки и использования минеральных ресурсов. 2017. № 3. С. 211-217.

2. Крюков Г.М. Физика разрушения горных пород при бурении и взрывании. Том 1. М.: Горная книга, 2006. 330 с.

3. Гринько Д.А. Метод расчета и поддержания рациональных режимных параметров бурильной машины мехатронного класса: дис. ... канд. техн. наук. Новочеркасск, 2015. 158 с.

4. Алимов О.Д., Дворников Л.Т. Бурильные машины. М.: Машиностроение, 1976. 295 с.

5. Эпштейн Е.Ф. Теория бурения – резания горных пород твердыми сплавами. Л.: ГОНТИ, 1939. 180 с.

6. Шрейнер Л.А. Физические основы механики горных пород. М.; Л.: Гостоптехиздат, 1950. 212 с.

7. Имас А.Д. Работы по внедрению рациональных технологических режимов разрушения углей и боковых пород горными машинами // Разрушение углей и пород. 1958. С. 241-270.

8. Покровский Г.Н. Основные закономерности при вращательном бурении шпуров с постоянным усилием подачи // Труды ЗСФ АН СССР. 1957. Вып. №19. С. 219-258.

9. Верескунов Г.П. Исследование режимов вращательного бурения шпуров в крепких породах: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Днепропетровск, 1955. 18 с.

10. Дворников Л.Т. Исследование некоторых вопросов вращательного бурения шпуров в горных породах средней крепости: дис. ... канд. техн. наук. Томск, 1963. 292 с.

11. Таран А.П. Исследование процесса стружкообразования и удаления водой и воздухом мелочи при вращательном бурении шпуров: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Кемерово, 1967. 27 с.

12. Карпенко Г.И. Исследование основных факторов, влияющих на износостойкость инструмента для вращательного бурения шпуров: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Москва, 1969. 15 с.

13. Исследование тепловых явлений при вращательном бурении шпуров / Крапивин М.Г., Иванов А.А., Петров Н.Г., Родионов Н.С. // Взрывное дело. Бурение скважин и шпуров для взрывных работ. 1978. Сборник №79/36. С. 192-195.

14. Ивин В.И. Исследование с целью создания научных основ расчета и проектирования режущего инструмента вращательного бурения шпуров: дис. ... канд. техн. наук. Фрунзе, 1970. 185 с.

15. Дворников Л.Т. Исследование режимов бурения шпуров в горных породах машинами вращательного и вращательно-ударного действия: дис. ... д-ра техн. наук. Фрунзе, 1973. 319 с.

16. Шубный А.И. Исследование влияния свойств горных пород на оптимальные параметры вращательного бурения шпуров: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Москва, 1973. 19 с.

17. Суслов Е.И. Исследование влияния свойств металлокерамических твердых сплавов WC-Co на стойкость инструмента при вращательном бурении крепких пород: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Москва, 1968. 17 с.

18. Буренков Н.Н. Совершенствование инструмента и разработка устройства по его замене с целью повышения производительности самоходных бурильных установок: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Новочеркасск, 1986. 17 с.

19. Резец для вращательного бурения шпуров: а. с. 899914 СССР. №2742122/22-03 / Крапивин М.Г., Иванов А.А., Фетисов В.М., Ленченко В.В., Петров Н.Г., Родионов Н.С., Ромашкин А.С., Анохин В.И., Суслов Е.И.; заявл. 28.03.79; опублик. 23.01.82, Бюл. №3. 2 с.

20. Ленченко В.В. Основные закономерности механического разрушения пород при бурении шпуров // Научно-технические проблемы разработки месторождений, строительства и охраны горных выработок. 1997. С. 150-164.

21. Крапивин М.Г., Раков И.Я., Сысоев Н.И. Горные инструменты. М.: Недра, 1990. 256 с.
22. Мирный С.Г. Обоснование и выбор рациональной частоты вращения штанги машин для сверления шпуров в породах повышенной крепости и абразивности: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Новочеркасск, 2005. 21 с.
23. Сысоев Н.И., Мирный С.Г. Повышение эффективности процесса бурения шпуров машинами вращательного действия за счет поддержания частоты вращения на оптимальном уровне // ГИАБ. 2004. №11. С. 259-262.
24. Литкевич Ю.Ф. Исследование подачи, скорости бурения и коэффициента полезного действия при вращательном бурении шпуров // Новые технологии управления движением технических объектов. 2003. С. 59-65.
25. Dvornikov L. T., Klishin V. I., Nikitenko S. M., Korneyev V. A. Experimental designs of a combined tool using superhard composite materials for effective destruction of mine rocks // Eurasian mining. 2018. №1(29). P. 22-26. DOI: 10.17580/em.2018.01.05
26. Сысоев Н.И., Гринько Д.А., Гринько А.А. Обоснование критерия управления частотой вращения резцов для сверления шпуров // Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горношахтного и нефтеперерабатывающего оборудования. 2014. Т.1. №1. С. 71-75.
27. Сысоев Н.И., Буренков Н.Н., Чу Ким Хунг. Выбор рациональных параметров режущей части буровых резцов с помощью метода конечных элементов // Горное оборудование и электромеханика. 2015. № 6. С. 34-38.

#### **Сведения об авторах**

**Корнеев Петр Александрович** – зав. лабораторией кафедры геотехнологии, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», Новокузнецк, Россия. E-mail: [pustelli@mail.ru](mailto:pustelli@mail.ru).

**Корнеев Виктор Александрович** – канд. техн. наук, доц., зав. лабораторией кафедры прикладных информационных технологий и программирования, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», Новокузнецк, Россия. E-mail: [korneev\\_va@list.ru](mailto:korneev_va@list.ru).

